



# Misure di asimmetrie dipendenti dal tempo

Stefania Vecchi (INFN Ferrara)

*V workshop italiano sulla fisica pp a LHC*

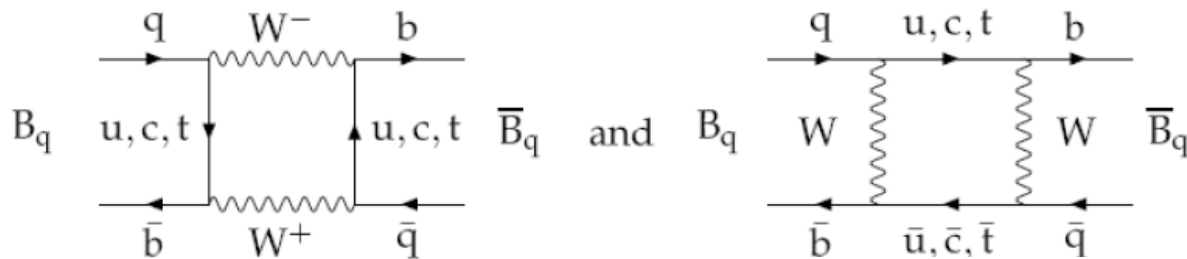
*Perugia, 31 Gennaio - 2 Febbraio 2008*

# sommario

- Asimmetrie dipendenti dal tempo:
  - Origini: mixing nel sistema dei mesoni B neutri
  - Effetti sperimentali che determinano la precisione di misura delle asimmetrie
- La sensibilità delle misure di LHCb (ATLAS&CMS)
  - $\Delta M_s$
  - $\phi_s$
  - $\Delta\Gamma_s$
  - $A_{SL}$ : violazione di CP nel mixing
  - vite medie
- Conclusioni

# Il mixing dei mesoni $B_q^0 - \bar{B}_q^0$ .

- I mesoni neutri  $B_q^0 - \bar{B}_q^0$  non sono autostati dell'interazione debole: nel tempo possono oscillare  $|\Delta F=2|$  diagramma a box



– autostati di massa

$$i \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} B_s^0 \\ \bar{B}_s^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M - \frac{i\Gamma}{2} & M_{12} - \frac{i\Gamma_{12}}{2} \\ M_{12}^* - \frac{i\Gamma_{12}^*}{2} & M - \frac{i\Gamma}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_s^0 \\ \bar{B}_s^0 \end{pmatrix}$$

– evoluzione temporale:

$$|B_{L,H}\rangle = p|B_q^0\rangle \pm q|\bar{B}_q^0\rangle,$$

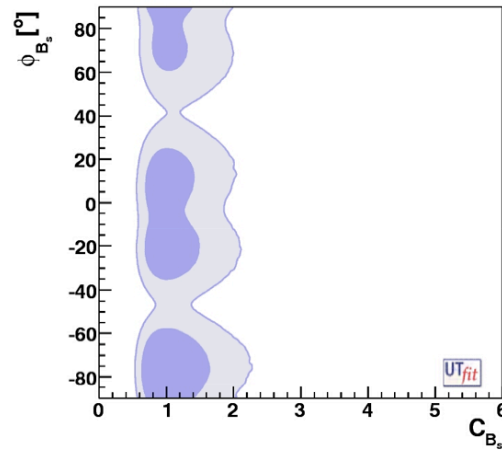
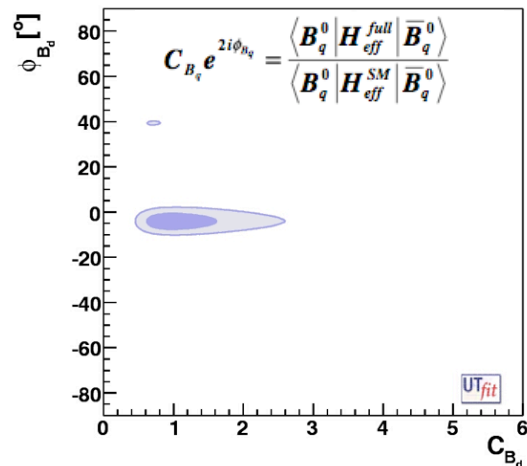
$$|B_q^0(t)\rangle = g_+(t)|B_q^0\rangle + \frac{q}{p}g_-(t)|\bar{B}_q^0\rangle,$$

$$|\bar{B}_q^0(t)\rangle = g_+(t)|\bar{B}_q^0\rangle + \frac{p}{q}g_-(t)|B_q^0\rangle,$$

$$g_{\pm}(t) \equiv \frac{1}{2} \left( e^{-im_H t - \frac{1}{2}\Gamma_H t} \pm e^{-im_L t - \frac{1}{2}\Gamma_L t} \right)$$

# I parametri del mixing $B^0$ -anti $B^0$

|       |         | $\Delta M_q \sim 2  M_{12} $<br>[ps <sup>-1</sup> ] | $\Delta \Gamma_q / \Gamma_q$<br>$\sim 2  \Gamma_{12}  / \Gamma_q$ | $A_{SL} = (1- q/p ^4) / (1+ q/p ^4)$<br>CPv nel mixing                  | $\phi_q \sim \arg(M_{12} / \Gamma_{12})$<br>[rad]<br>CPv nell'interferenza | $\langle 1 / \Gamma_q \rangle$<br>[ps] |
|-------|---------|---|---|---|--|--|
| $B_d$ | Th (SM) |   | $(3.6 \pm 1.0) \cdot 10^{-3}$                                     | $A_{SL} = (-6.4 \pm 1.6) \cdot 10^{-4}$                                 | $0.42 \pm 0.02$  |  |
|       | exp     | $0.507 \pm 0.005$                                   | $(9 \pm 37) \cdot 10^{-3}$  | $A_{SL} = (-5 \pm 56) \cdot 10^{-4}$<br>$ q/p  = 1.0002 \pm 0.0028$     | $0.37 \pm 0.02$  | $1.530 \pm 0.009$                      |
| $B_s$ | Th (SM) | $17.8 \pm 4.8$<br>$17.5 \pm 2.1$ (UTfit)            | $(11 \pm 4) \cdot 10^{-2}$  | $A_{SL} = (2.7 \pm 0.6) \cdot 10^{-5}$                                  | $\sim -0.04$   |  |
|       | exp     | $17.77 \pm 0.10$<br>$\pm 0.07$                      | $(12.1^{+8.3}_{-9.0}) \cdot 10^{-2}$                              | $A_{SL} = (-300 \pm 1010) \cdot 10^{-5}$<br>$ q/p  = 1.0015 \pm 0.0051$ | $-0.8 \pm 0.6$   | $1.437 \pm 0.030$                      |



Il settore del  $B_s$   
può ancora  
riservare belle  
sorprese

# Decadimenti e asimmetrie

$$\begin{aligned}
 \Gamma_{B \rightarrow f}(t) &= \frac{|A_f|^2}{2} e^{-\Gamma t} [I_+(t) + I_-(t)] , & I_+(t) &= (1 + |\lambda_f|^2) \cosh(\Delta\Gamma t/2) \\
 & & & - 2 \operatorname{Re}(\lambda_f) \sinh(\Delta\Gamma t/2) , \\
 \Gamma_{\bar{B} \rightarrow f}(t) &= \frac{|A_f|^2}{2} \left| \frac{p}{q} \right|^2 e^{-\Gamma t} [I_+(t) - I_-(t)] , & I_-(t) &= (1 - |\lambda_f|^2) \cos(\Delta m t) \\
 & & & - 2 \operatorname{Im}(\lambda_f) \sin(\Delta m t) \\
 \Gamma_{\bar{B} \rightarrow \bar{f}}(t) &= \frac{|\bar{A}_f|^2}{2} e^{-\Gamma t} [\bar{I}_+(t) + \bar{I}_-(t)] , \\
 \Gamma_{B \rightarrow \bar{f}}(t) &= \frac{|\bar{A}_f|^2}{2} \left| \frac{q}{p} \right|^2 e^{-\Gamma t} [\bar{I}_+(t) - \bar{I}_-(t)] & \lambda_f &= \frac{q \bar{A}_f}{p A_f} \quad \text{and} \quad \bar{\lambda}_f = \frac{p A_f}{q \bar{A}_f} ,
 \end{aligned}$$

Lo studio dei decadimenti dipendenti dal tempo permette di ricavare informazioni su  $\Delta M$ ,  $\Gamma$ ,  $\Delta\Gamma$ , e mettere in evidenza effetti di violazione di CP ( $q/p$ ,  $\lambda_f$ ,  $\bar{\lambda}_f$ ) diretta / mixing /

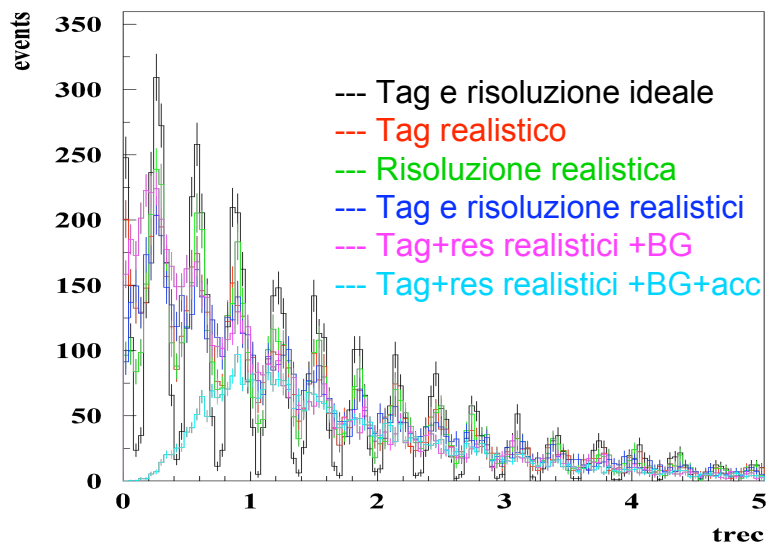
Nel caso di un decadimento in un autostato di CP:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{A}_f^{\text{CP}}(t) &= \frac{\Gamma_{\bar{B} \rightarrow f}(t) - \Gamma_{B \rightarrow f}(t)}{\Gamma_{\bar{B} \rightarrow f}(t) + \Gamma_{B \rightarrow f}(t)} \\
 &= \frac{\mathcal{A}_f^{\text{dir}} \cos(\Delta m t) + \mathcal{A}_f^{\text{mix}} \sin(\Delta m t)}{\cosh(\Delta\Gamma t/2) - \mathcal{A}_f^{\Delta} \sinh(\Delta\Gamma t/2)} ,
 \end{aligned}$$

# effetti sperimentali

- **Statistica:** segnale e fondo
  - Luminosità + sezione d'urto + BR / Trigger / Selezione (**PID / risoluzioni**)
- **Flavour tagging B:** efficienza  $\varepsilon_{tag}$  / correttezza  $\omega_{tag}$ 
  - Tagging same/opposite side (**PID**) --> M.Musy
- **Misura del tempo proprio di decadimento del B:**
  - precisione / modello di risoluzione  $R(t-\tau)$  / sistematici
  - accettazione  $a(t)$  (Trigger/ tagli di selezione )

$$\Gamma_{B_{tag}^0 \rightarrow f}^{obs}(t) = a(t) \cdot \varepsilon_{tag} \left( (1 - \omega_{tag}) \Gamma_{B^0 \rightarrow f}(\tau) + \omega_{tag} \Gamma_{\bar{B}^0 \rightarrow f}(\tau) \right) \otimes R(t - \tau)$$



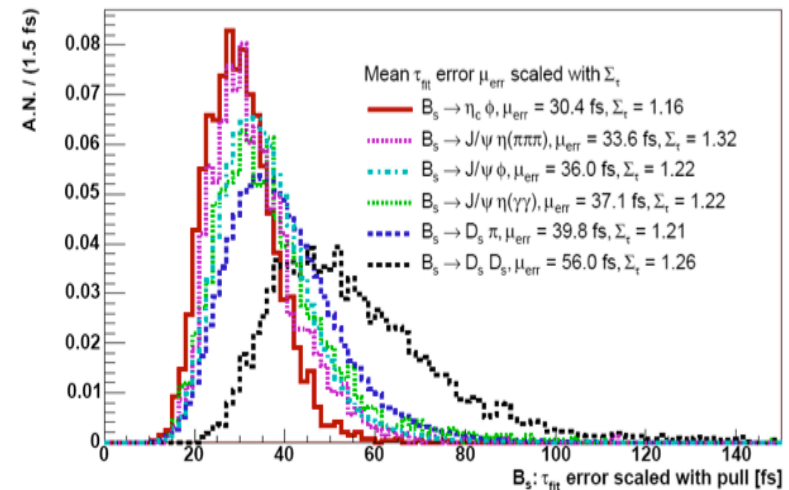
$$\text{Significanza} \approx \frac{S}{\sqrt{S+B}} \cdot \sqrt{\varepsilon_{tag} (1 - 2\omega_{tag})} \cdot e^{-\frac{(\Delta M \sigma_T)^2}{2}}$$

# effetti sperimentali: precisione di misura del tempo proprio

$$t_B = M_B \frac{\vec{d} \cdot \vec{p}_B}{|\vec{p}_B|^2} \quad \frac{\sigma_{t_B}}{t_B} \approx \sqrt{\left(\frac{\sigma_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{p_B}}{p_B}\right)^2}$$

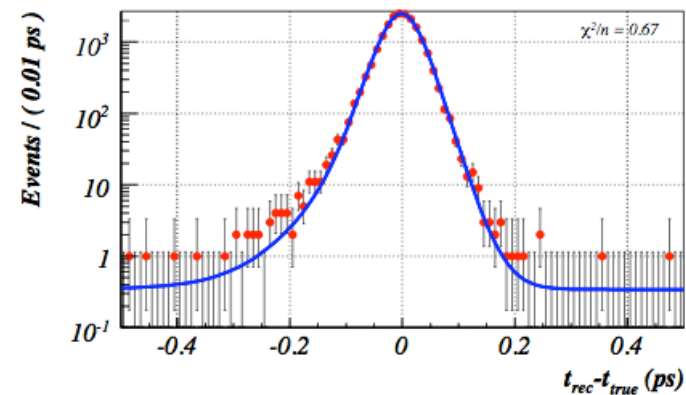
dominato dalla  
precisione di misura  
del vertice secondario

- Per risolvere le rapide oscillazioni nei decadimenti del  $B_s$  occorre:
  - ottima risoluzione del tempo proprio ( $2\pi/\Delta M_s \sim 350$  fs) LHCb:  $\sim 40$ fs media



- conoscere il modello di risoluzione

$R(t_B - t_{true} | \sigma_{t_B})$   $\longrightarrow$   
e calibrarlo sui dati sperimentali



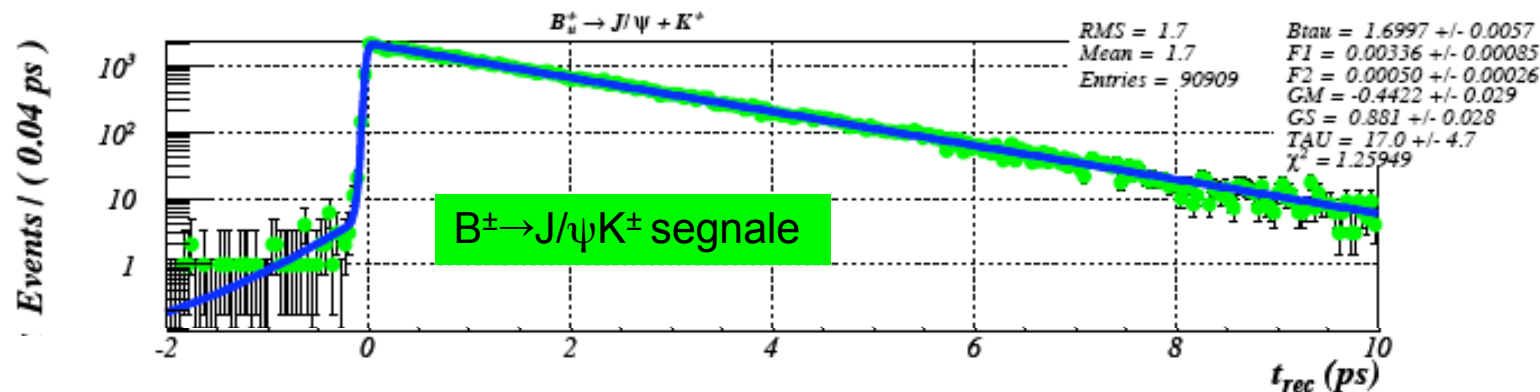
# effetti sperimentali: precisione di misura del tempo proprio

- LHCb:

- Modello di risoluzione ricavato dai dati Montecarlo

$$\mathcal{R}(t_{rec} - t_{true}, \sigma_{t_{rec}}) = R(t_{rec} - t_{true} | \sigma_{t_{rec}}) \times P(\sigma_{t_{rec}}) .$$

- Studio di canali di controllo per ottimizzare i parametri del modello sui dati sperimentali.
- Distribuzione temporale dei decadimenti:  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$  e  $B^0 \rightarrow J/\psi K^*$ 
  - Trigger di-muone senza tagli in IP ( $a(t) \sim \text{cost}$ ): sensibilità al modello di risoluzione nei tempi brevi
  - sottoprodotto: misura delle vite medie di  $B^+$  e  $B^0$



Studio Montecarlo S+B: precisione ( $\sim 5\%$  sigma) sui parametri del modello con  $\sim 0.5 \text{ fb}^{-1}$

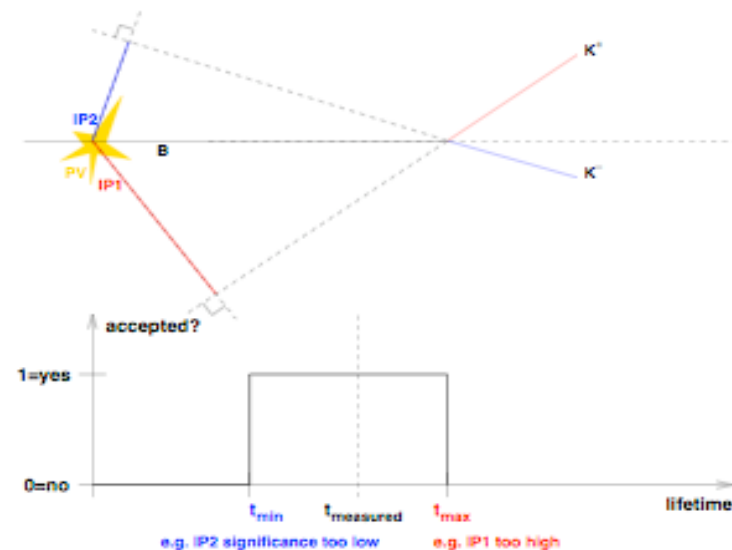
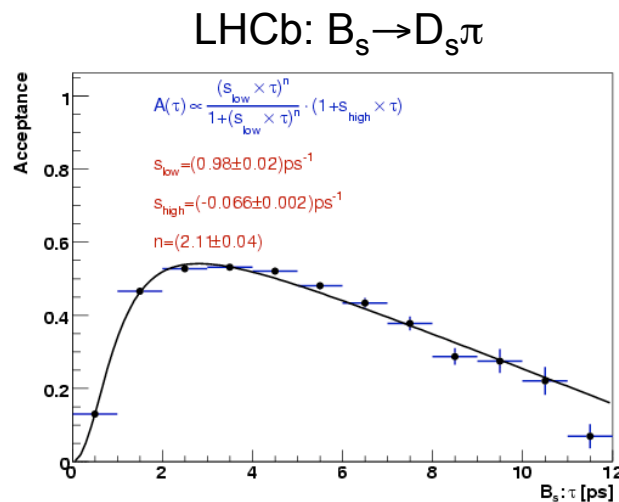


# effetti sperimentali: accettazione

- La selezione del trigger e dell'analisi possono introdurre accettanze dipendenti dal tempo proprio (critico nelle misure di vite medie e  $\Delta\Gamma_s$ )
- **LHCb:** valutazione delle accettanze (trigger) sui dati reali:
  - confronto tra dati selezionati da trigger diversi (TOS/TIS)
  - “metodo di swimming” (si determina la risposta del trigger in funzione del tempo proprio con cinematica invariata)

$$P(t) = P(t|t \in [t_{min}, t_{max}]) \times P(t \in [t_{min}, t_{max}])$$

$$P(t|t \in [t_{min}, t_{max}]) = \frac{1/\tau e^{-t/\tau}}{e^{-t_{min}/\tau} - e^{-t_{max}/\tau}}$$



# Prestazioni sperimentali

|  | LHCb  | ATLAS   | CMS   |
|--|---|---|---|
| eventi triggerati<br>(b-barb)/anno                   | $\sim 10^{10}$  | $\sim 10^8$   | $\sim 10^8$   |
| Particle ID  | e/ $\mu$ / $\pi$ /K<br>K/ $\pi$ /p $2 < p < 100$ GeV<br>$K_{ID} \epsilon = 88\%$ $cont_{\pi} = 4\%$ | e $pt > 0.5$ GeV<br>$\mu$ $pt > 3$ GeV/6 GeV<br>$\pi$ /K con $dE/dx \sim 0.8\sigma$ | e/ $\mu$<br>$\pi$ /K con $dE/dx \sim 0.8-1.5\sigma$ |
| $\epsilon D^2 = \epsilon_{tag} (1 - \omega_{tag})^2$ | 4-5% Bd<br>7-9% Bs<br>dipende dal trigger   | 3.2-4.5   | NP  |
| $\sigma(m_B)$ [MeV/c <sup>2</sup> ]                  | 14-20   | 40  | 40  |
| $\sigma_{tB}$ [fs]<br>in canali esclusivi            | 33-40   | 70 (55%) $\oplus$ 156 (45%)   | 70  |

# La misura di $\Delta M_s$

- Frequenza di oscillazione del  $B_s$ /anti $B_s$ 
  - SM: combinata con  $\Delta M_d \rightarrow$  estrazione di  $V_{ts}$
  - test di contributi di NP nel loop ( $\Delta B=2$ )

$$\Delta M_{B_s} = 17.77 \pm 0.10 \pm 0.07 \text{ ps}^{-1} \quad (\text{CDF})$$

$$17 \text{ ps}^{-1} < \Delta M_{B_s} < 21 \text{ ps}^{-1} \quad (\text{D0})$$

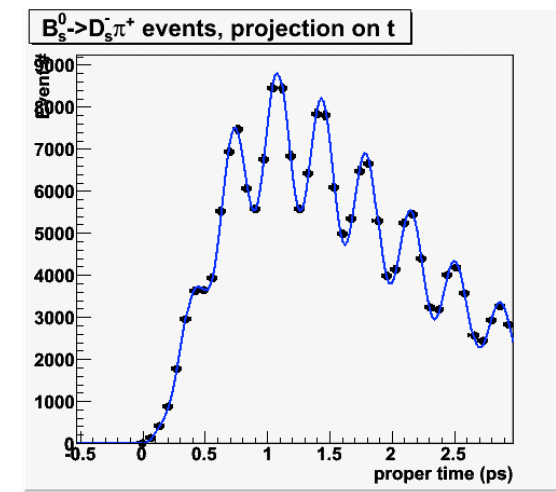
In accordo con SM

- misura della frequenza di oscillazione del rate di decadimento in canali “Flavour specific” per lo studio dei decadimenti con/senza mixing

$$\Gamma_{B^0(\bar{B}^0) \rightarrow f}(t) \propto e^{-\Gamma_S t} \cdot (\cosh(\Delta\Gamma_S \cdot t/2) \pm \cos(\Delta M_S \cdot t)) \quad \pm \text{ unmix / mix}$$

# La misura di $\Delta M_s$

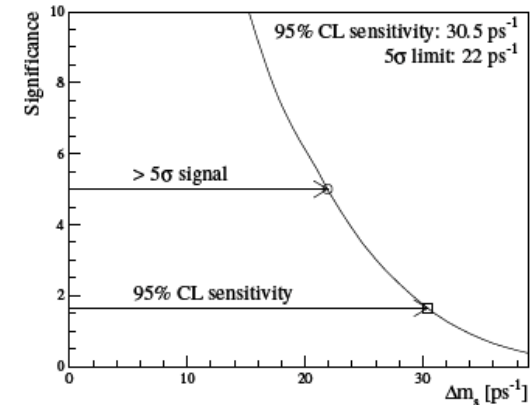
- **LHCb: canale di riferimento  $B_s^0 \rightarrow D_s^- (K^+ K^- \pi^-) \pi^+$** 
  - Statistica:  $S = 140 \text{ k evnts /anno } (2\text{fb}^{-1})$
  - Fondi:  $B/S = 0.2$  (principalmente specifici)
    - La PID(K/ $\pi$ ) è fondamentale per la selezione dello stato finale e la soppressione del fondo specifico
  - $\langle \sigma_{\text{mB}} \rangle = 14 \text{ MeV}/c^2$
  - Tagging :  $\epsilon_{\text{tag}} (1-2 \cdot \omega_{\text{tag}})^2 = (9.48 \pm 0.30)\%$
  - Risoluzione del tempo proprio  $\langle \sigma_t \rangle = 40\text{fs}$



- $\sigma(\Delta M_s) = 0.007 \text{ ps}^{-1} \text{ con } 2\text{fb}^{-1} (0.003 \text{ ps}^{-1} \text{ con } 10\text{fb}^{-1})$
- questo decadimento permette anche la misura di  $\Delta\Gamma_s$  (+untagged)
  - $\sigma(\Delta\Gamma_s) = 0.012 \text{ ps}^{-1} \text{ con } 2\text{fb}^{-1} (\text{con } \Delta\Gamma_s/\Gamma_s=0.1; \Delta\Gamma_s=0.068 \text{ ps}^{-1})$
- **altri canali Flavour specific:  $B_s^0 \rightarrow D_s^- \mu^+ \nu_\mu$  /  $B_s^0 \rightarrow K^+ \pi^-$**

# La misura di $\Delta M_s$

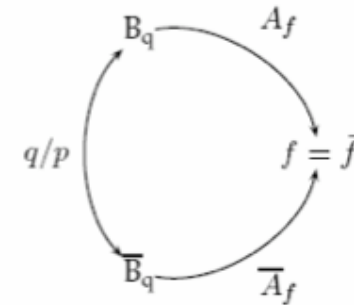
- **ATLAS:  $B_s^0 \rightarrow D_s^-(\phi\pi^-)\pi^+ + B_s^0 \rightarrow D_s^-(\phi\pi^-)a_1^+(\rho^0\pi^+)$** 
  - \*\*\* *NO PID on Kaons.pions*
  - Statistica:  $S = 2.7 \text{ k} + 1.3 \text{ k} / \text{anno} (10 \text{ fb}^{-1})$
  - Fondi:  $B/S < 1$  (fondi specifici +  $b\bar{b}$  ?)
  - Tagging (OS+SS):  $\omega_{\text{tag}} = 0.22$
  - $\langle \sigma_{\text{mB}} \rangle = 42.5 \text{ MeV}/c^2$
  - $\langle \sigma_t \rangle = 70.3 \text{ core} (0.56) \oplus 156 \text{ fs}$
  - **Misura a  $5\sigma$  possibile in  $10\text{-}20\text{fb}^{-1}$   $\sigma(\Delta M_s) = 0.07 \text{ ps}^{-1}$  con  $10\text{fb}^{-1}$**
- **CMS:  $B_s^0 \rightarrow D_s^-(\rightarrow \phi\pi + K^{*0}K^-)\pi^+ (+ B_s^0 \rightarrow D_s^- a_1^+)$  :**
  - \*\*\* *NO PID on Kaons.pions*
  - Statistica:  $S = 4.5 \text{ k} / \text{anno} (10 \text{ fb}^{-1})$
  - Fondi:  $B/S \sim 1$
  - $\langle \sigma_{\text{mB}} \rangle = 40 \text{ MeV}/c^2$
  - $\langle \sigma_t \rangle = 70 \text{ fs}$
  - **$X_s < 48$  esclusa 95% CL con  $10 \text{ fb}^{-1}$**



# La misura di $\phi_s$

- $\phi_s$  misura la violazione di CP nell'interferenza fra mixing e decadimento, si ricava dalla misura di asimmetria in stati finali autostati di CP

$$A_{CP}^{mix-ind}(t) = \frac{\eta_f \sin \phi_s \sin(\Delta M_s t)}{\cosh(\Delta \Gamma_s t / 2) - \eta_f \cos \phi_s \sinh(\Delta \Gamma_s t / 2)} \quad \eta_f = \pm 1 \text{ (CP)}$$



- $\phi_s = \phi_s^{NP} + \phi_s^{SM} = ? + -0.04$ 
  - I limiti sperimentali attuali su CKM ammettono NP in  $\phi_s$
- Canali: processi  $b \rightarrow c\bar{c}s$  dominati da una singola fase debole.
  - $B_s \rightarrow V+PS$  ( $L=1$ ):  $\eta_f = +1$   $\phi_s$  si ricava studiando la dipendenza temporale
  - $B_s \rightarrow V+V$  ( $L=0,1,2$ ):  $\eta_f = \pm 1$ 
    - Necessaria un'analisi angolare per separare gli stati CP pari ( $\eta_f = +1, A_0, A_{||}$ ) da quelli dispari ( $\eta_f = -1, A_0, A_{\perp}$ )
    - in realtà è una risorsa : migliora la sensibilità
    - tipi di analisi (taggati/non taggati ad 1 o 3 angoli)

# La misura di $\phi_s$ nel canale $B_s \rightarrow J/\psi\phi$

Base di trasversità

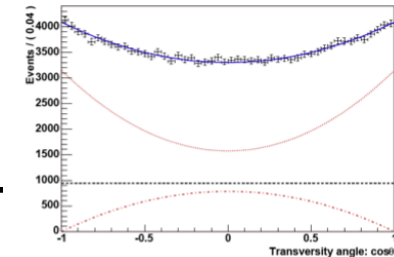
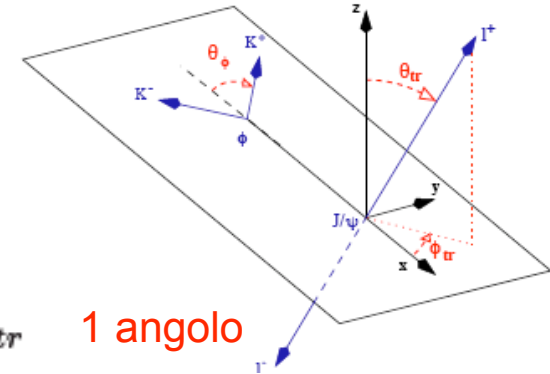
$$\frac{d^3\Gamma(t)}{d\cos\theta_{tr}d\cos\theta_\phi d\phi_{tr}} = \sum_k^6 h^{(k)}(t)\Theta^{(k)}(\theta_{tr}, \theta_\phi, \phi_{tr})$$

3 angoli

$$\frac{d\Gamma(t)}{d\cos\theta_{tr}} \propto (|A_{\parallel}(t)|^2 + |A_0(t)|^2)(1 + \cos^2\theta_{tr}) + \frac{1}{2}(|A_{\perp}(t)|^2)\sin^2\theta_{tr}$$

1 angolo

dipendenza da  $\phi_s$



|          |                     | 1 angolo ( $\theta_{tr}$ )   | 3 angoli ( $\theta_{tr}, \phi_{tr}, \theta_\phi$ )   |
|----------|---------------------|--|--|
| Tagged   | parametri           | $\phi_s, \Delta\Gamma_s, \Gamma_s, \Delta M_s, \omega_{tag}, R_{\perp}$                    | $\phi_s, \Delta\Gamma_s, \Gamma_s, \Delta M_s, \omega_{tag}, R_{\perp}, R_0, \delta_1, \delta_2$   |
|          | dip. di $\Gamma(t)$ | $\cos\phi_s \sinh(\Delta\Gamma_s t/2)$<br>$(1-2\omega_{tag})\sin\phi_s \sin(\Delta M_s t)$ | massima combinazione di termini  |
| Untagged | parametri           | $(\phi_s), \Delta\Gamma_s, \Gamma_s, R_{\perp}$  | $\phi_s, \Delta\Gamma_s, \Gamma_s, R_{\perp}, R_0, \delta_1, \delta_2$   |
|          | dip. di $\Gamma(t)$ | $\cos\phi_s \sinh(\Delta\Gamma_s t/2)$   | $\cos\delta_{1(2)} \sin\phi_s \sinh(\Delta\Gamma_s t/2)$<br>$\cos(\delta_1 - \delta_2) \cos\phi_s \sinh(\Delta\Gamma_s t/2)$<br>$\cos\phi_s \sinh(\Delta\Gamma_s t/2)$ |

parametri che possono essere ricavati

input esterno

( ) = difficile da determinare

# La misura di $\phi_s$ a LHCb

|   | $\eta_f$ | S/2fb <sup>-1</sup> | B/S  | tag<br>$\epsilon D^2$ (%) | $\langle\sigma_t\rangle$<br>[fs] | $\langle\sigma_{\text{mass}}\rangle$<br>[MeV] | $\sigma(\phi_s)$ in 2fb <sup>-1</sup><br>[rad]     |
|---|----------|---------------------|------|---------------------------|----------------------------------|---|--|
| $B_s \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-)\phi(K^+K^-)$                        | $\pm 1$  | 131k                | 0.12 | 6.58                      | 30                               | 14  | <b>0.028 (1 angolo)</b><br><b>0.023 (3 angoli)</b> |
| $B_s \rightarrow \eta_c(h^+h^+h^-h^-)\phi(K^+K^-)$                      | +1       | 3k                  | 0.6  | 9.53                      | 30                               | 12  | <b>0.108</b>                                       |
| $B_s \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-)\eta(\pi^+\pi^-\pi^0(\gamma\gamma))$ | +1       | 3k                  | 3.0  | 9.92                      | 34                               | 20  | <b>0.142</b>                                       |
| $B_s \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-)\eta(\gamma\gamma)$                  | +1       | 8.5k                | 2.0  | 5.67                      | 37                               | 34  | <b>0.109</b>                                       |
| $B_s \rightarrow D_s^-(K^+K^-\pi^-) D_s^+(K^+K^-\pi^+)$                 | +1       | 4.0k                | 0.3  | 5.84                      | 56                               | 6   | <b>0.133</b>                                       |
| $B_s \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-)\eta'(\rho^0\gamma)$                 | +1       | 3.6–4.8k            | <0.5 | 9.24                      | 29                               | 14  | <b>0.07–0.09</b>                                   |

combinata  $\sigma(\phi_s) = 0.021$  rad

**Fondamentale:** calibrazione risoluzione tempo proprio / tagging / accettazione temporale e angolare  
(**canali di controllo** per la determinazione sui dati sperimentali:  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$  e  $B^0 \rightarrow J/\psi K^*$  /  $\sin 2\beta$  in  $B^0 \rightarrow J/\psi K_s$ )

L'analisi con 3 angoli migliora la sensibilità  $\sim 20\%$  e permette la determinazione diretta di  $\omega_{\text{tag}}$   
Guadagno di 20% in statistica includendo I canali  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$



# La misura di $\phi_s$ con ATLAS&CMS

|   | S/10fb <sup>-1</sup> | B/S  | tag (%)<br>$\epsilon D^2$ | $\langle\sigma_t\rangle$<br>[fs] | $\langle\sigma_{\text{mass}}\rangle$<br>[MeV] | $\sigma(\phi_s)$<br>[rad]  |
|---|----------------------|------|---------------------------|----------------------------------|---|--|
| ATLAS: $B_s \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-)\phi(K^+K^-)$ | 90k                  | 0.15 | 3.2-3.7                   | 83                               | 16.6  | <b>0.08 (10 fb<sup>-1</sup>)</b><br><b>0.046 (30 fb<sup>-1</sup>)</b><br><b>(3 angoli tagged)</b>  |
| CMS: $B_s \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-)\phi(K^+K^-)$   | 110k                 | 0.2  | Non usato                 | 77                               | 14  | <b>0.07 (10 fb<sup>-1</sup>)</b><br><b>0.04 (30 fb<sup>-1</sup>)</b><br><b>(3 angoli Untagged)</b> |

Grosso contributo di fondo specifico  $B_d \rightarrow J/\psi K^*$  che deve essere parametrizzato nel fit  
 Errori sistematici dominati dalle incertezze sulle accettanze ->Canali di controllo

# La misura di $\Delta\Gamma_s$

- $\Delta\Gamma_s$  si può ricavare studiando la distribuzione temporale dei decadimenti Tagged e/o UnTagged del  $B_s$  in canali:
  - inclusivi o semileptonici: mix di  $CP=\pm 1$  ( $\Gamma_s, (\Delta\Gamma_s/\Gamma_s)^2$ )
  - in canali con puro autostato di  $CP$  ( $B_s \rightarrow K^+K^-; B_s \rightarrow D^{(*)+}D^{(*)-}$ )
  - nell'analisi angolare di  $B_s \rightarrow J/\psi\phi$  (entrambi gli stati  $CP=\pm 1$ ) ( $\Gamma_s, \Delta\Gamma_s$ )

|                              |                                       |   |  |
|------------------------------|---------------------------------------|---|--|
| LHCb ( $2\text{fb}^{-1}$ )   | input $\Delta\Gamma_s/\Gamma_s = 0.1$ | $\sigma(\Delta\Gamma_s) = 0.014$<br>$\sigma(\Delta\Gamma_s) = 0.0079$<br>$\sigma(\Delta\Gamma_s/\Gamma_s) = 0.0097$ | <b>1 angolo tagged</b><br><b>3 angoli tagged</b> |
| ATLAS ( $30\text{fb}^{-1}$ ) | input $\Delta\Gamma_s/\Gamma_s = 0.1$ | $\sigma(\Delta\Gamma_s/\Gamma_s) = 0.013$<br>$\sigma(\Gamma_s)/\Gamma_s = 0.01$                                     | (3 angoli tagged)                                |
| CMS ( $10\text{fb}^{-1}$ )   | input $\Delta\Gamma_s/\Gamma_s = 0.2$ | $\sigma(\Delta\Gamma_s/\Gamma_s) = 0.015$   | (3 angoli Untagged)                              |

Th (SM):  $\sigma(\Delta\Gamma_s/\Gamma_s) = 0.04$

# CPV nel mixing del $B_s$ : $A_{SL}$

- Misura dell'asimmetria dipendente dal tempo di decadimenti untagged in canali Flavour specific

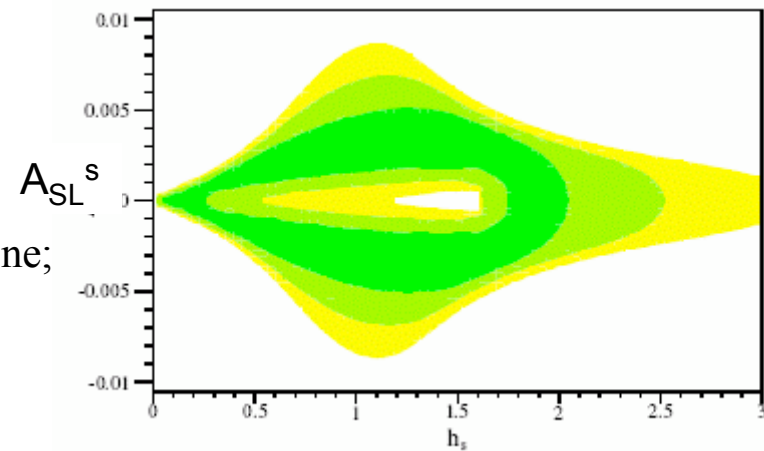
$$A_{fs}(t) = \frac{(\Gamma(B^0 \rightarrow f) + \Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow f)) - (\Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow \bar{f}) + \Gamma(B^0 \rightarrow \bar{f}))}{(\Gamma(B^0 \rightarrow f) + \Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow f)) + (\Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow \bar{f}) + \Gamma(B^0 \rightarrow \bar{f}))}$$

$$= \frac{a_{fs}}{2} - e^{-\frac{1}{2}\sigma^2((\Delta m)^2 + (\frac{1}{2}\Delta\Gamma)^2)} \left[ \frac{a_{fs}}{2} \right] \frac{\cos(\Delta m (t - \sigma^2\Gamma))}{\cosh(\frac{1}{2}\Delta\Gamma (t - \sigma^2\Gamma))}$$

- LHCb:** Th SM  $\sigma(A_{FB}) \sim 0.6 \cdot 10^{-5}$ 
  - $B_s^0 \rightarrow D_s^- \mu^+ \nu_\mu$ : 1 M evts/anno ;  $\sigma_{tB} = 120 + 270$  fs  
 $\sigma(A_{FB}) \sim 0.2\%$
  - $B_s^0 \rightarrow D_s^- \pi^+$ : 140k evts/anno;  $\sigma_{tB} = 36$ fs  
 $\sigma(A_{FB}) \sim 0.5\%$
- punti critici: valutazione dei sistematici
  - asimmetrie di efficienze detector/ trigger / selezione;
  - asimmetria di produzione B / barB

Ligeti, Paucci, Perez, hep-ph/0604112

$$M_{12} = (1 + h_s \exp(2i\sigma_s)) M_{12}^{SM}$$



# Misure di vite medie

- Analisi temporali dei decadimenti di  $B^+ / B^0 / B_s / B_c / \Lambda_b$  permettono la misura delle vite medie / rapporti di vite medie

- grandi statistiche di B -> misure precise
- utile confronto con le misure e con le previsioni teoriche

- LHCb ( $2\text{fb}^{-1}$ ):

- $B^+ \rightarrow J/\psi (\mu^+ \mu^-) K^+$  :  $S=1.22\text{Mevts}$   $B/S=0.23$   $|\Delta M| < 30\text{MeV}$

$$\sigma(\tau_{B^+}) \sim 1.7 \text{ fs (PDG 11fs)}$$

- $B^0 \rightarrow J/\psi (\mu^+ \mu^-) K^* (K^+ \pi^-)$  :  $S=0.69 \text{ Mevts}$   $B/S=0.41$   $|\Delta M| < 30\text{MeV}$

$$\sigma(\tau_{B^0}) \sim 1.9 \text{ fs (PDG 9fs)}$$

- $B_s^0 \rightarrow J/\psi (\mu^+ \mu^-) \phi (K^+ K^-)$  :  $S=131 \text{ kevts}$   $B/S=0.12$   $|\Delta M| < 30\text{MeV}$

$$\sigma(\tau_{B_s^0}) \sim 3.9 \text{ fs correlato a } \Delta\Gamma_s/\Gamma_s \text{ (PDG 9fs)}$$

- $B_s^0 \rightarrow K^+ K^-$  :  $S=35.9 \text{ kevts}$   $B/S=0.06$  (bbar)  $|\Delta M| < 50\text{MeV}$

$$\sigma(\tau_{B_s^0}) \sim 9 \text{ fs (PDG 9fs)}$$

- $B_c^+ \rightarrow J/\psi (\mu^+ \mu^-) \pi^+$  :  $S=600 \text{ evts}$   $B/S= [2.2-4.6]$   $|\Delta M| < 300\text{MeV}$

$$\sigma(\tau_{B_c^+}) \sim 25 \text{ fs (CDF } ^{+73}_{-65} \text{ stat} + 36\text{sys fs)}$$

- $\Lambda_b \rightarrow J/\psi (\mu^+ \mu^-) \Lambda(p \pi^-)$  :  $S=3-50 \text{ kevts}$   $B/S < 0.3$

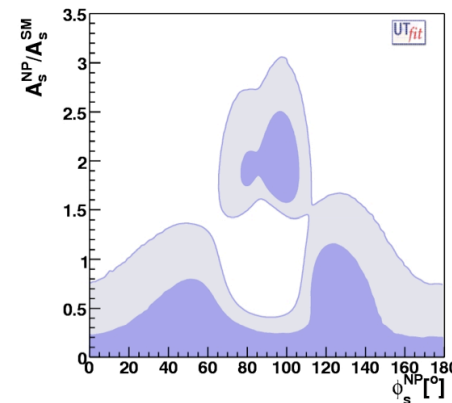
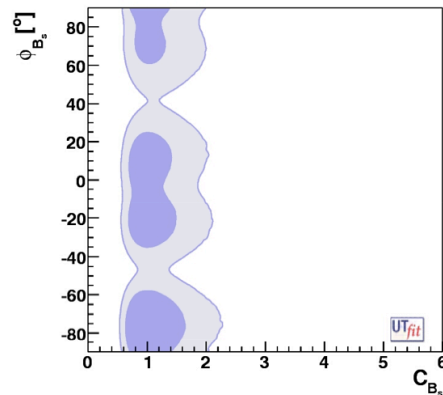
$$\sigma(\tau_{\Lambda_b}) \sim 27 \text{ fs (PDG 55 fs)}$$

$$\sigma\left(\frac{\tau_{B^+}}{\tau_{B^0}}\right) = 0.0018 \quad \text{PDG 0.008}$$

# Conclusioni

- LHCb : alte statistiche, trigger, selezioni, PID, risoluzioni, tagging e ottime risoluzione del tempo proprio permetteranno un notevole miglioramento delle misure dei parametri di oscillazione del  $B_s$  e in generale delle asimmetrie nei decadimenti dei B neutri.
  - Già dopo un anno di presa dati misure nel settore del  $B_s$ :
    - $\Delta M_s$  : precisione di misura  $\sim 0.007 \text{ ps}^{-1}$
    - $\phi_s$ : precisione di misura  $\sim 0.02 \text{ rad}$   $\rightarrow$  NP nella fase del mixing
    - $\Delta\Gamma_s/\Gamma_s$  precisione di misura  $\sim 0.0092$
    - $A_{SL}$ : precisione di misura  $\sim 0.2\%$
    - vite medie dei mesoni  $B^+ / B^0 / B_s / B_c / \Lambda_b$  con precisione statistica  $O(\tau/\sqrt{S})$
  - Gli effetti sistematici diventeranno presto la fonte principale di errore
    - canali di controllo per calibrare le accettanze & risoluzioni sperimentali (tempo proprio), tagging
  - Eventuali effetti di nuova fisica nel loop possono essere messi in evidenza

$$C_{B_q} e^{2i\phi_{B_q}} = \frac{\langle B_q^0 | H_{eff}^{full} | \bar{B}_q^0 \rangle}{\langle B_q^0 | H_{eff}^{SM} | \bar{B}_q^0 \rangle}$$



**spares**

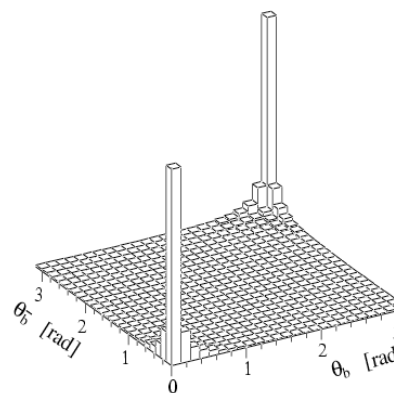
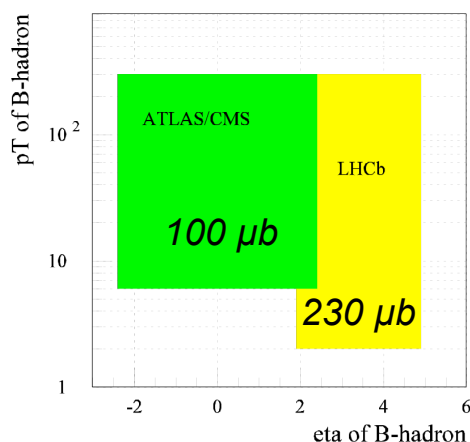
# Prestazioni sperimentali: statistica

- sezione d'urto:

- interazione pp @14TeV

$$\sigma_{b\bar{b}} \approx 500 \mu\text{b} \approx 0.6\% \cdot \sigma_{inelastica}$$

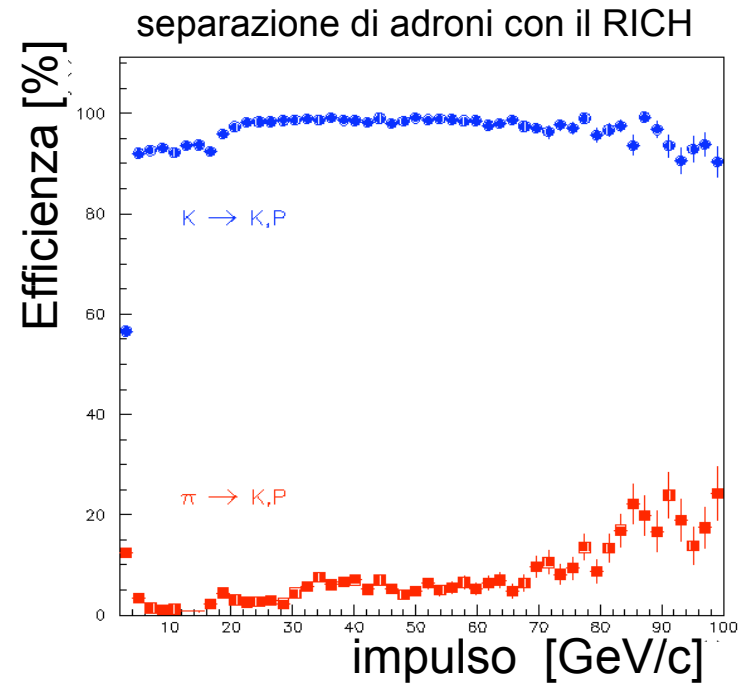
- $B^+$  (~40%),  $B^0_d$  (~40%),  $B^0_s$  (~10%),  $B_c$ ,  $\Lambda_b$  (~10%)...



- Luminosità :  $2 \cdot 10^{32} [\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}]$  (LHCb) /  $2 \cdot 10^{33}$  per I primi 2-3 anni(ATLAS&CMS)

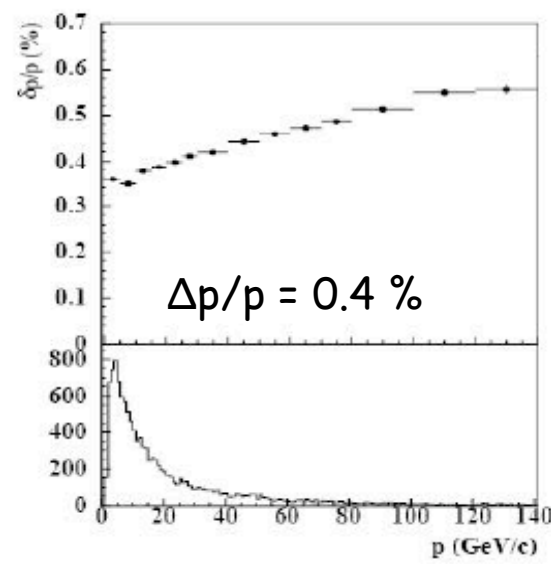
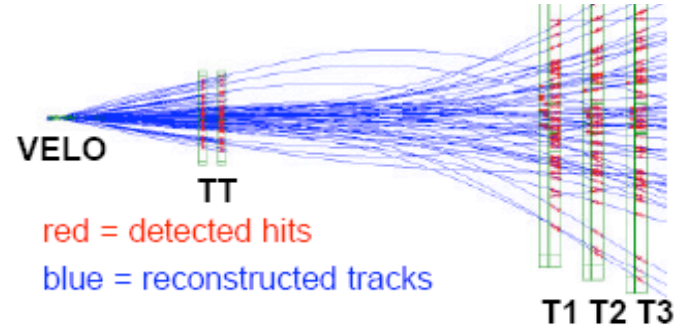
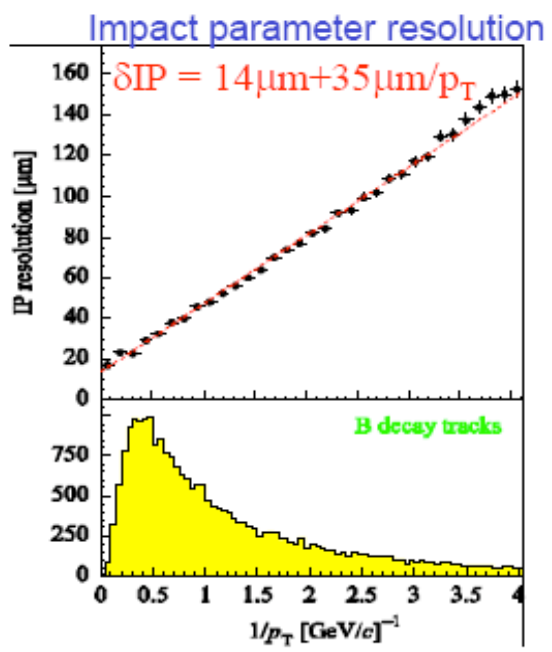
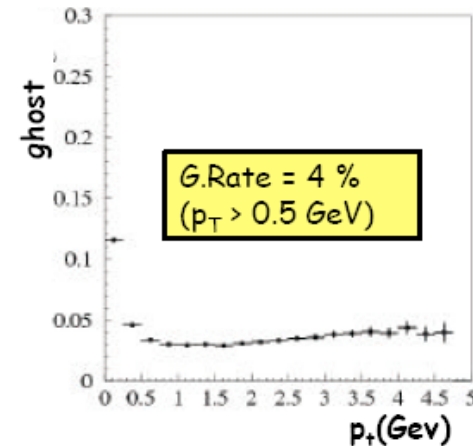
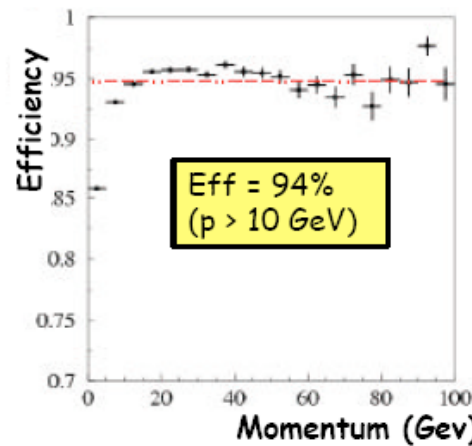
|                                    | LHCb                   | ATLAS          | CMS            |
|------------------------------------|------------------------|----------------|----------------|
| $b\bar{b}$ ev/anno in accettazione | $\sim 5 \cdot 10^{11}$ | $\sim 10^{12}$ | $\sim 10^{12}$ |
| $b\bar{b}$ triggerati/anno         | $\sim 10^{10}$         | $\sim 10^8$    | $\sim 10^8$    |

# Identificazione delle particelle pi/K





# tracciamento @LHCb



- For typical B decay modes:
  - Vertex resolution:
    - $\sim 10 \mu\text{m}$  in x,y;  $\sim 100 \mu\text{m}$  in z
  - Proper time resolution:  $\sim 40$  fs
  - B Mass resolution  $\sim 15$  MeV

# Dettagli sullo studio delle risoluzioni

Modello di risoluzione ottimizzato sui dati Montecarlo dal plot  $t_{rec}-t_{true}$  in bin di  $\sigma(t_{rec})$

$$R(x = t_{rec} - t_{true}) = \frac{N}{\sqrt{2\pi}} \left[ (1 - f_1(\sigma_{t_{rec}}) - f_2(\sigma_{t_{rec}})) e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x - M(\sigma_{t_{rec}})}{S(\sigma_{t_{rec}})} \right)^2} \right. \\ \left. + f_2(\sigma_{t_{rec}}) e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x}{S_{fixed}} \right)^2} \right. \\ \left. + f_1(\sigma_{t_{rec}}) \left( e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x}{S(\sigma_{t_{rec}})} \right)^2} \otimes e^{-\left( \frac{x}{\tau(\sigma_{t_{rec}})} \right)} \right) \right]$$

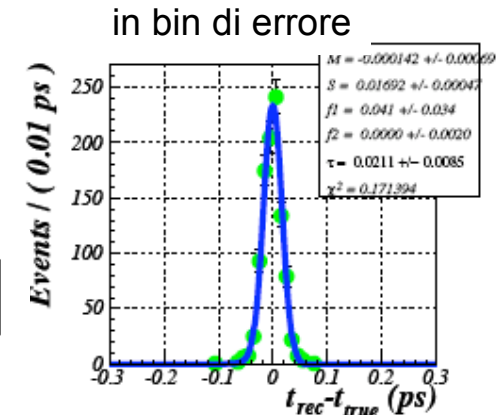
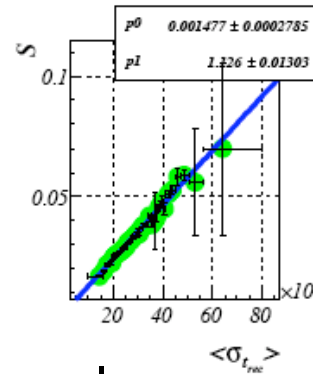
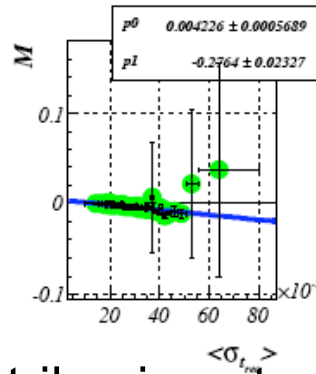
→ Gaussiana

→ Gaussiana

bias nel PV a causa di tracce del B →

$$\mathcal{R}(t_{rec} - t_{true}; \sigma_{t_{rec}}) = R(t_{rec} - t_{true} | \sigma_{t_{rec}}) \times P(\sigma_{t_{rec}})$$

Fit della dipendenza (lineare) dei parametri del modello da  $\sigma(t_{rec})$ : 5 parametri (GM, GS, F1, F2, TAU)



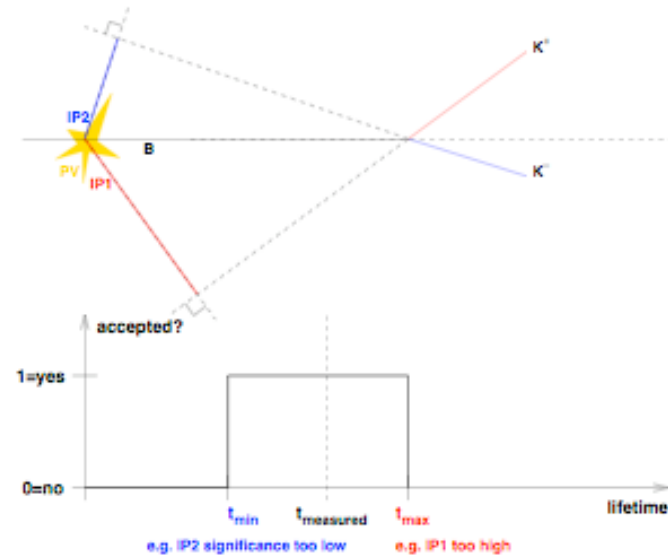
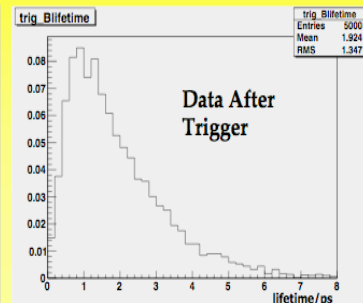
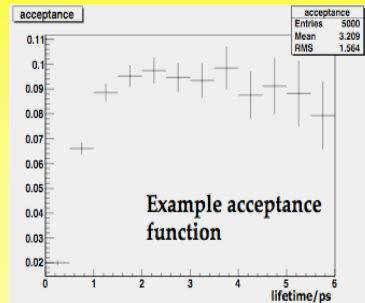
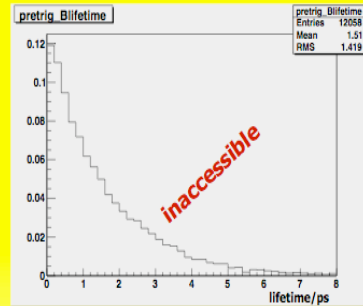
Sui dati “reali” fit della distribuzione temporale

$$F(t_{rec}; \sigma_{t_{rec}}) = E(t_{rec}) \otimes \mathcal{R}(t_{rec} | \sigma_{t_{rec}}) \times P(\sigma_{t_{rec}}) = \left[ \int dt' e^{-\frac{t'}{\tau}} R(t-t' | \sigma_{t_{rec}}) \right] \times P(\sigma_{t_{rec}}) \quad (19)$$

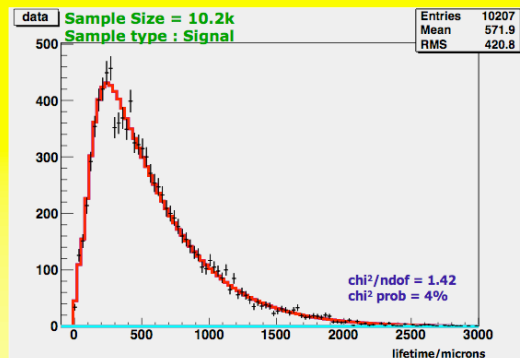
# accettanza al tempo proprio

## THE TRIGGER BIAS

- The L1 trigger introduces an acceptance bias through IP cuts
- The proposed method, in use at CDF, corrects for this on an event-by-event basis
- It does not require either a lifetime cut-off or an assumed MC-acceptance curve to work.



## Average acceptance function signal fit : Full MC



FITTED VALUE = 1.542 ± 0.018 PS  
GENERATOR VALUE = 1.534 PS

$$P(t) = P(t|t \in [t_{min}, t_{max}]) \times P(t \in [t_{min}, t_{max}])$$

$$P(t|t \in [t_{min}, t_{max}]) = \frac{1/\tau e^{-t/\tau}}{e^{-t_{min}/\tau} - e^{-t_{max}/\tau}}$$

Likelihood for 1 event

( $P(t \in [t_{min}, t_{max}])$  is const. w.r.t.  $\tau$ )

$$\log(\mathcal{L}_1) = \log(P(t|t \in [t_{min}, t_{max}]))$$



Likelihood for  $N$  events

$$\log(\mathcal{L}_N) = \sum_N \log(P(t|t \in [t_{min}, t_{max}]))$$