



Elisabetta Baracchini

Universita' di Roma La Sapienza & INFN Roma

Misura inclusiva di  $B^\pm \rightarrow l^\pm \nu$   
all'esperimento BaBar

Seminario Conclusivo di Dottorato

XXI Ciclo

16 - 10 - 2008

## THE STANDARD MODEL

	Fermions			Bosons		
Quarks	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	Force carriers	<b>γ</b> photon	
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom		<b>Z</b> Z boson	
Leptons	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino		<b>W</b> W boson	
	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau		<b>g</b> gluon	
					<b>Higgs*</b> Higgs boson	

\*Yet to be confirmed

Source: AAAS

Simmetria Lagrangiana

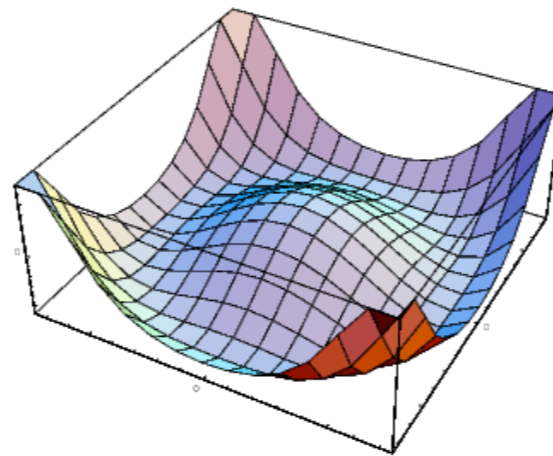
$$SU(3) \times SU(2)_L \times U(1)_Y$$



Simmetria del vuoto

$$SU(3) \times U(1)_{e.m.}$$

Rottura spontanea della simmetria quando il campo di Higgs acquista un valore nel vuoto



$$\mathcal{L} = \partial_\mu \phi^* \partial^\mu \phi - V(\phi^* \phi)$$

Higgs

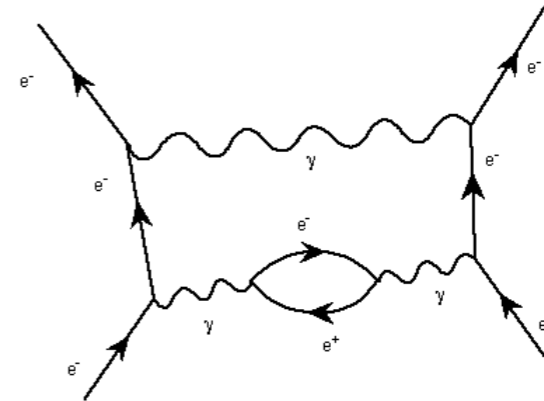
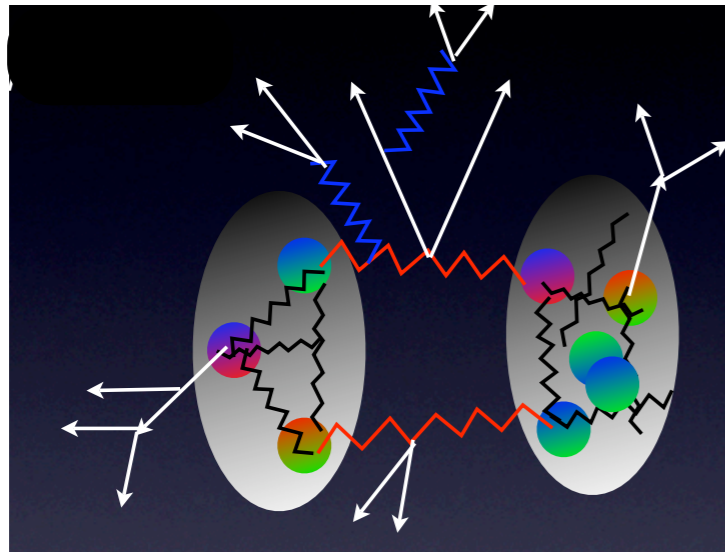
$$V(\phi^* \phi) = \mu^2 (\phi^* \phi) + \lambda (\phi^* \phi)^2$$

- \* No Higgs
- \* Impossibile estendere la teoria alla scala di Planck
- \* Oscillazioni di neutrini
- \* Materia oscura
- \* Asimmetria materia-antimateria non spiegata quantitativamente



Il MS va considerato una teoria effettiva, limite a bassa energia di un modello piu' generale che la include, valida fino a una scala di energia  $\Lambda \approx M_W$

## Due approcci complementari:

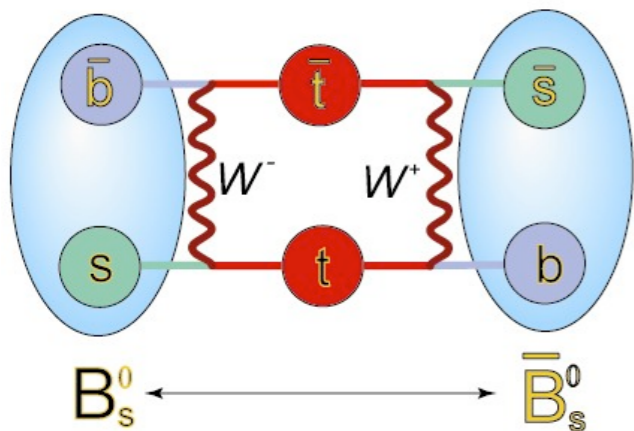


### Frontiera energia (LHC)

Produzione diretta di nuove particelle all'aumentare dell'energia disponibile nel centro di massa  
 Gli spettri di massa e la frequenza di decadimento delle nuove particelle discriminano tra diversi modelli di NP

### Frontiera precisione (fisica del flavour)

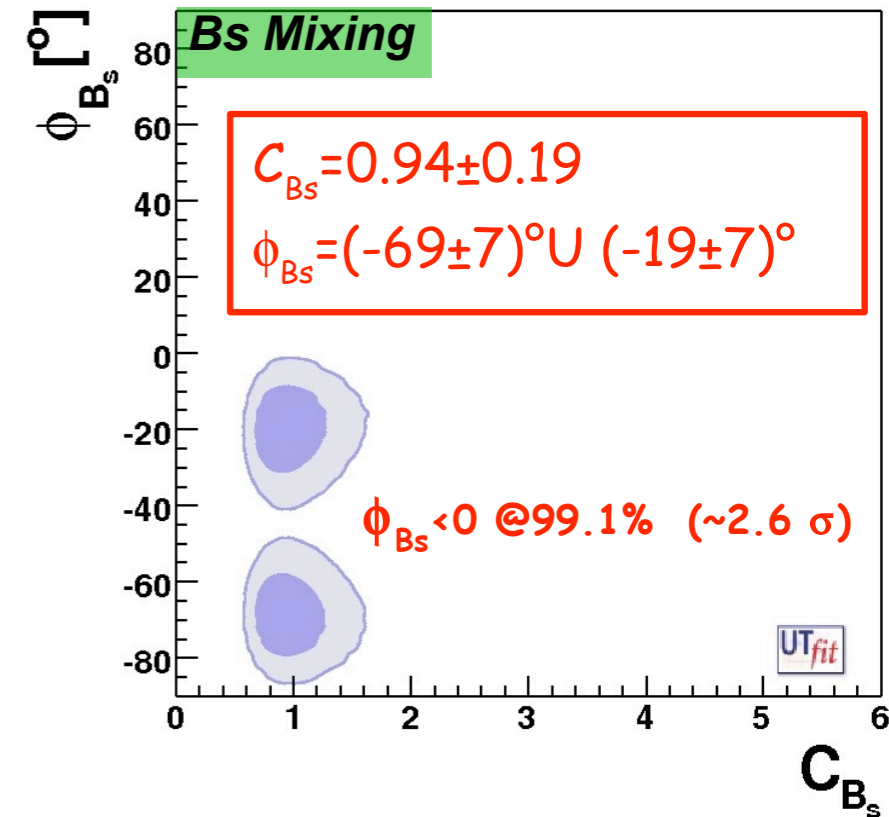
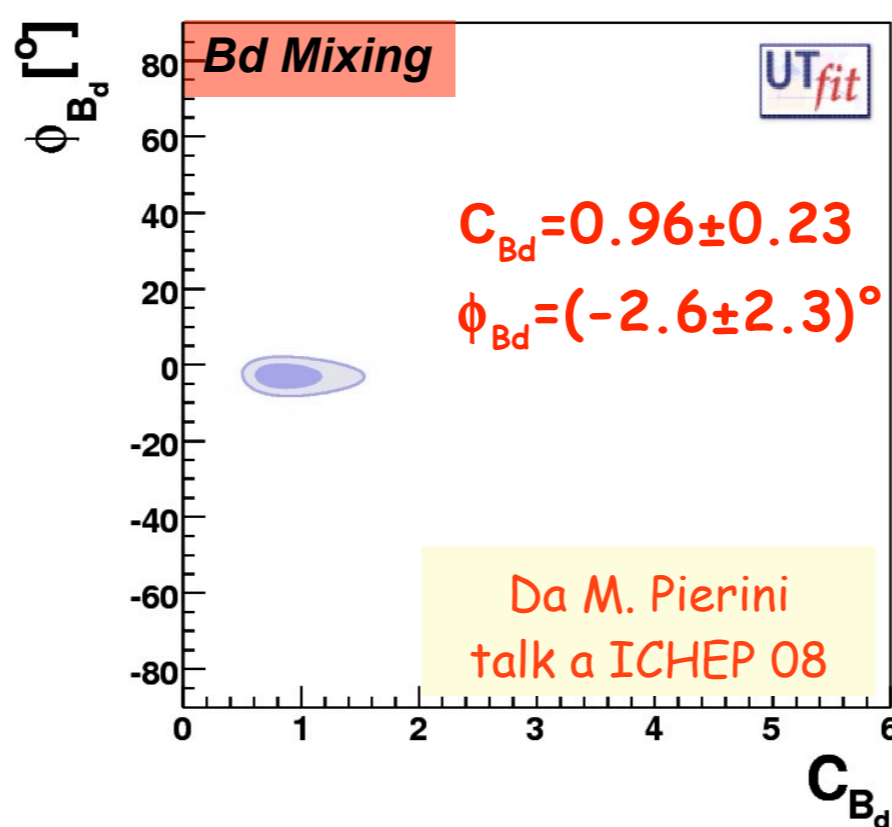
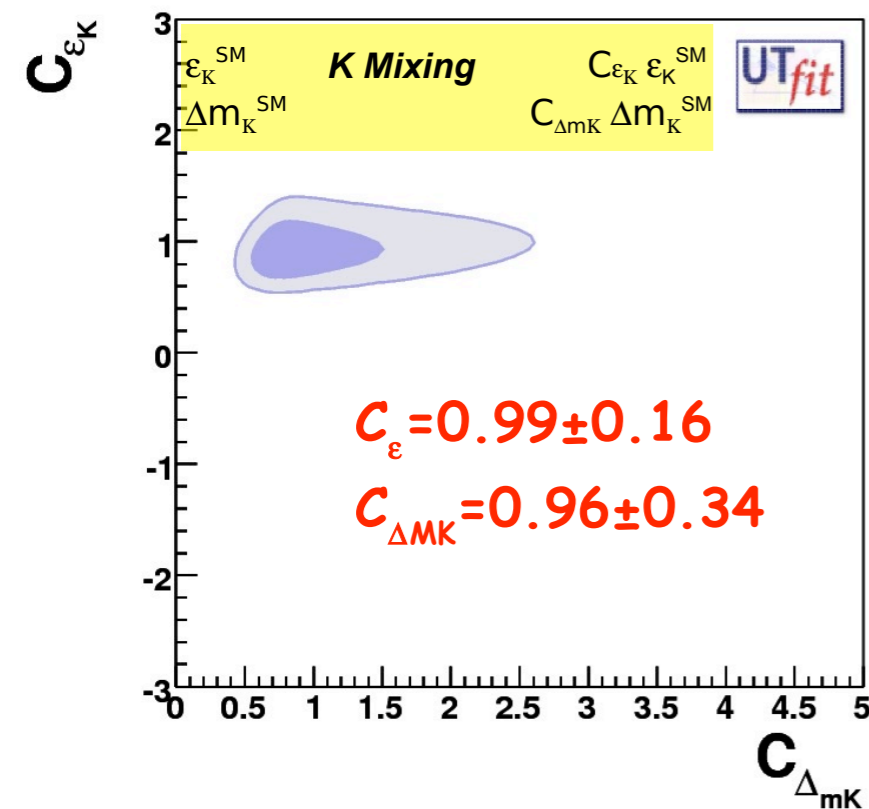
Lo studio di processi virtuali tramite misure di precisione permette di testare indirettamente, tramite l'uso di teorie effettive, la scala di energia della NP.  
 Correlando le deviazioni dalle attese del MS in diversi processi e' possibile stabilire caratteristiche generali della NP



Forti limiti dai processi di oscillazione dei mesoni neutri: avvenendo a ordini superiori, nel MS sono sopresi e quindi le loro ampiezze possono competere con i contributi che la NP puo' generare alle basse energie considerate

$$\frac{\langle M | H^{full} | \bar{M} \rangle}{\langle M | H^{MS} | \bar{M} \rangle} = C_M e^{2i\phi_M}$$

MS recuperato per  $C_M = 1; \phi_M = 0$



Gli attuali limiti indicano una fisica oltre il MS fortemente allineata in fase rispetto al MS: questo implica che gli effetti di NP nel mixing dei quark devono essere molto simili (o gli stessi..) a quelli dello MS



- \* Mescolamento del sapore dei quark governato solo dalle interazioni di Yukawa, come nel MS
- \* La violazione della simmetria di CP proviene solo dal MS

Queste assunzioni permettono di sopprimere contributi di fisica oltre il MS ad un livello consistente con le osservazioni sperimentali

- \* Tra le esplicite realizzazioni dell'ipotesi MFV, vi sono quelle con 2 DOPPIETTI di Higgs, accoppiati separatamente ai quark di tipo up e quelli di tipo down
- \* Parametro fondamentale di tali modelli e' il rapporto di aspettazione nel vuoto dei due Higgs, chiamato  $\tan \beta$
- \* Nel MS, masse e accoppiamenti dei quark sono legati dal vev dell'Higgs
- \* Con due doppietti, la normalizzazione relativa tra top e bottom e' legata a  $\tan \beta$  e possiamo attribuire a grandi valori di  $\tan \beta$  la differenza di massa piuttosto che ai differenti accoppiamenti

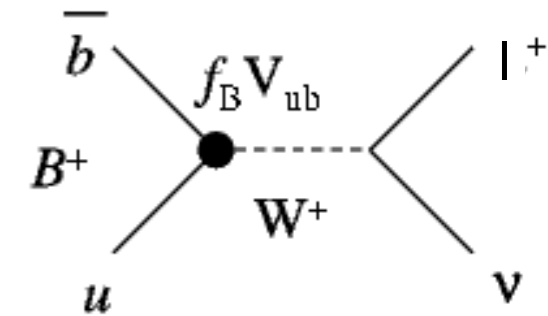
$$\tan \beta = \langle H_U \rangle / \langle H_D \rangle$$

$$y_i = m_i / \langle H \rangle \quad \longrightarrow \quad \begin{aligned} y_t &= m_t / \langle H_U \rangle \\ y_b &= m_b / \langle H_D \rangle = m_b / \langle H_U \rangle \tan^{-1} \beta \end{aligned}$$

$y_b \sim y_t$   
Unificazione degli accoppiamenti di Yukawa di top e bottom favorito da scenari di Grand Unified Theories

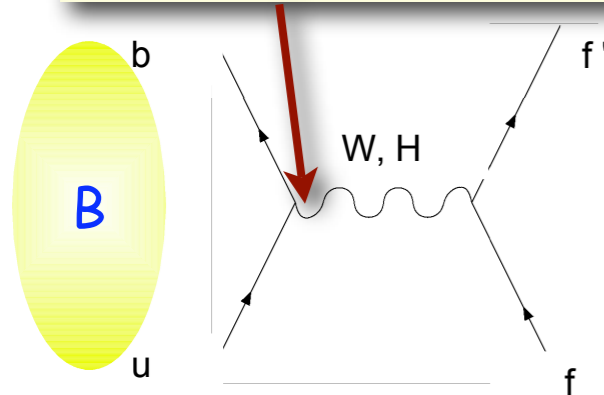
# Il processo $B^\pm \rightarrow l^\pm \nu$

Nel MS  $BR(B^\pm \rightarrow l^\pm \nu_l) = \frac{G_F^2 m_B m_l^2}{8\pi} \left(1 - \frac{m_l^2}{m_B^2}\right)^2 f_B^2 |V_{ub}|^2 \tau_B$   $\left\{ \begin{array}{l} 4.7 \times 10^{-7} (\mu) \\ 1.1 \times 10^{-11} (e) \end{array} \right.$



Oltre il MS, questo processo e' particolarmente sensibile agli accoppiamenti di Yukawa

componente longitudinale del bosone vettore



Contributo di Higgs carico competitivo con MS  
Testa direttamente l'interazione di Yukawa

- \* Nei modelli con 2 DOPPIETTI di Higgs forte dipendenza da  $\tan \beta$

W.S. Hou, Phys. Rev. D 48 (2342)

$$BR(B^\pm \rightarrow l^\pm \nu) = BR(B^\pm \rightarrow l^\pm \nu)_{SM} \times [1 - (\tan \beta \cdot m_b / M_H)^2]^2$$

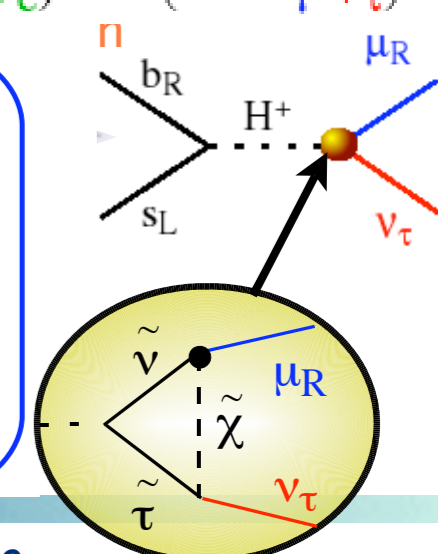
- \* Inoltre, possibile sonda per mixing tra i leptoni:

G.Isidori & P.Paradisi  
Phys.Lett. B 639 (499)

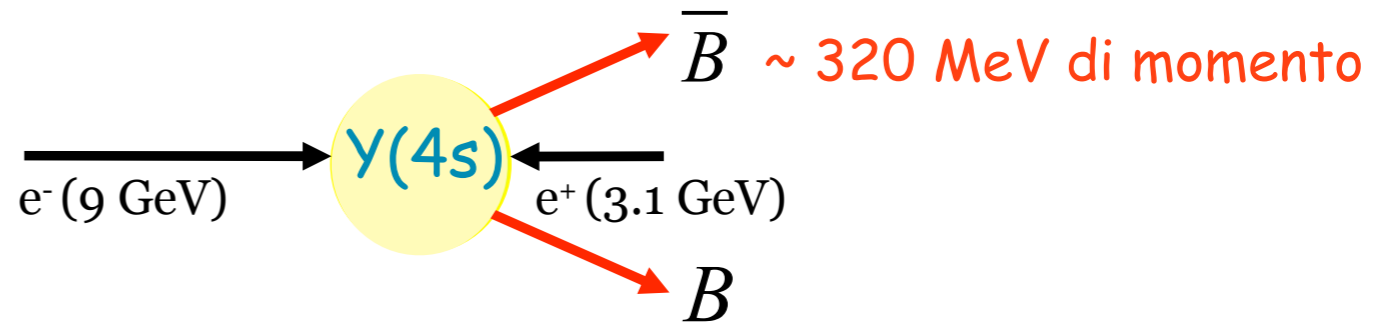
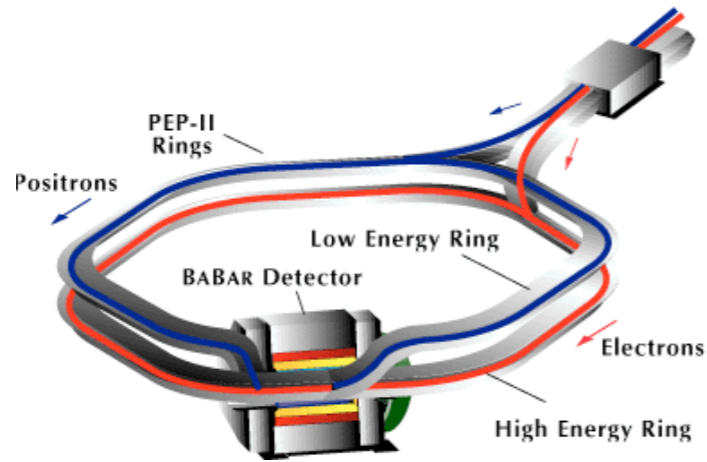
$$\Gamma(B \rightarrow \mu \nu)^{exp} = \Gamma(B \rightarrow \mu \nu_\mu) + \Gamma(B \rightarrow \mu \nu_e) + \Gamma(B \rightarrow \mu \nu_\tau)$$

$$R_{\mu\tau}^B = \frac{\Gamma(B^+ \rightarrow \mu^+ \nu)}{\Gamma(B^+ \rightarrow \tau^+ \nu)} \quad R_{e\tau}^B = \frac{\Gamma(B^+ \rightarrow e^+ \nu)}{\Gamma(B^+ \rightarrow \tau^+ \nu)}$$

$$\Delta \sim 10\% (R_{\mu\tau}^B)^{SM} \quad \sim 10^3 \times (R_{e\tau}^B)^{SM}$$

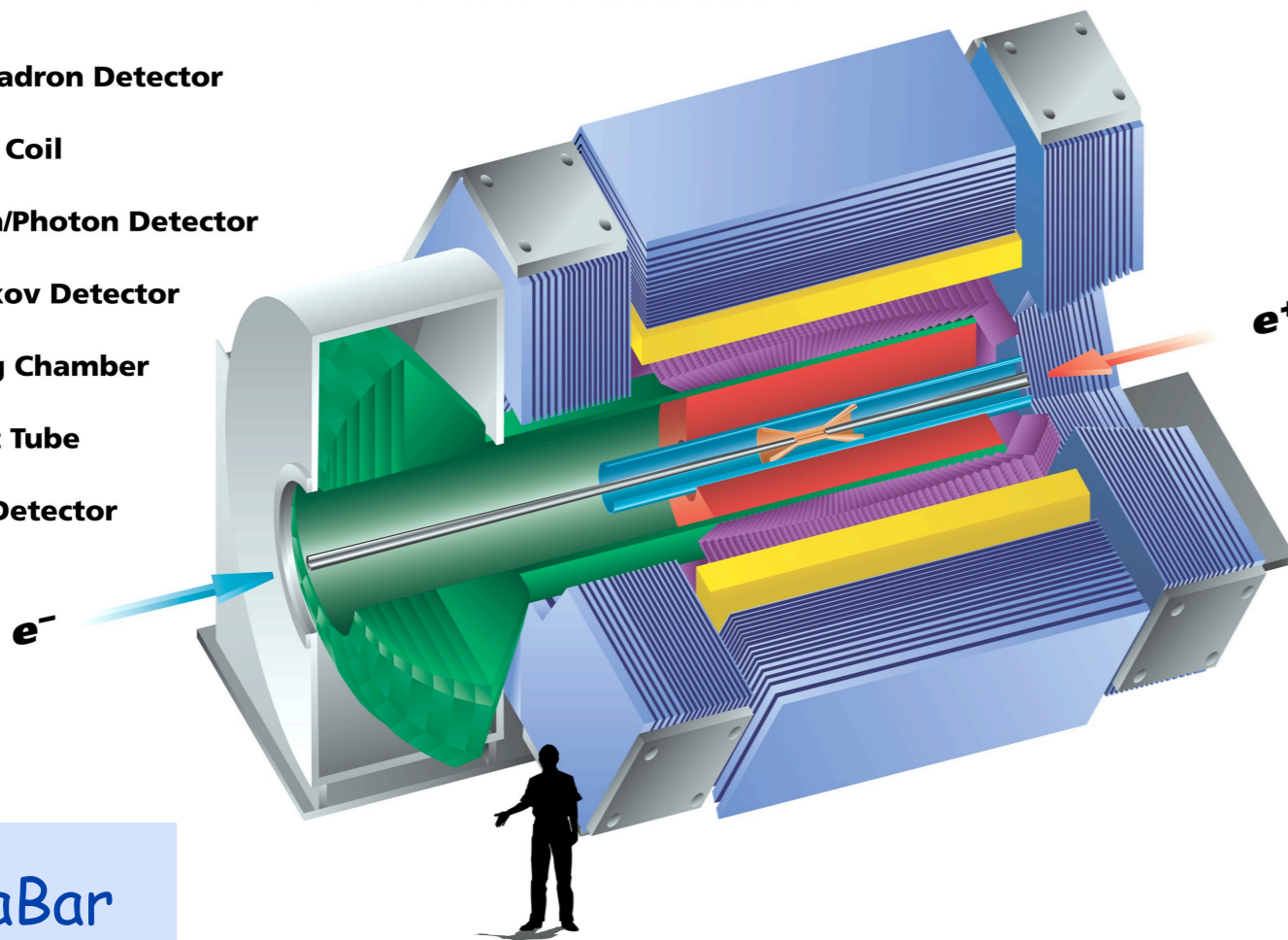


## PEP II



## B Factory Asimmetrica

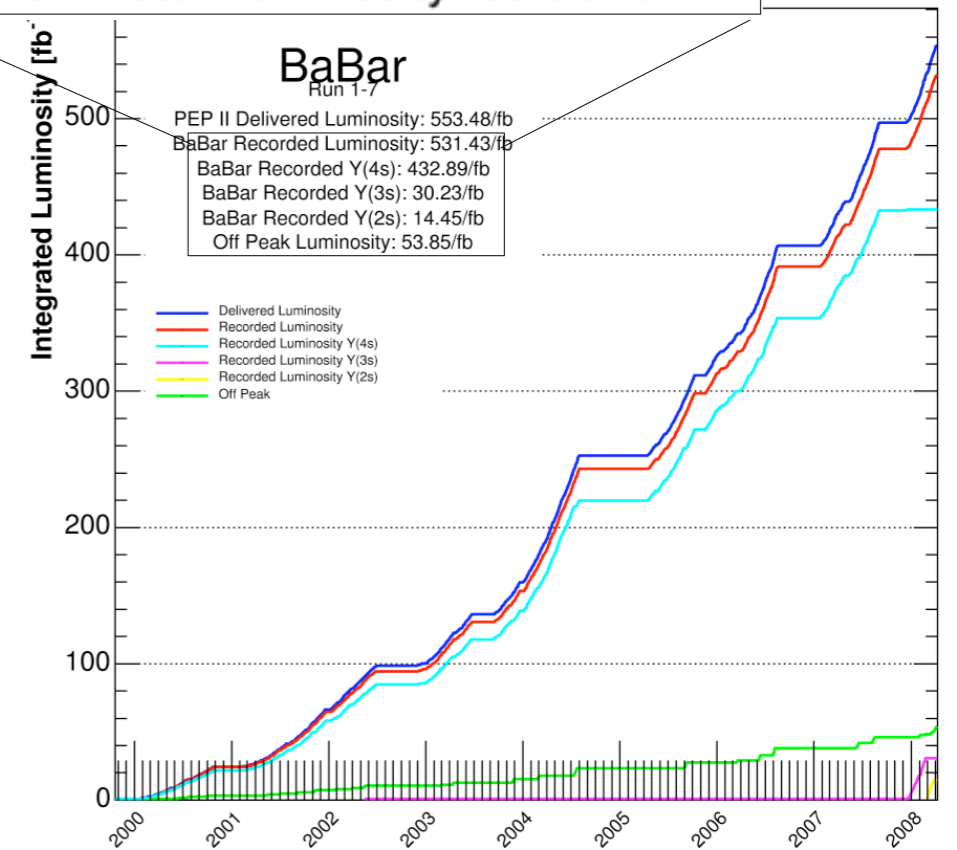
- Muon/Hadron Detector
- Magnet Coil
- Electron/Photon Detector
- Cherenkov Detector
- Tracking Chamber
- Support Tube
- Vertex Detector

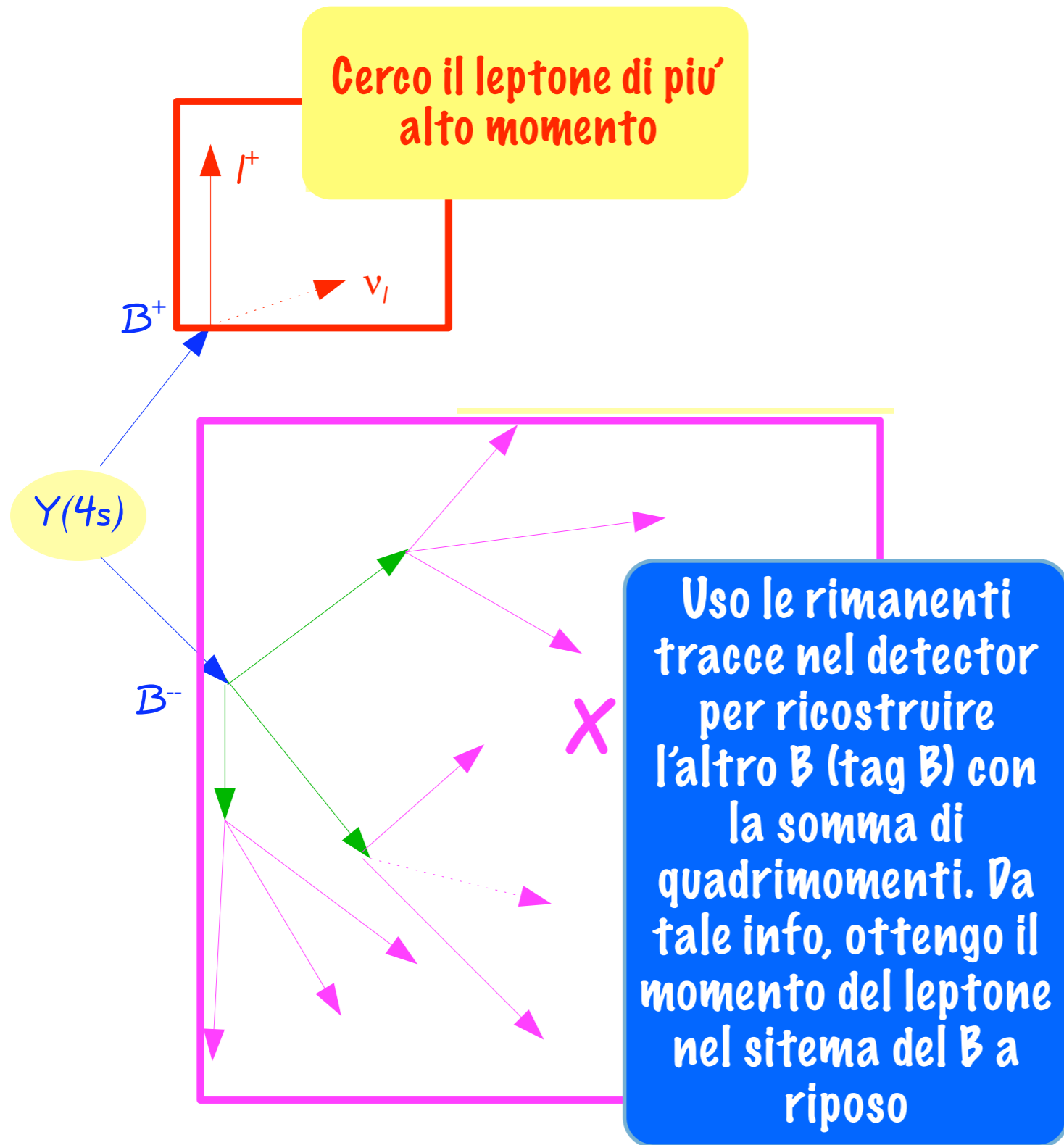


## BaBar

BaBar Recorded Luminosity: 531.43/fb  
 BaBar Recorded  $Y(4s)$ : 432.89/fb  
 BaBar Recorded  $Y(3s)$ : 30.23/fb  
 BaBar Recorded  $Y(2s)$ : 14.45/fb  
 Off Peak Luminosity: 53.85/fb

As of 2008/04/11 00:00





## \* Selezione del leptone

- \* richiesta severa sull'identificazione come muone o elettrone e su  $p_{REST}$  e  $p_{CM}$
- \* No leptoni sul lato di tag

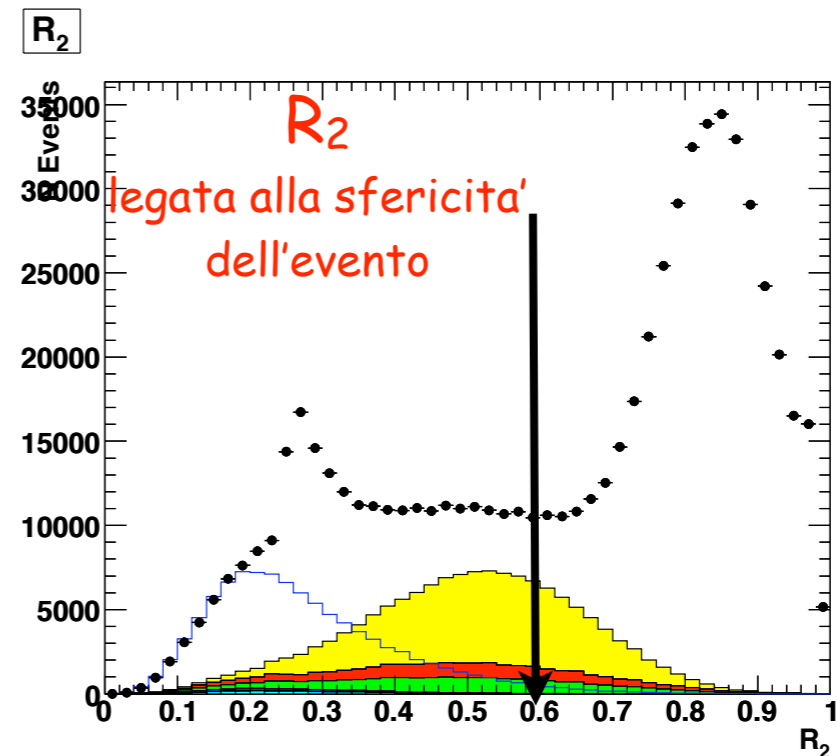
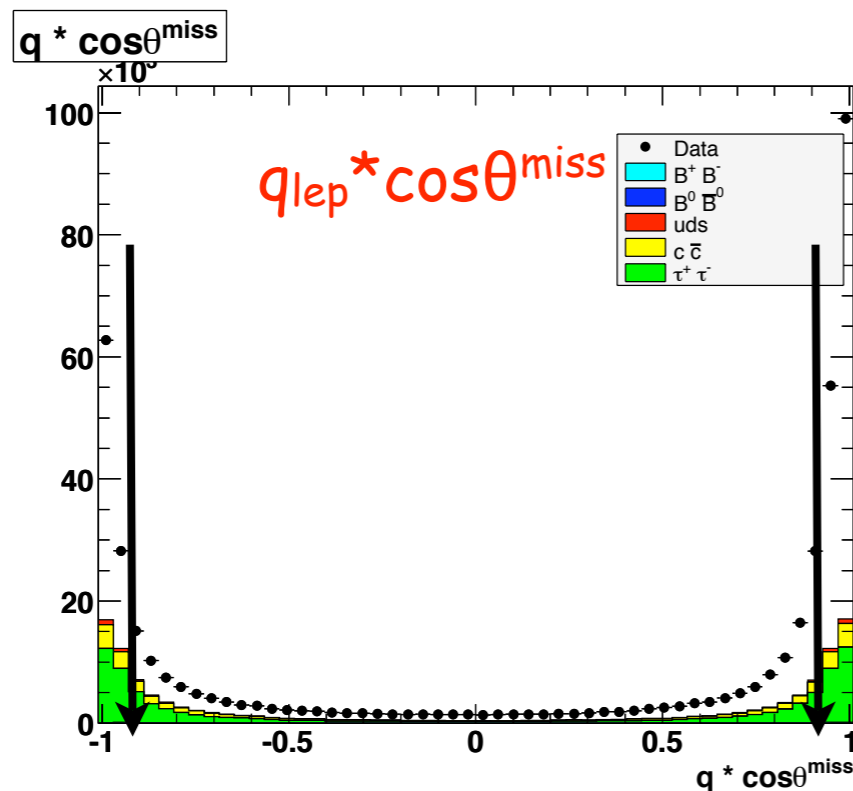
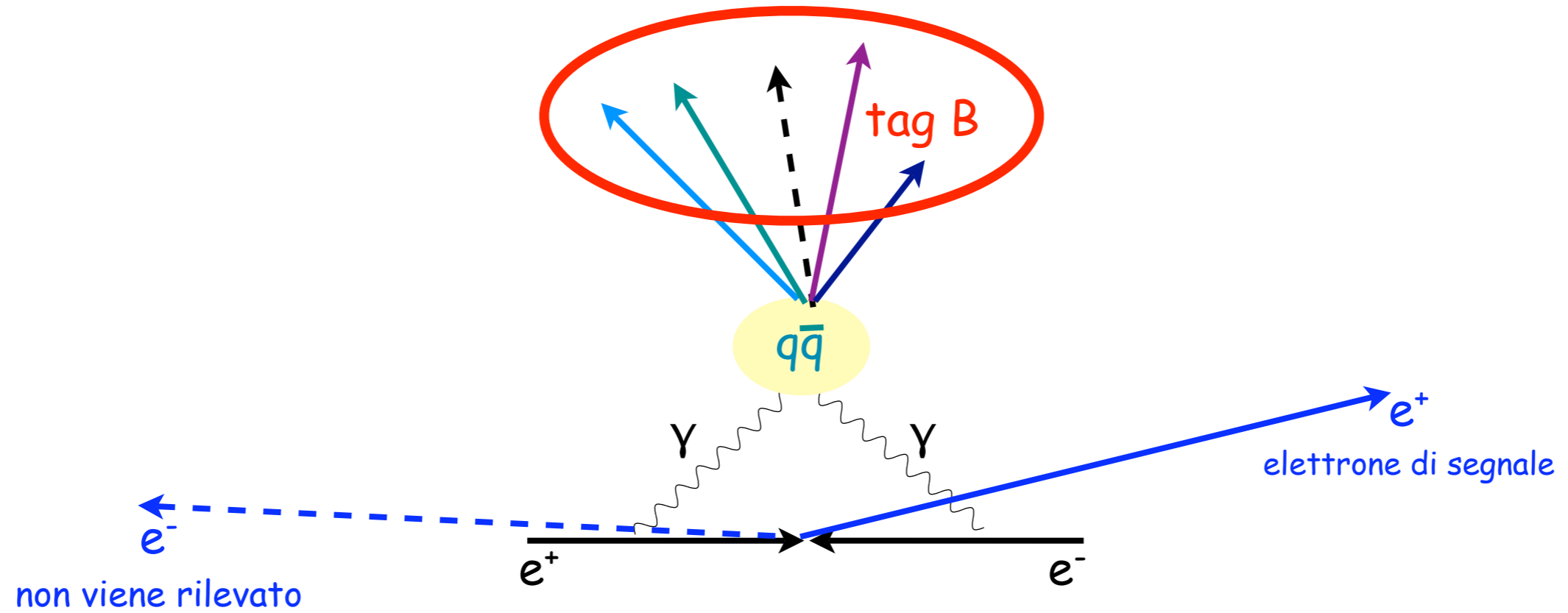
## \* Selezione del tag B con variabili cinematiche

## \* Fondo tipico:

- \*  $q\bar{q}$
- \*  $B \rightarrow X_u l \nu$  con leptone al limite dello spettro
- \* Eventi da fusione di 2 fotoni x elettrone

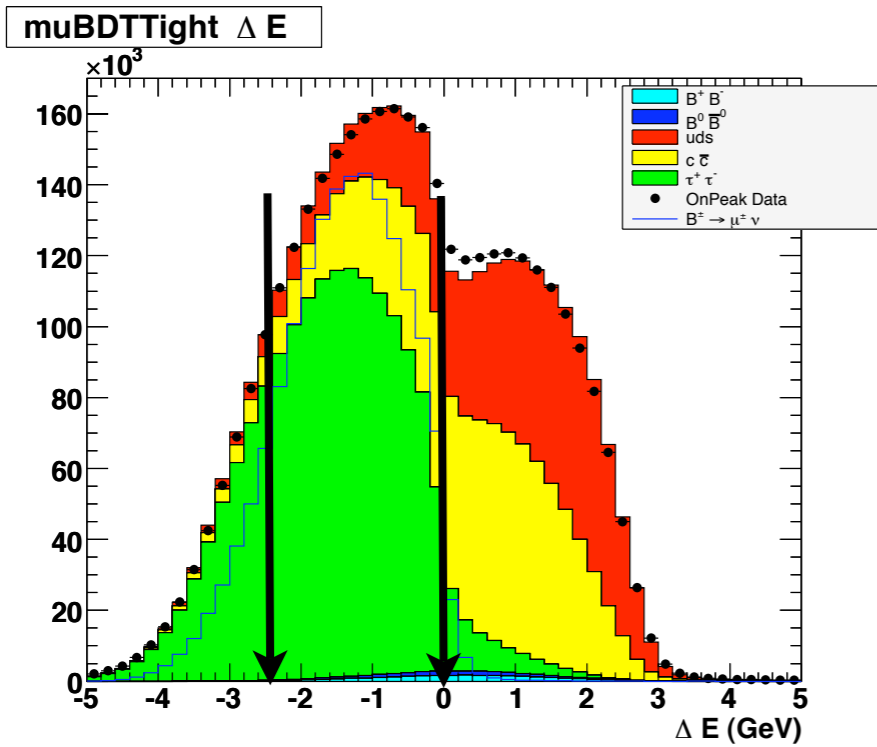
## \* Estrazione del numero di eventi con fit bidimensionale di Maximum Likelihood (ML)





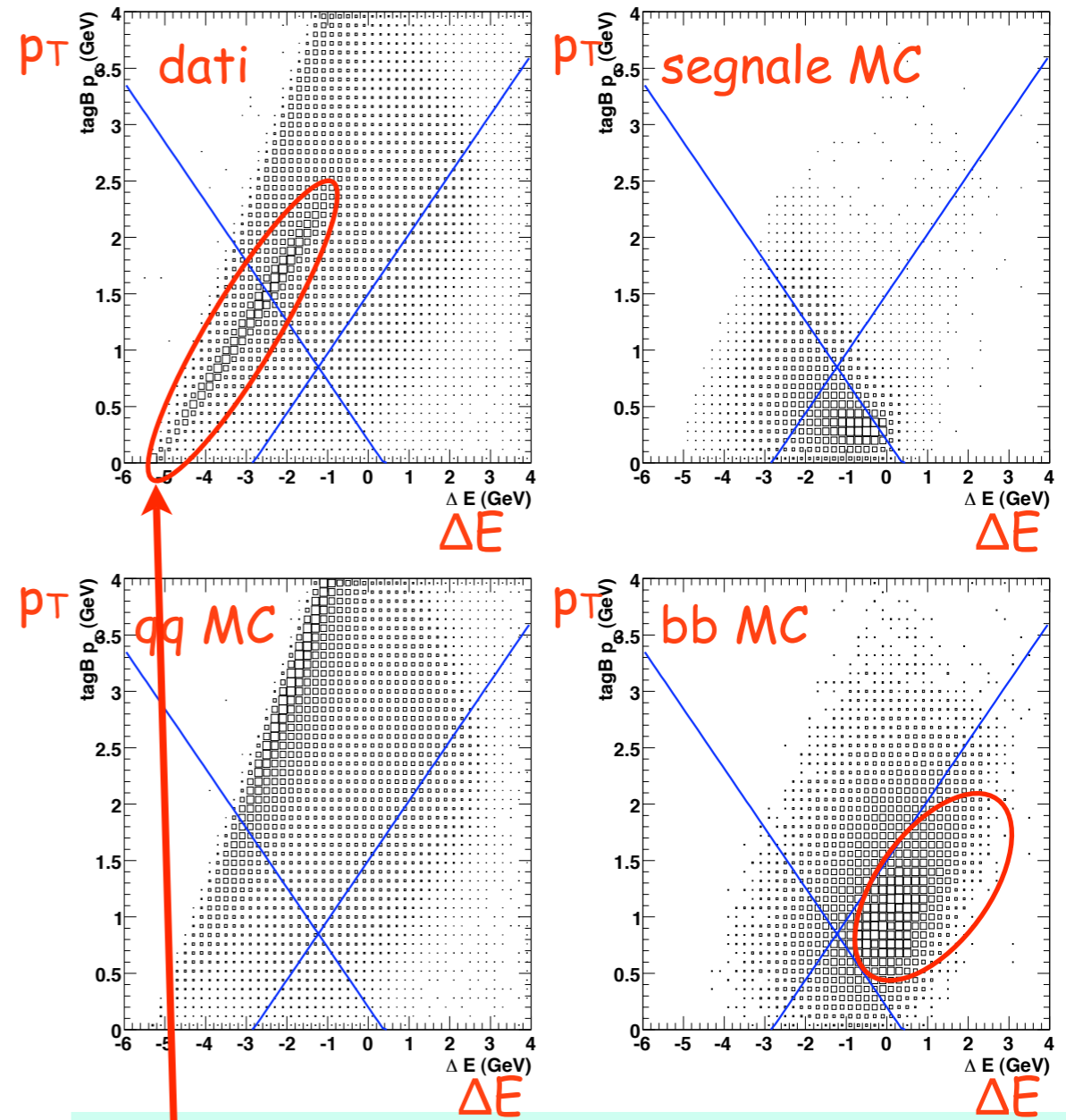
$B \rightarrow \mu \nu$

$B \rightarrow e \nu$



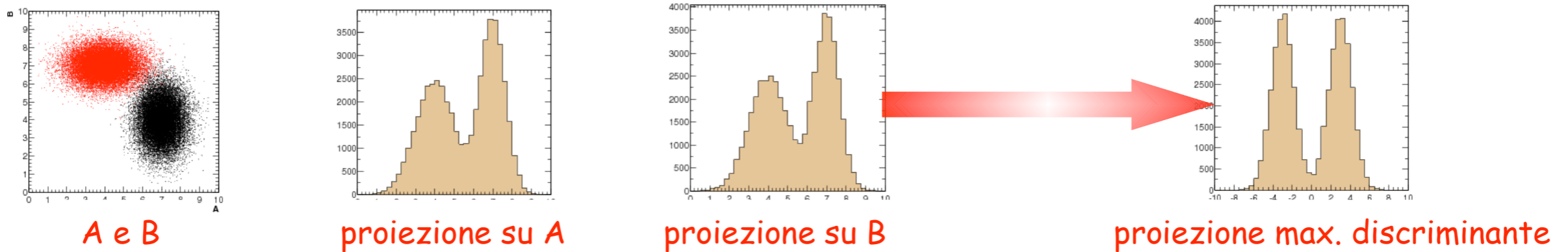
$$\Delta E = E_B - E_{beam},$$

picca -1 GeV (e non 0)  
per segnale perche' spesso non si  
ricostruiscono tutti i prodotti di  
decadimento del tag B



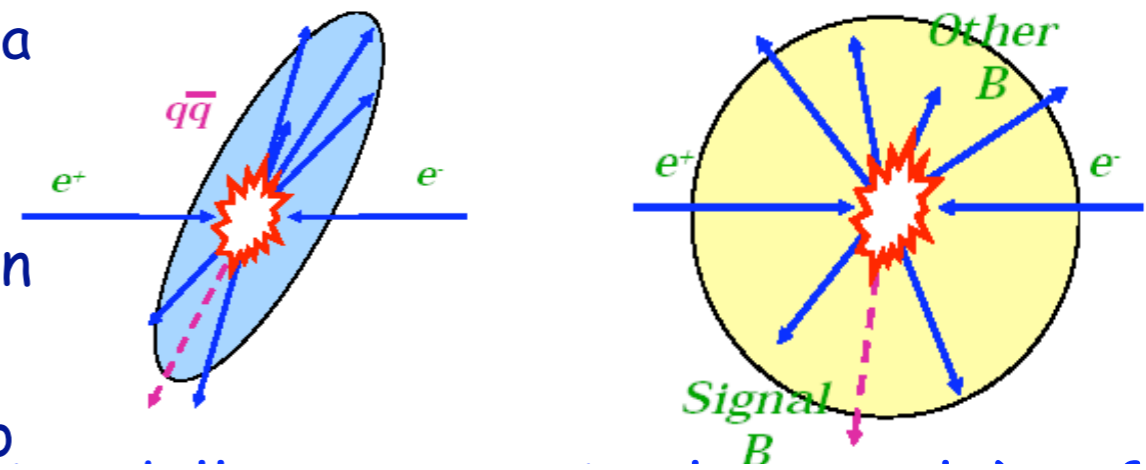
Eventi da 2 fotoni non presenti  
nel MonteCarlo

- \* Il Fisher e' una combinazione lineare di variabili tale da ottimizzare il loro potere discriminante tra due diverse classi di eventi



- \* Sfrutta la fondamentale differenza di topologia tra un evento  $q\bar{q}$  o  $\tau\tau$  e un evento  $BB$

- \* Inoltre, dato la natura a due corpi del processo in considerazione, e' possibile sfruttare variabili cinematiche date dalla conservazione dell'impulso



- \* "Backward elimination" per trovare la migliore combinazione e numero di variabili

$$P(\nu) = P(\Upsilon(4S)) - P(\text{tag}B) - P(\text{lep})$$

- \* Ottimizzazione separata per  $e/\mu$  e per periodi diversi di tempo

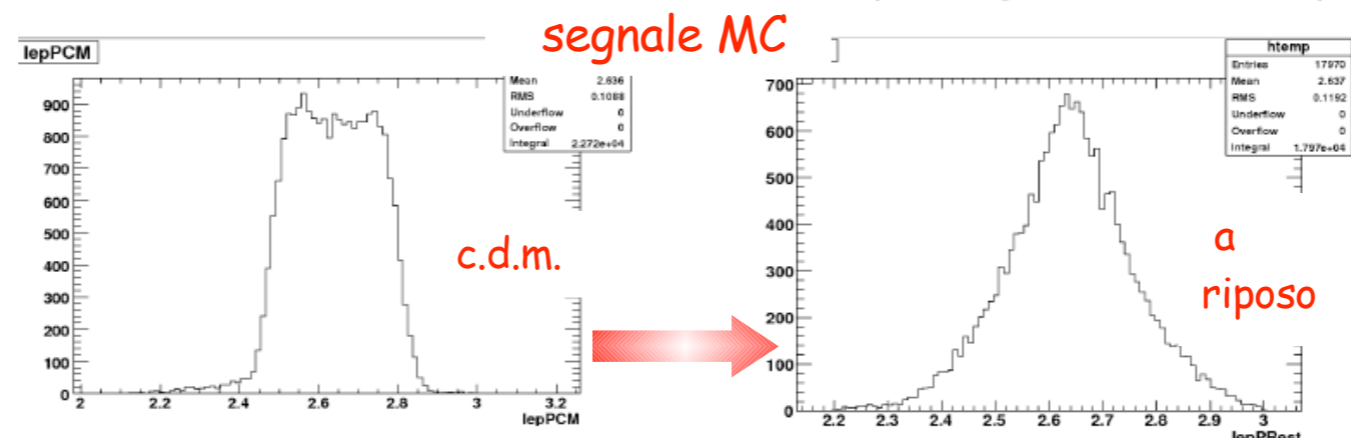
$$F.O.M = \frac{\epsilon_{SIG}}{\sqrt{N_{bkg}}}$$



# Variabili del fit di ML : pFIT

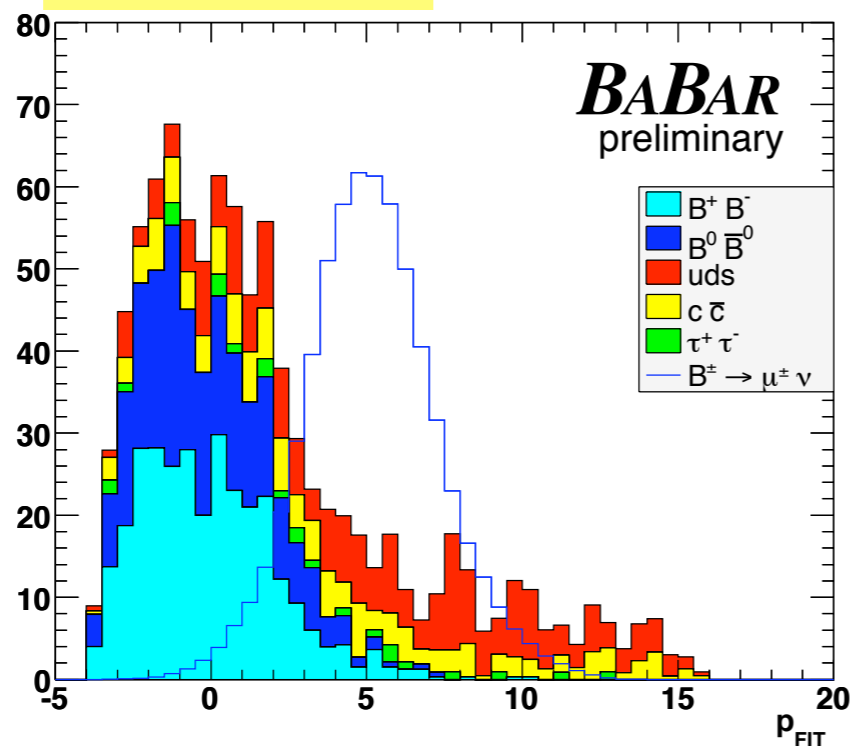


- \* Sfrutta l'idea del Fisher su due variabili cinematiche altamente discriminanti in un evento a due corpi come quello studiato

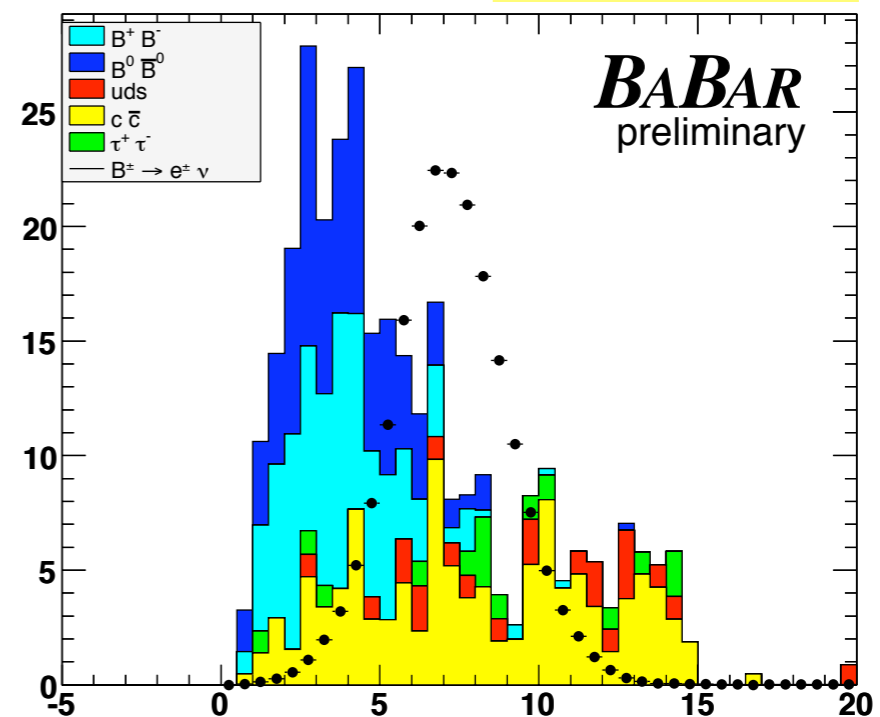


$$p_{FIT} = a_1 + a_2 \cdot p_{CM} + a_3 \cdot p_{REST}$$

$B \rightarrow \mu \nu$



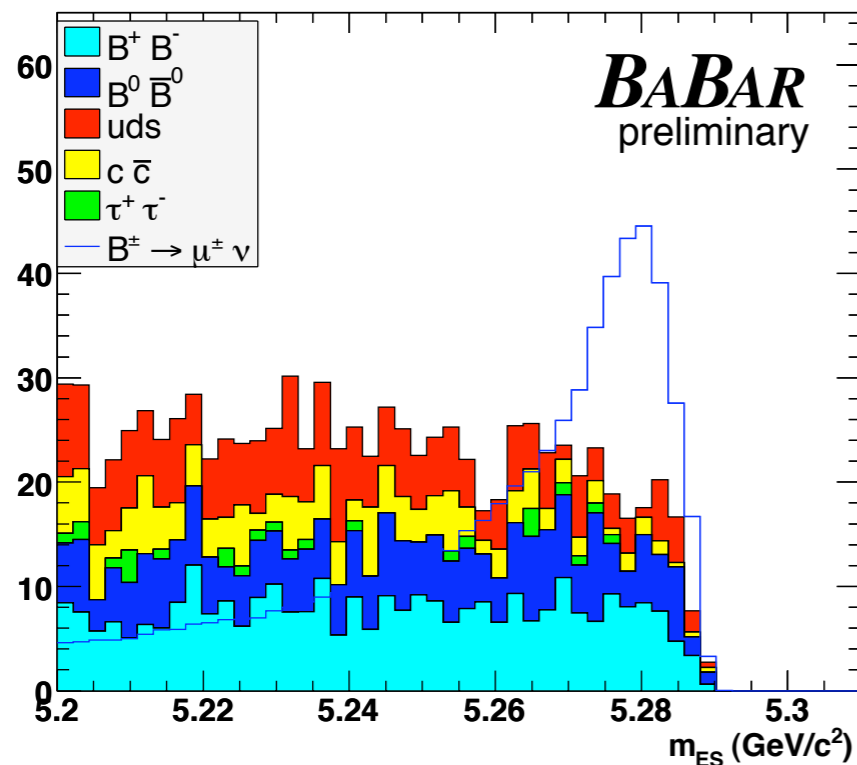
$B \rightarrow e \nu$



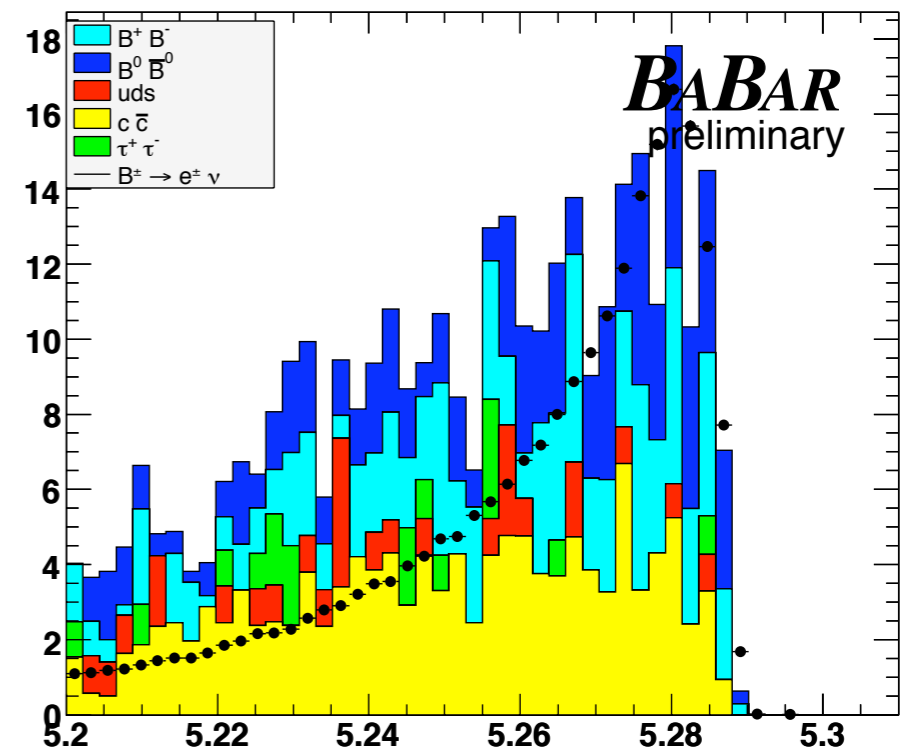
- \* La massa del tag B ricostruita dal suo momento e dall'energia dei fasci : picca a  $5.279 \text{ GeV}/c^2$

$$m_{ES} = \sqrt{E_{beam}^2 - \vec{p}_B^2}$$

$B \rightarrow \mu\nu$



$B \rightarrow e\nu$

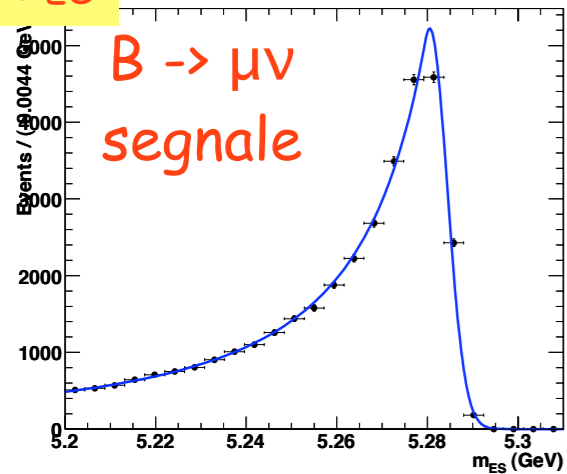




# Parameterizzazione

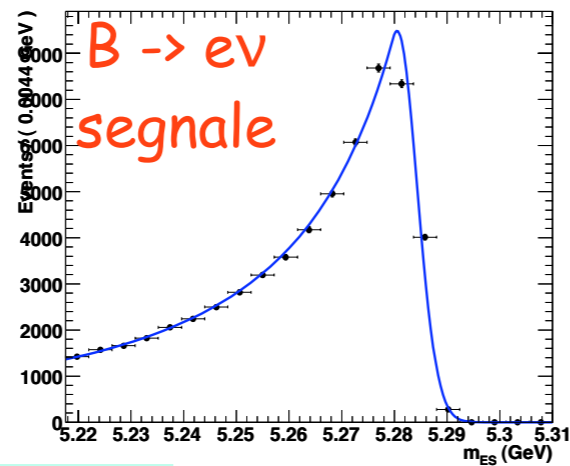


MES Plot of "m<sub>ES</sub>"

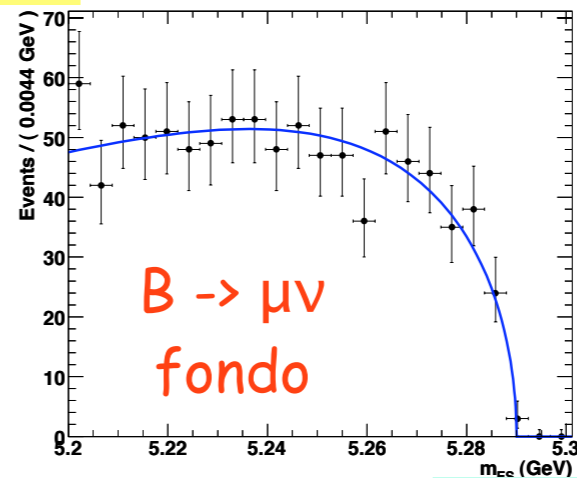


Crystal Ball

A RooPlot of "m<sub>ES</sub>"

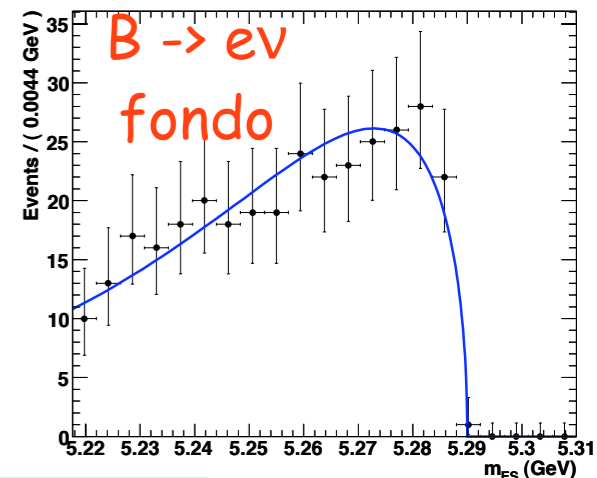


MES Plot of "m<sub>ES</sub>"



Argus

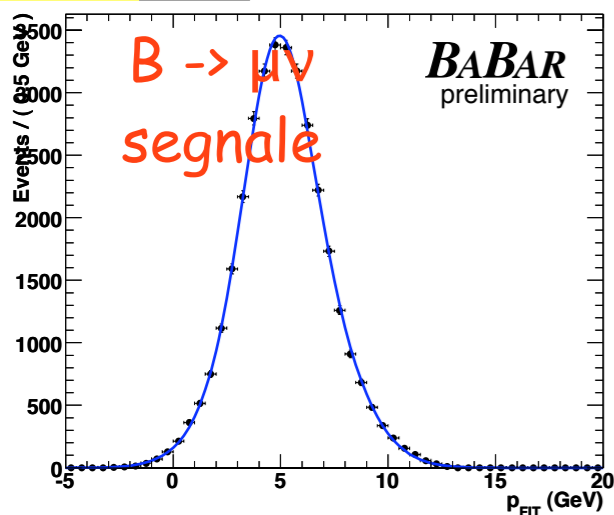
A RooPlot of "m<sub>ES</sub>"



$$f_{\text{cry}} = \begin{cases} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) & \frac{x-\mu}{\sigma} > -\alpha \\ \left(\frac{n}{|\alpha|}\right)^2 \cdot \exp\left(-\frac{|\alpha|^2}{2}\right) \cdot \left(\frac{n}{|\alpha|} - |\alpha| - \frac{x-\mu}{\sigma}\right) & \frac{x-\mu}{\sigma} \leq -\alpha \end{cases}$$

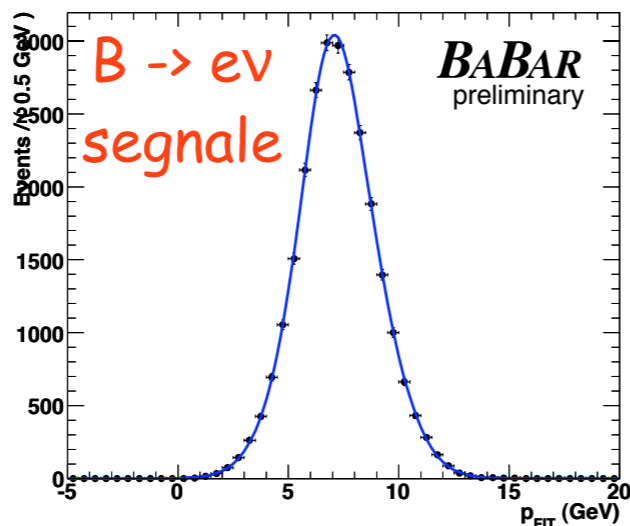
$$f(x; c, \chi) = x \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{x}{c}\right)} \exp\left[-\chi \cdot \left(1 - \left(\frac{x}{c}\right)^2\right)\right]$$

PFIT Plot of "p<sub>FIT</sub>"

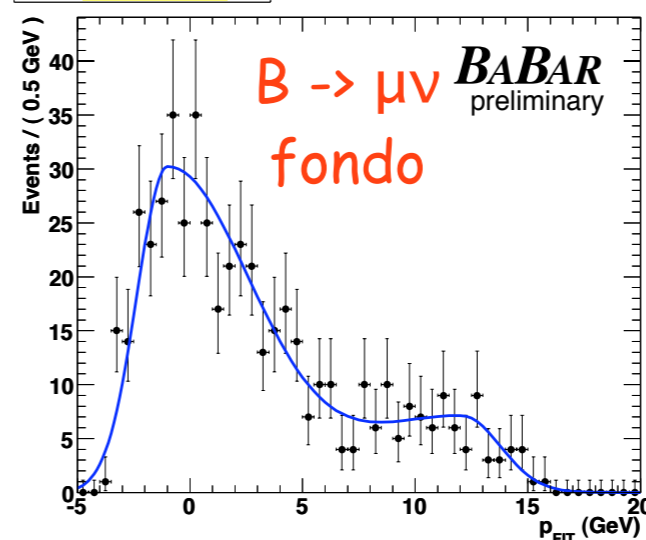


Somma di due Gaussiane

A RooPlot of "p<sub>FIT</sub>"

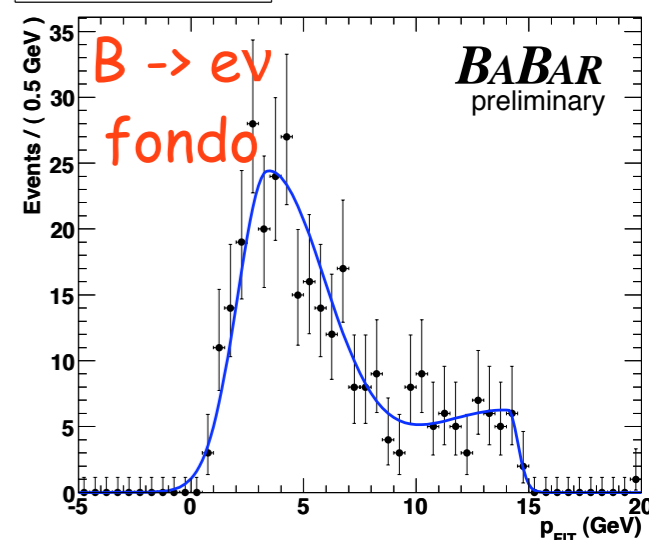


PFIT Plot of "p<sub>FIT</sub>"



Somma di due Gaussiane Biforcate

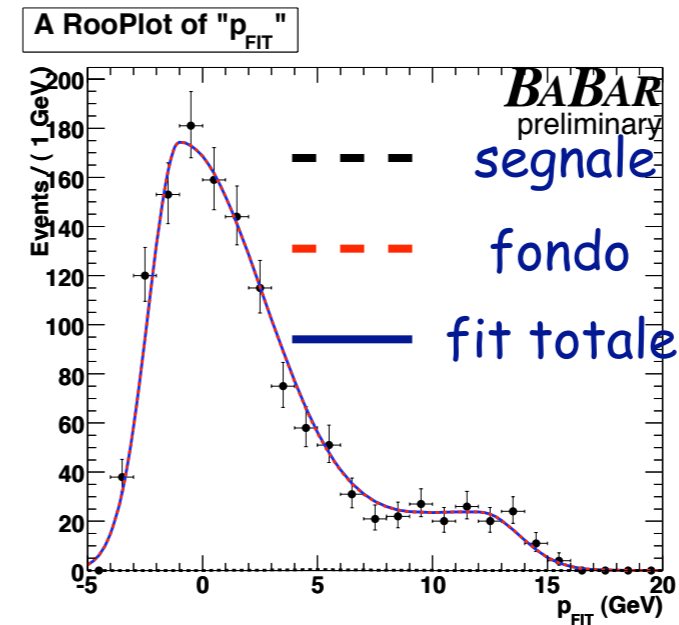
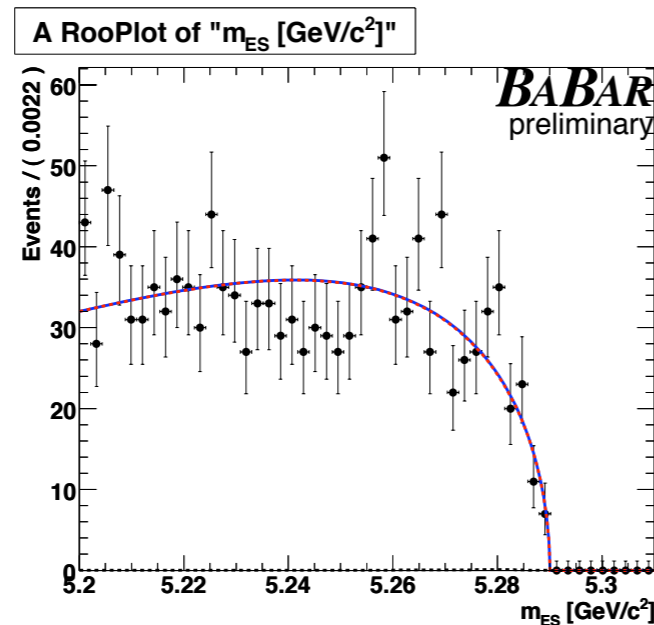
A RooPlot of "p<sub>FIT</sub>"



il  $\mu$  sui dati in  
 $5.17 < m_{ES} < 5.2 \text{ GeV}/c^2$

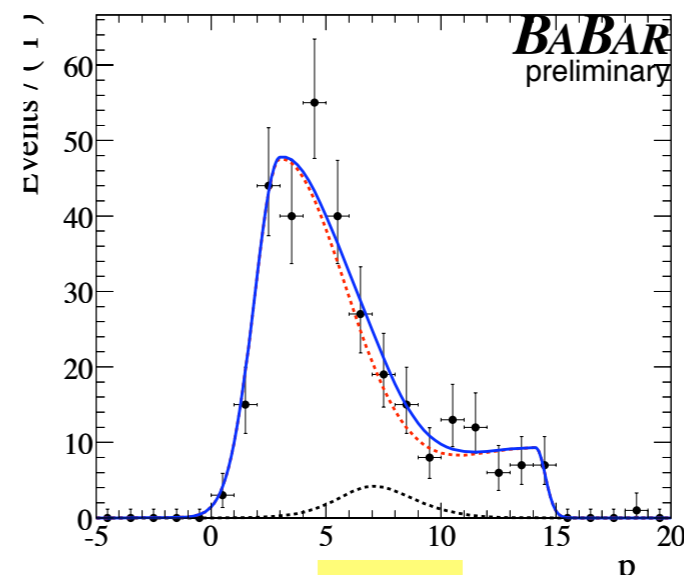
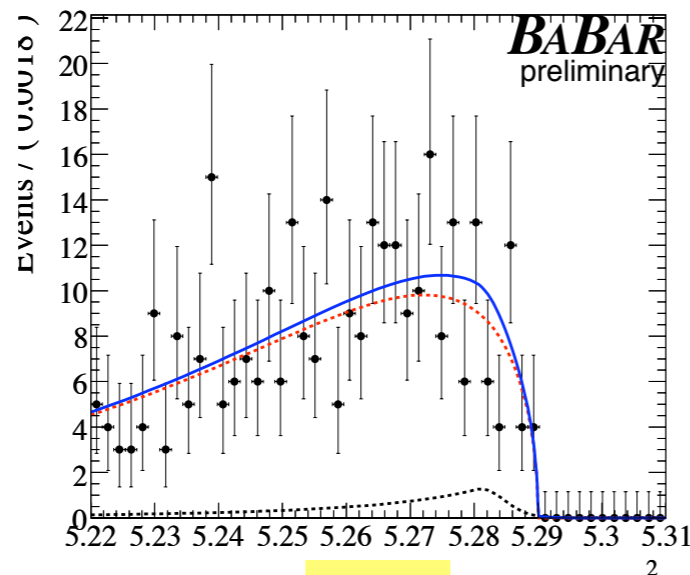
- \* Prima di effettuare il fit sui dati la procedura viene validata tramite Toy MC: si generano in modo Poissoniano campioni di segnale e fondo distribuiti in  $m_{ES}$  e  $p_{FIT}$  secondo le distribuzioni parametrizzate e si fittano con la strategia che si vuole applicare ai dati

$B \rightarrow \mu\nu$



$1.4 \pm 15.3$   
eventi segnale

$B \rightarrow e\nu$



$17.9 \pm 14.1$   
eventi segnale

$m_{ES}$

$p_{FIT}$



# Sistematiche



- \* Le sistematiche legate alla misura del branching ratio possono sorgere dall'efficienza della selezione scelta stimata dal MonteCarlo o dalla parametrizzazione delle variabili del fit
- \* Efficienza:
  - \* Selezione del leptone: PID e efficienza di tracciamento da campioni di controllo standard di BaBar
  - \* Selezione del tag B: uso di campione di controllo dalla topologia molto simile  $B \rightarrow D^{0(*)} \pi$
  - \* Selezione sul Fisher: uso della regione di  $\Delta E$  (e tag B  $p_T$ ) fuori dalla selezione per confronto dati/MC
- \* Parametrizzazione:
  - \* Incertezza sui valori variabili: 500 fit sui dati per ogni parametro generato Gaussianamente tenendo conto dell'errore e delle correlazioni
  - \* Accordo dati/MC per l'elettrone: uso della regione  $5.16 < m_{ES} < 5.22 \text{ GeV}/c^2$  (non usata nel fit finale) nella variabile  $p_{FIT}$





# Valutazione del UL



$$BR(B^\pm \rightarrow \mu^\pm(e^\pm)\nu) \leq \frac{N_{UL}}{\text{number}B^\pm \cdot \epsilon_{\mu(e)}}$$

Dove  $N_{UL}$  e' l'upper limit sul numero di eventi di segnale

- \* Approccio Bayesiano per la stima dell'upper limit:
  - \* Si genera secondo una distribuzione piatta il branching ratio per  $BR > 0$  fino a  $BR(B \rightarrow \mu(e)\nu) = 3(5) \times 10^{-6}$
  - \* Si genera l'efficienza e il numero di  $B^+B^-$  distribuiti Gaussianamente secondo il valore e l'errore stimati
  - \* Si associa al BR generato un peso dato dalla likelihood del numero di eventi di segnale  $N_s$  ottenuto
  - \* Si itera 100000 volte: la distribuzione del BR pesato ottenuta a posteriori e' la distribuzione da cui estrarre l'UL

$$P(BR|data) \propto P(data|BR)P(BR) \propto \int d\epsilon_{sig} dN_{bb} \mathcal{L}(N_s = BR \cdot \epsilon_{sig} \cdot N_{bb}) P(\epsilon_{sig}) P(N_{bb}) P(BR)$$



# Upper Limit



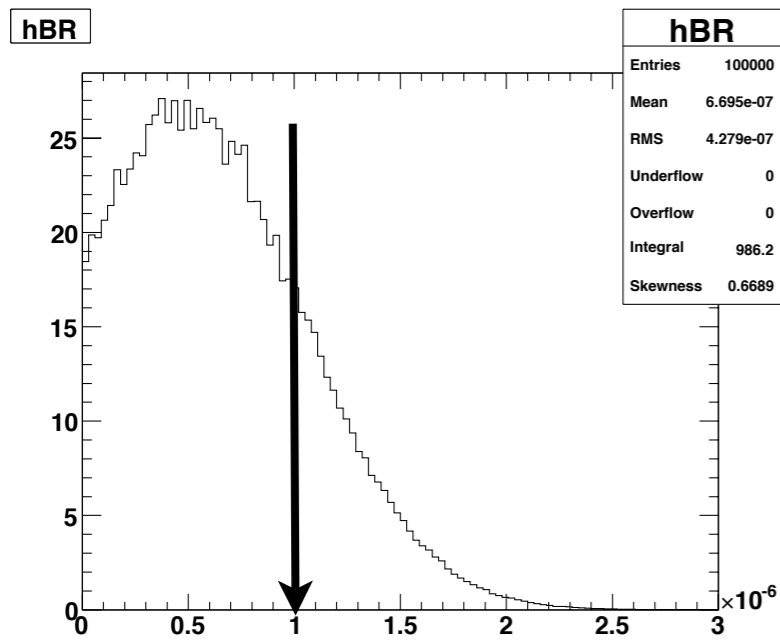
source	Total Err.	Relative Err.
tracking efficiency	0.00018	0.36%
muon identification	0.00095	1.91%
companion <i>B</i> reconstruction	0.0017	3.02%
Fisher selection	0.0008	1.43%
total	0.00229	4.08%

source	Total Err.	Relative Err.
tracking efficiency	0.00020	0.36%
electron identification	0.0013	2.31%
companion <i>B</i> reconstruction	0.0002	0.40%
Fisher selection	0.0022	5.31%
total	0.00272	5.82%

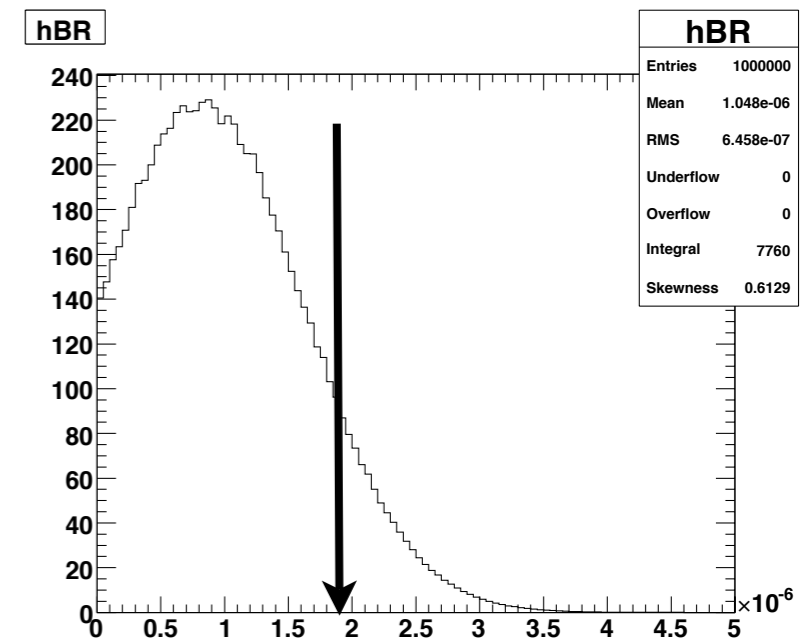
source	Muon Channel	Electron Channel
PDF parameters	7.6	9.8
Data/MC agreement	-	3.7
total	7.6	10.5

$N_s = 1.4 \pm 17.1$   
 $\epsilon = 6.10 \pm 0.23 \%$

$N_s = 17.9 \pm 17.5$   
 $\epsilon = 4.69 \pm 0.27 \%$



$BR(B \rightarrow \mu\nu) < 1.0 \times 10^{-6}$



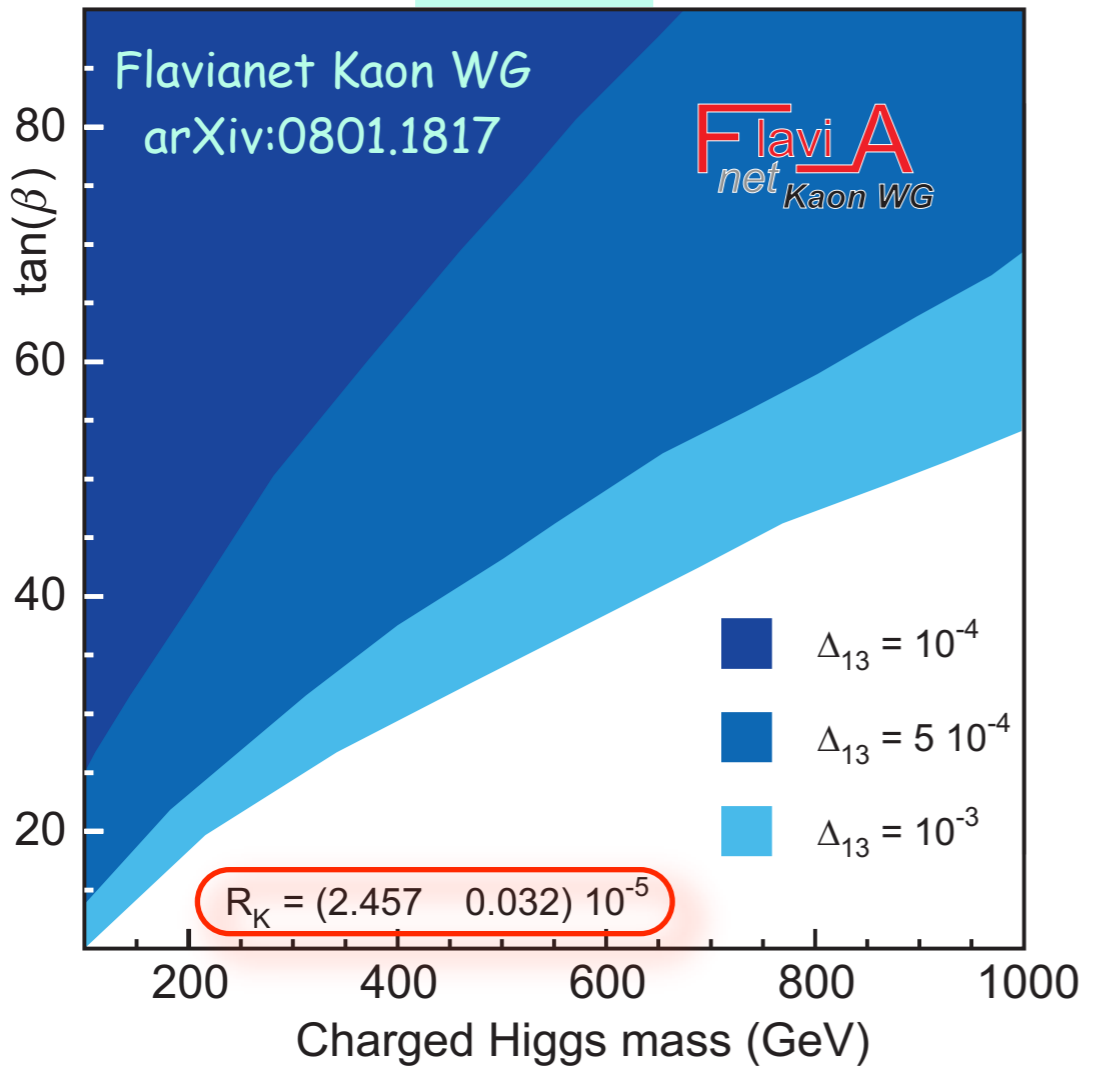
$BR(B \rightarrow e\nu) < 1.9 \times 10^{-6}$

$M = \pi, K, D, B, \dots$

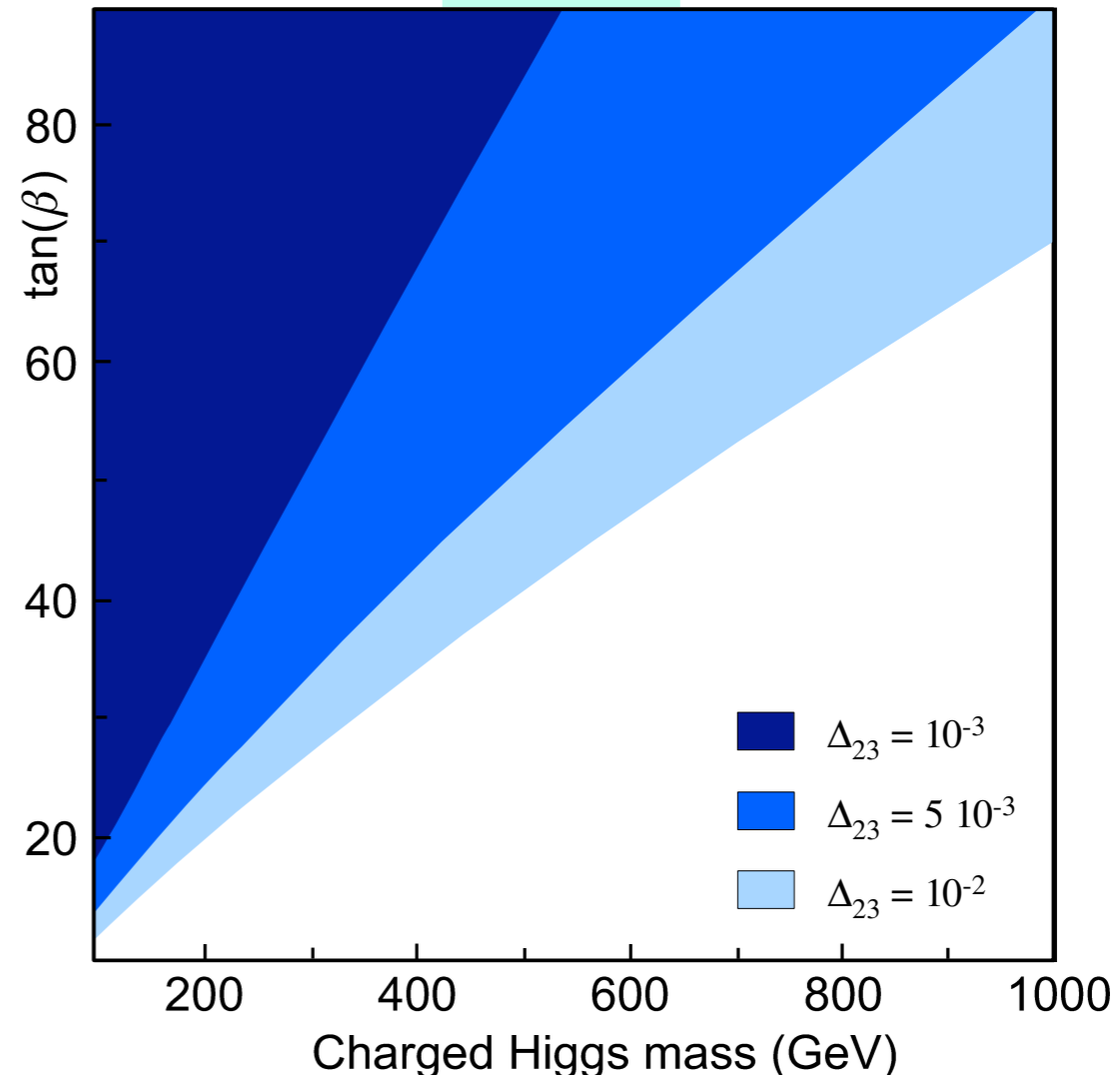
$$R_M^{j/k} = \frac{\sum_i \Gamma(M \rightarrow l_j \nu_i)}{\sum_i \Gamma(M \rightarrow l_k \nu_i)} \quad i, j, k = e, \mu, \tau.$$

$$(R_M^{j/k})_{\text{LFV}}^{\text{MSSM}} = (R_M^{j/k})^{\text{SM}} \left[ 1 + \frac{1}{R_{Mk\nu}} \left( \frac{m_M^4}{M_{H^\pm}^4} \right) \left( \frac{m_k^2}{m_j^2} \right) |\Delta_R^{\tau j}|^2 \frac{\tan^6 \beta}{(1 + \epsilon \tan \beta)^2} \right]$$

$R_K^{e/\mu}$



$R_B^{\mu/\tau}$





# Conclusioni e Prospettive



- \* Si sono misurati i seguenti upper limit:

$$BR(B \rightarrow \mu \nu) < 1.0 \times 10^{-6}$$

$$BR(B \rightarrow e \nu) < 1.9 \times 10^{-6}$$

- \*  $B \rightarrow \mu \nu$  e' al momento il limite piu' competitivo al mondo;

- \* Purtroppo, una sovrafluttuazione non ci permette di dire lo stesso per  $B \rightarrow e \nu$

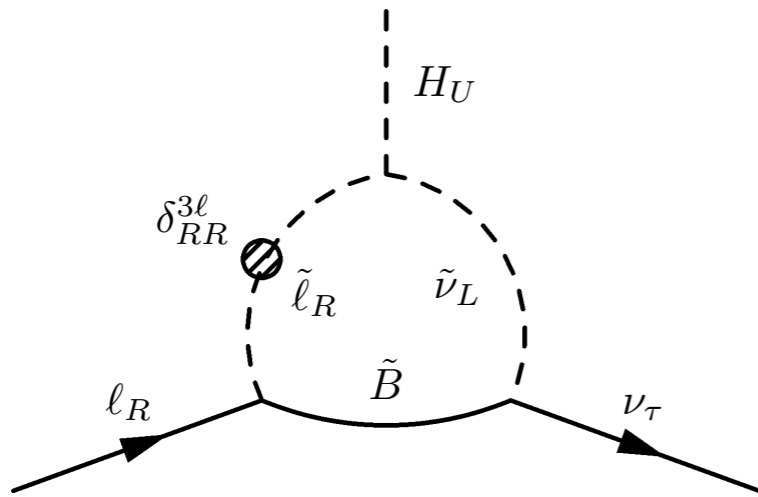
- \* Questo processo e' molto interessante per lo studio di modelli di Violazione Minima del Sapore oltre il MS, che abbiamo visto essere particolarmente favoriti dai presenti dati sperimentali
- \* Le misure effettuate, anche se solo UL, pongono gia' limiti molto interessanti sulla massa dell'Higgs carico e il valore di  $\tan \beta$
- \* L'esperimento Belle dispone di un campione di dati ~ doppio, ancora decisamente limitato per una misura: solamente possibili futuri esperimenti su collisori  $e^+e^-$  ad alta luminosita' (~100 volte PEPII) potrebbero sperare di vedere tale decadimento



# Backup slides



# Violazione del sapore leptonic INFN

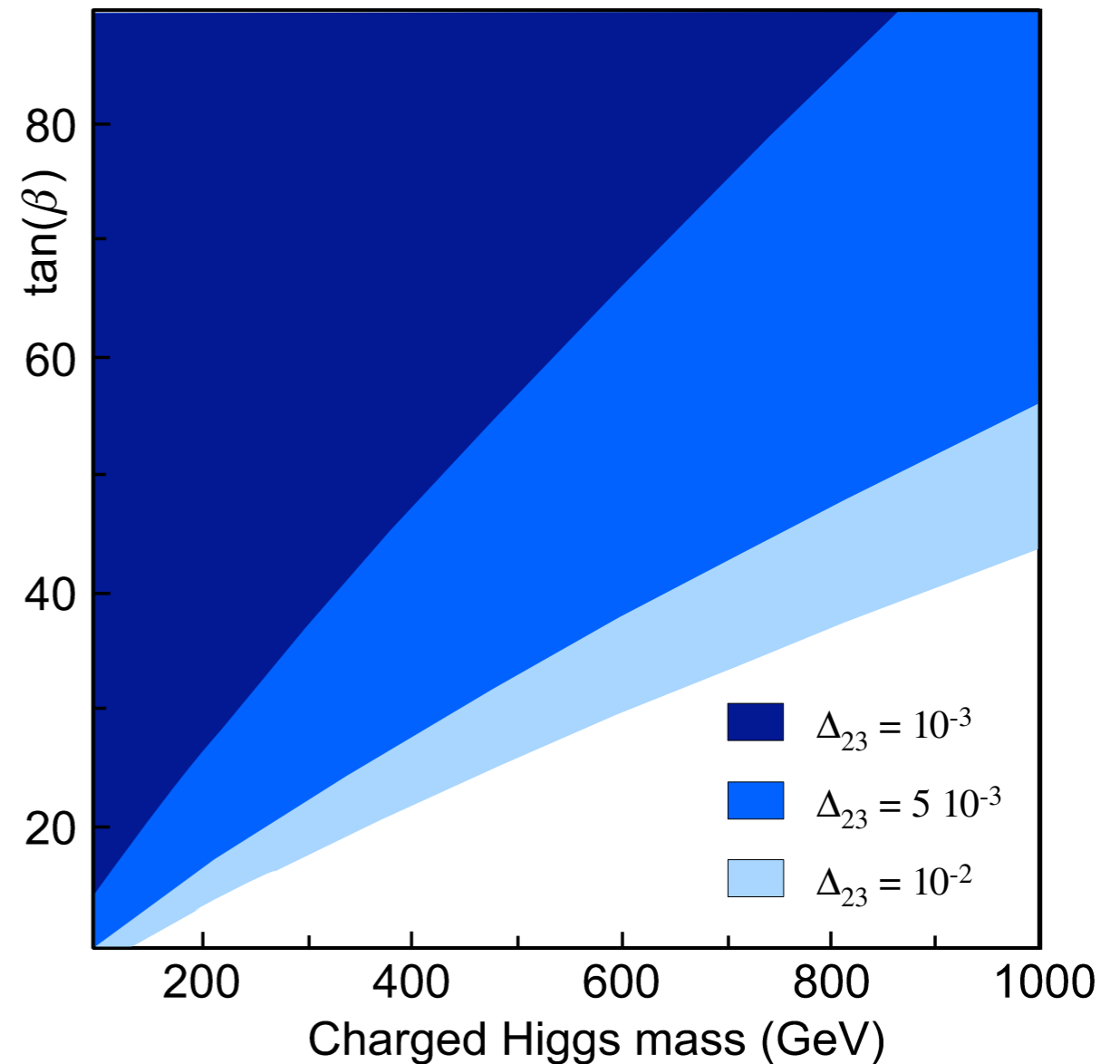


$$\ell H^\pm \nu_\tau \rightarrow \frac{g_2}{\sqrt{2}} \frac{m_\tau}{M_W} \Delta_R^{3\ell} \tan^2 \beta \quad \ell = e, \mu.$$

$$\Delta_R^{3\ell} \simeq \frac{\alpha_1}{4\pi} \mu M_1 m_R^2 \delta_{RR}^{3\ell} \left[ I'(M_1^2, \mu^2, m_R^2) - (\mu \leftrightarrow m_L) \right]$$

$$\delta_{XX}^{3\ell} = \frac{(\tilde{m}_\ell^2)_{XX}^{3\ell}}{m_X^2} \quad (X = L, R)$$

masse sleptoni



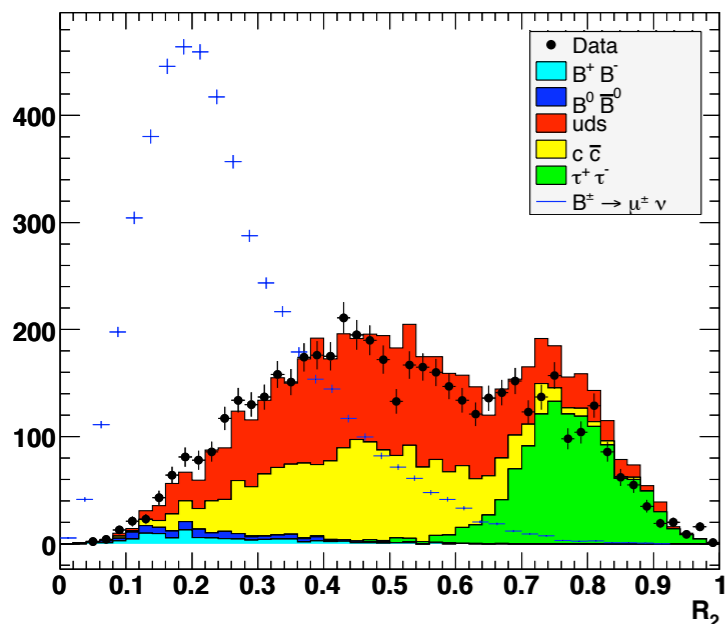
$R_B^{\mu/\tau}$  alla SuperB



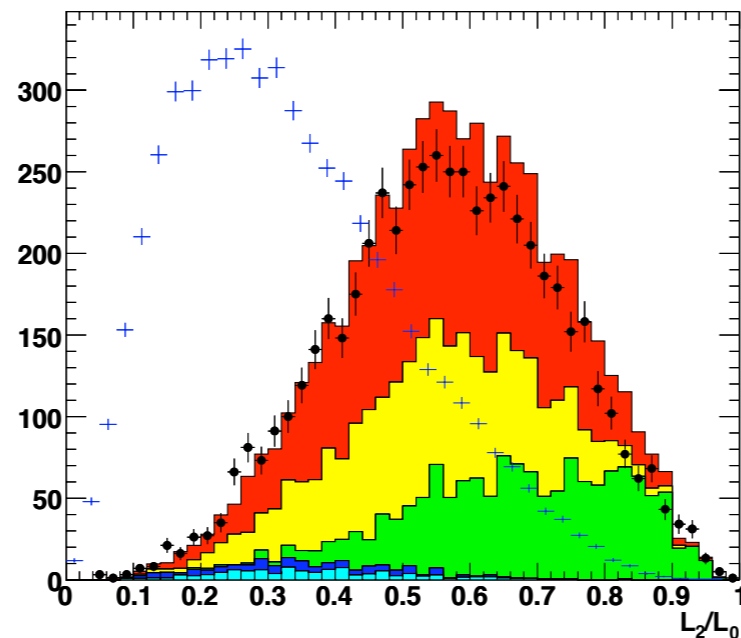
# Variabili del Fisher ( $\mu$ )



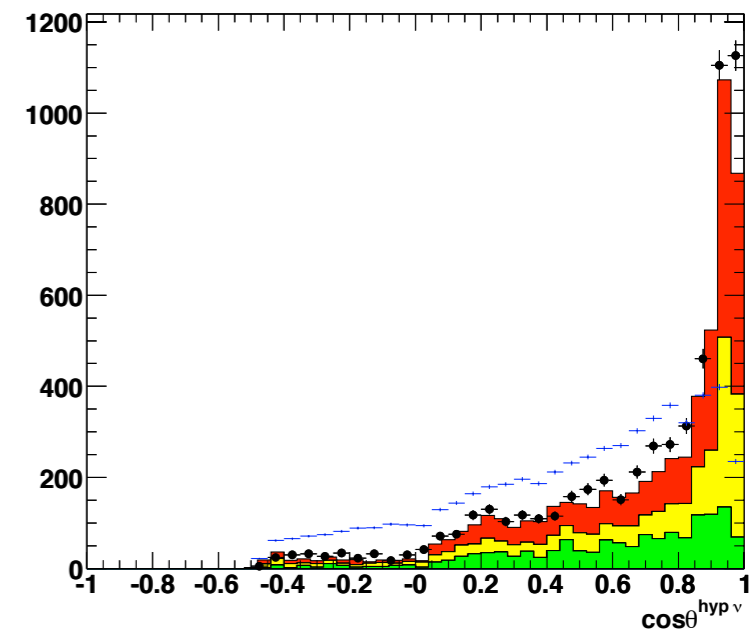
$R_2$  Run 3



$L_2/L_0$  Run 3

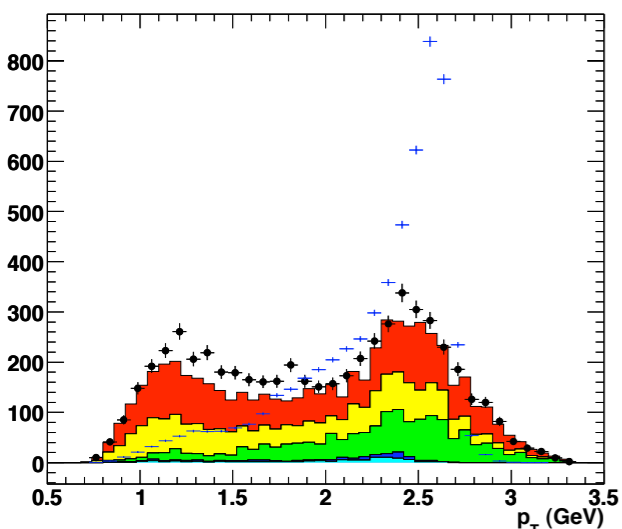


$\cos\theta^{\text{hyp } \nu}$  Run 3

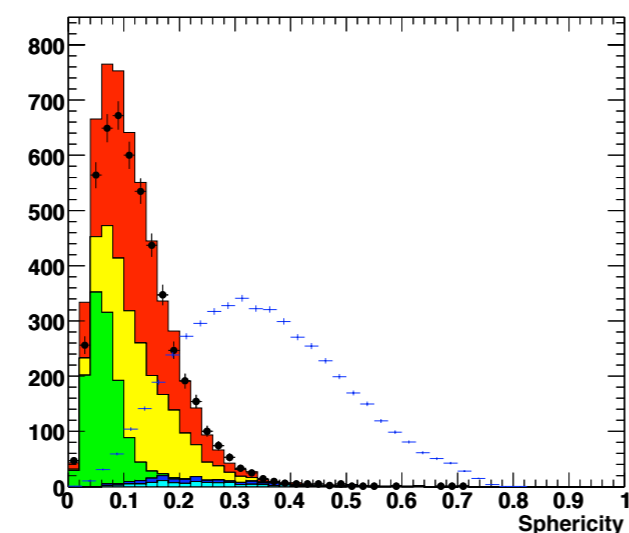


+ signal   ■ bpbm   ■ bbbar   ■ tau   ■ ccbar   ■ uds   ● data

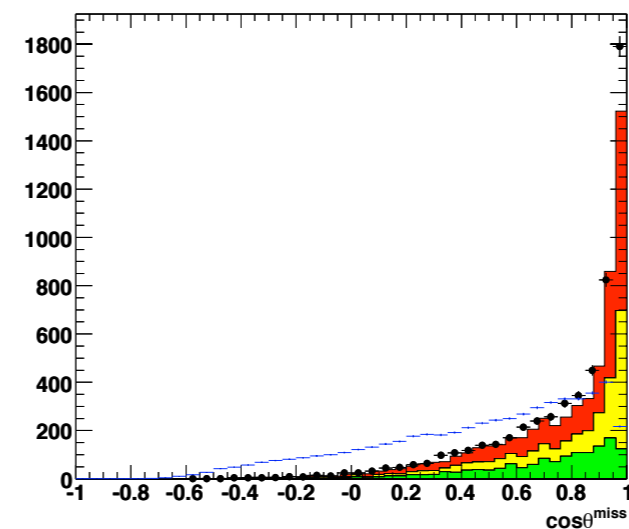
Lepton  $p_T$  Run 3



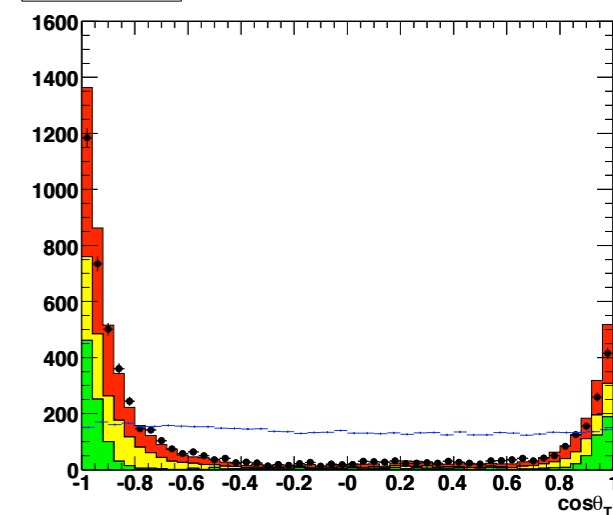
Sphericity Run 3



$\cos\theta^{\text{miss}}$  Run 3



$\cos\theta_T$  Run 3



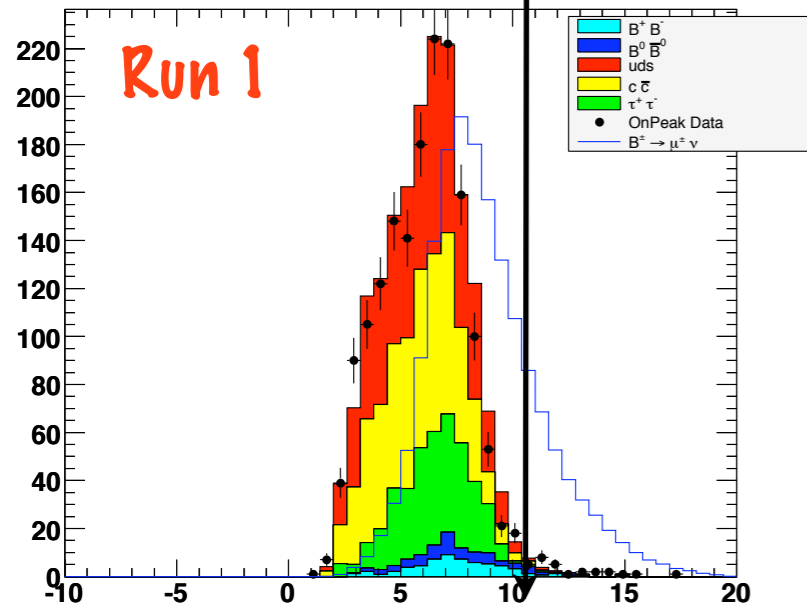
Queste ultime due vengono eliminate



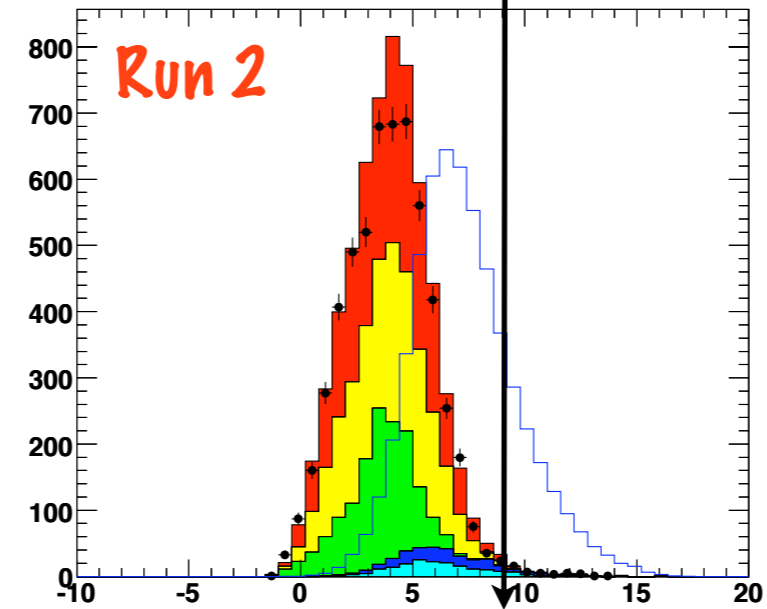
# Discriminanti Fisher ( $\mu$ )



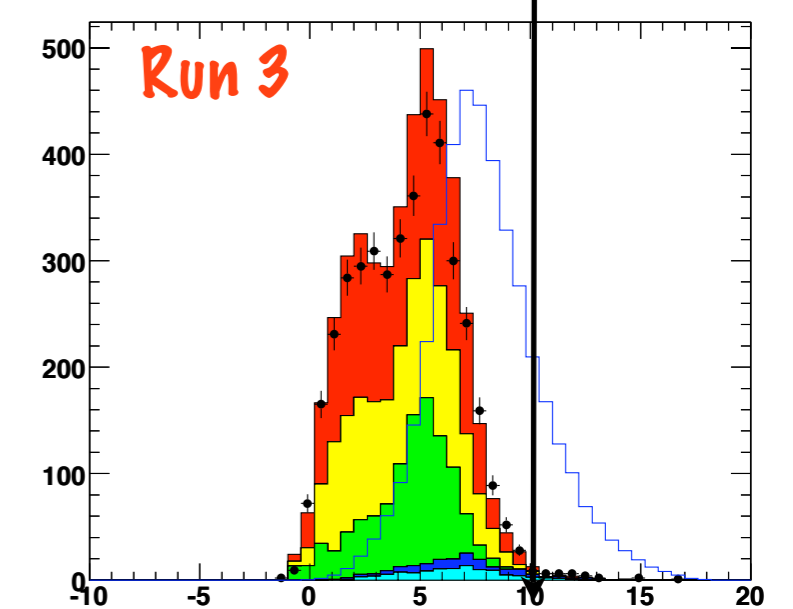
muBDTTight Fisher Run 1



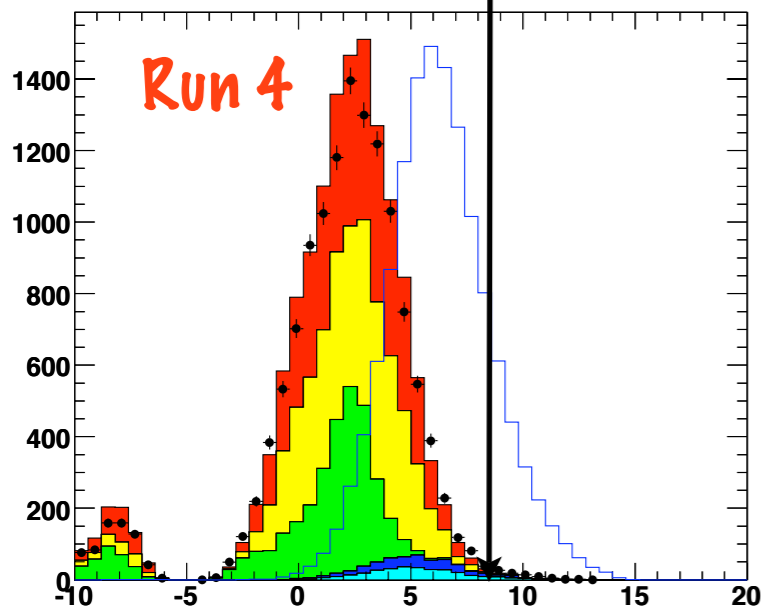
muBDTTight Fisher Run 2



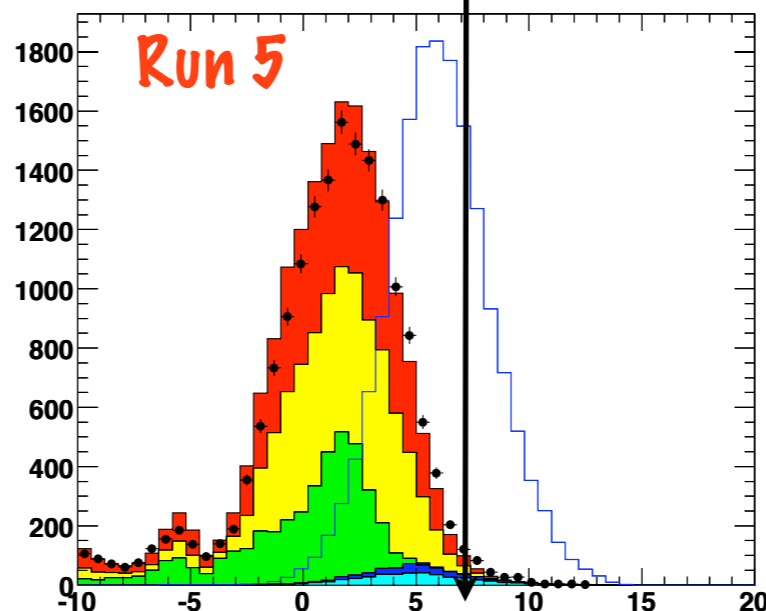
muBDTTight Fisher Run 3



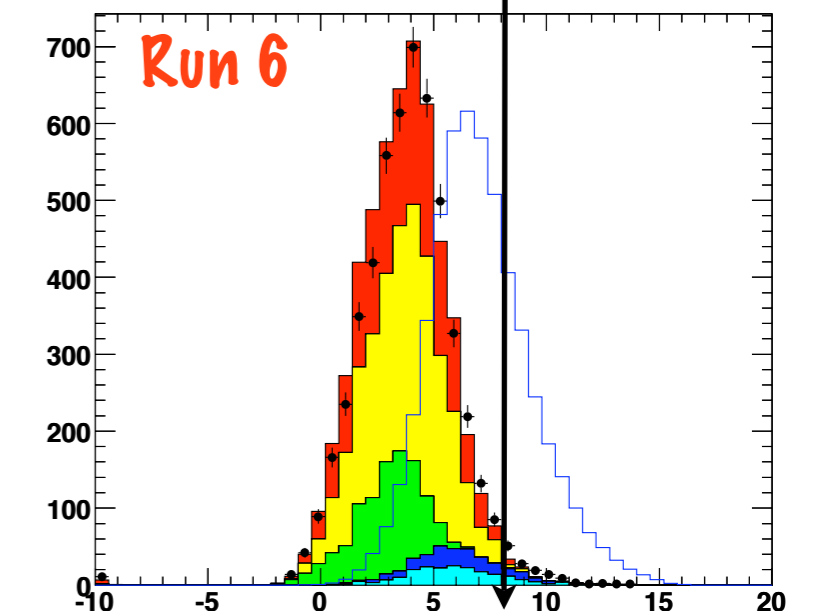
muBDTTight Fisher Run 4



muBDTTight Fisher Run 5



muBDTTight Fisher Run 6

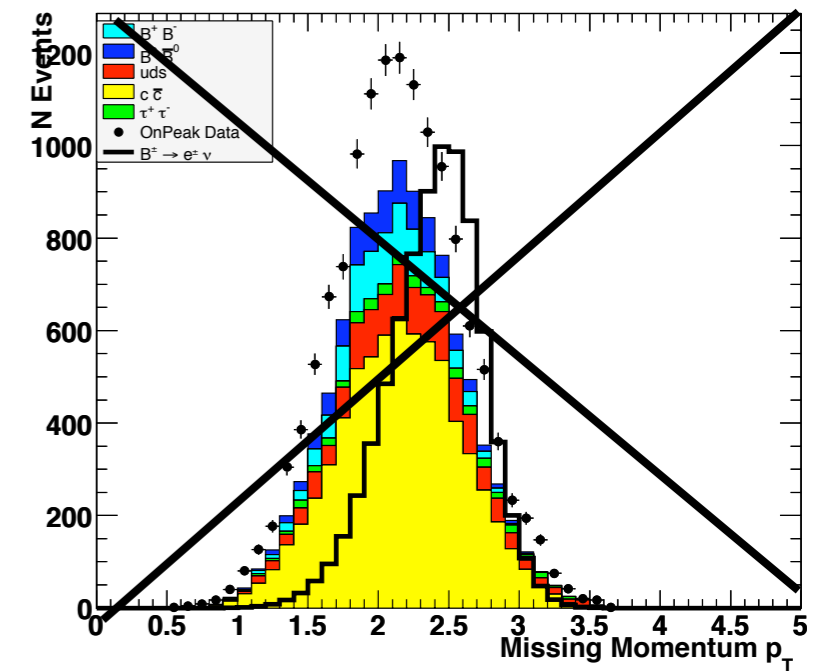
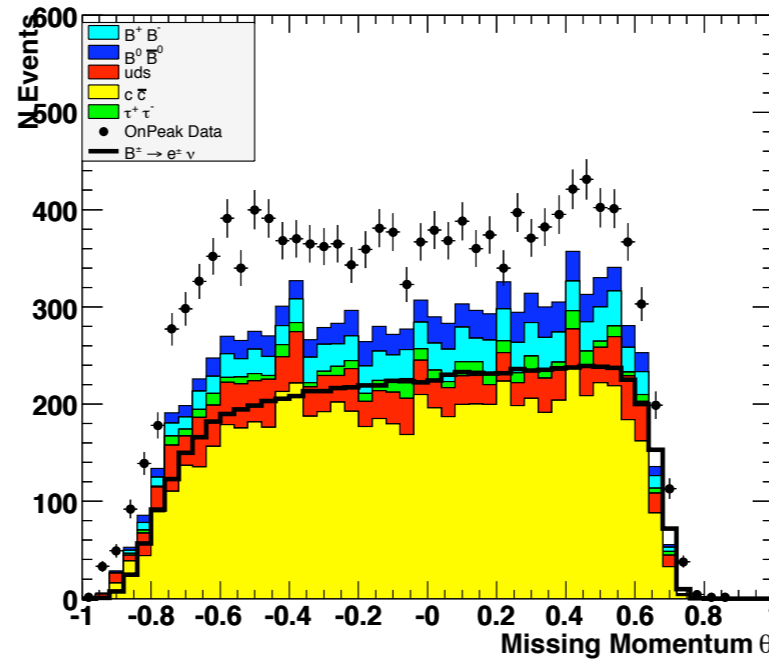
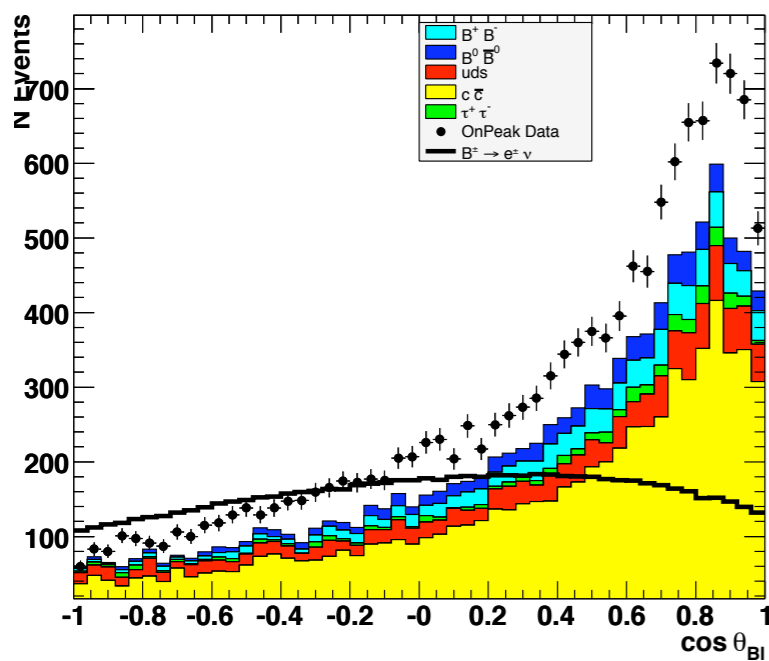
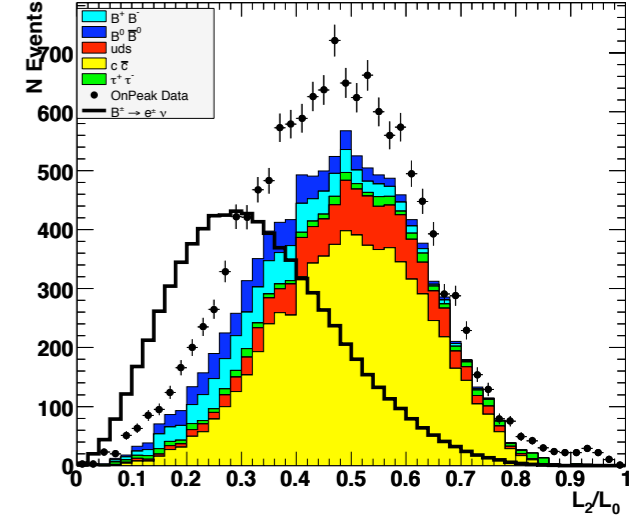
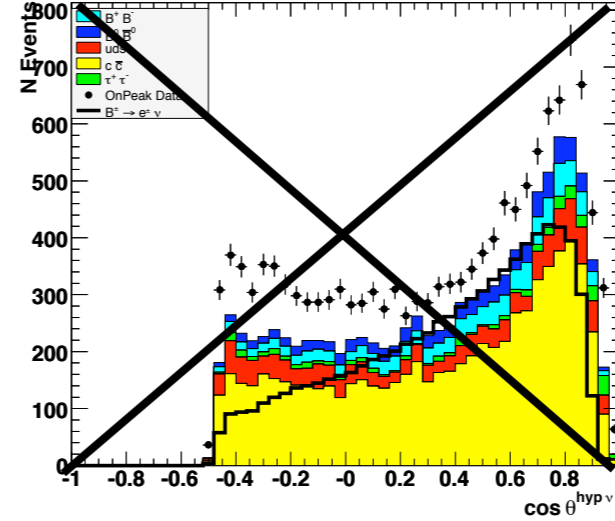
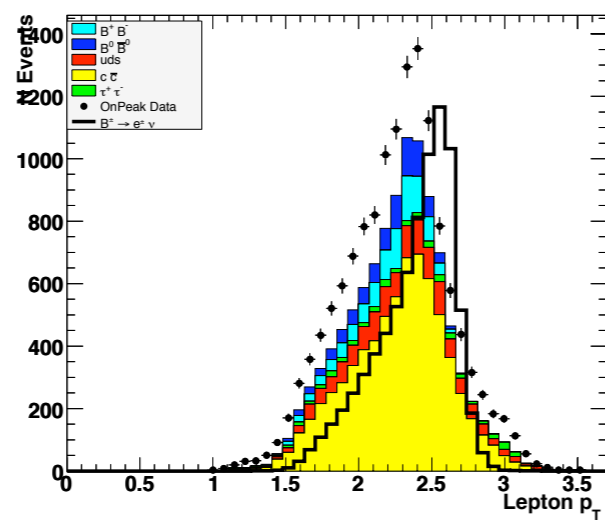
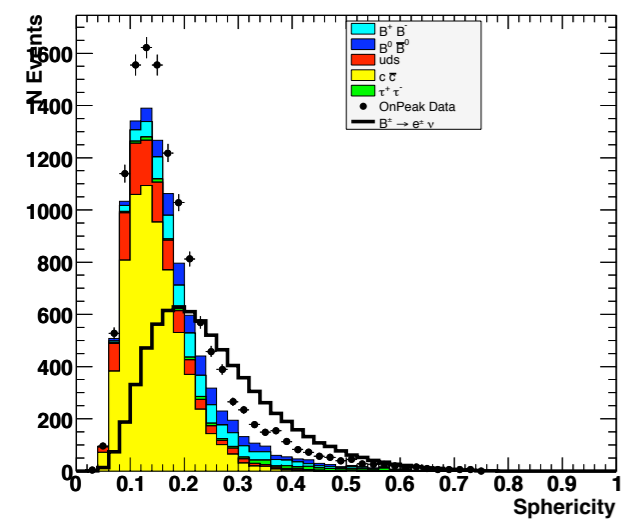


● signal    ■ bpbw    ■ bbbar    ■ tau    ■ ccbar    ■ uds    ● data



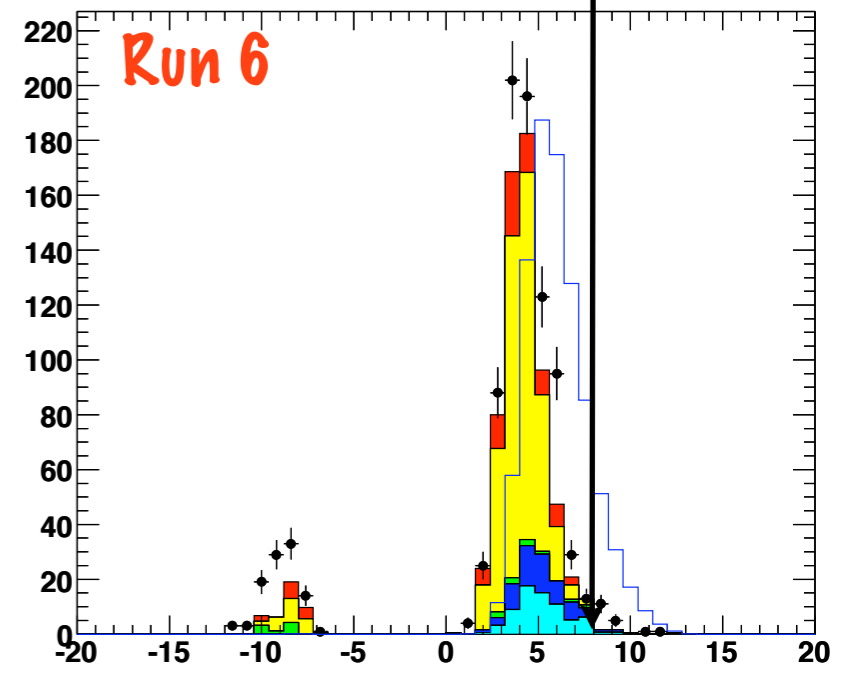
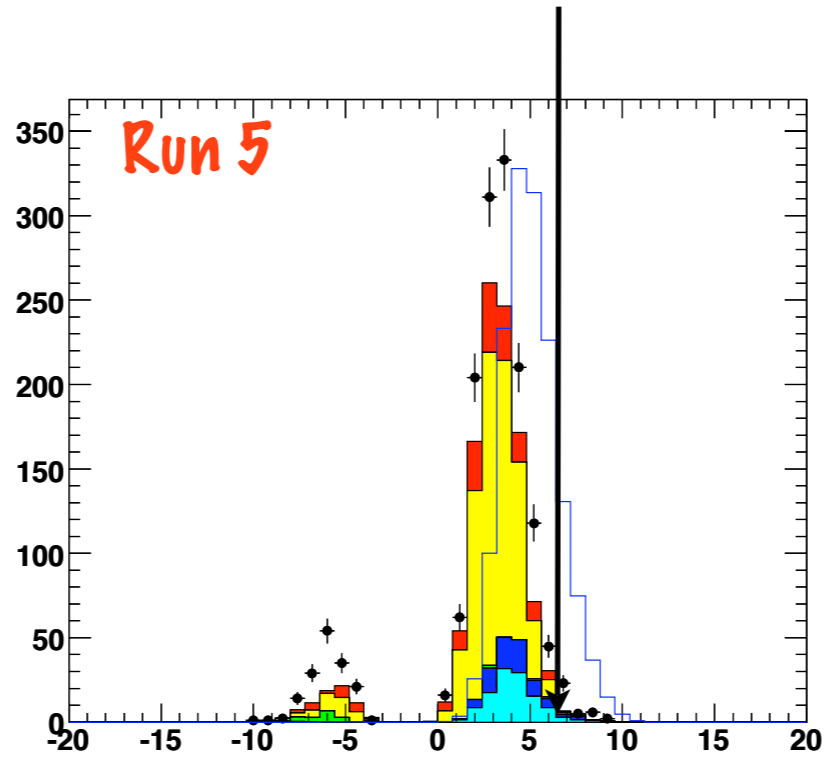
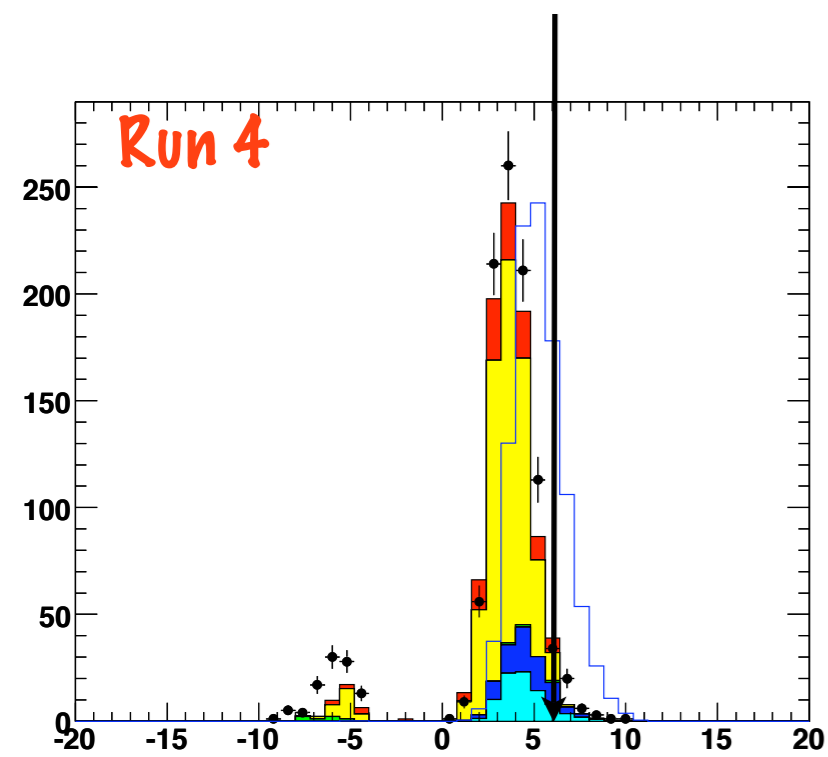
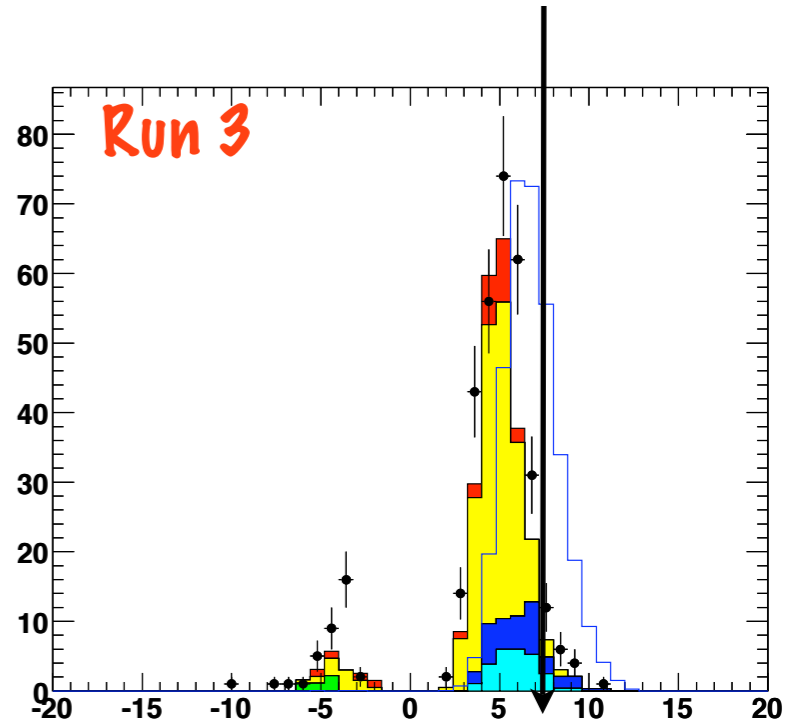
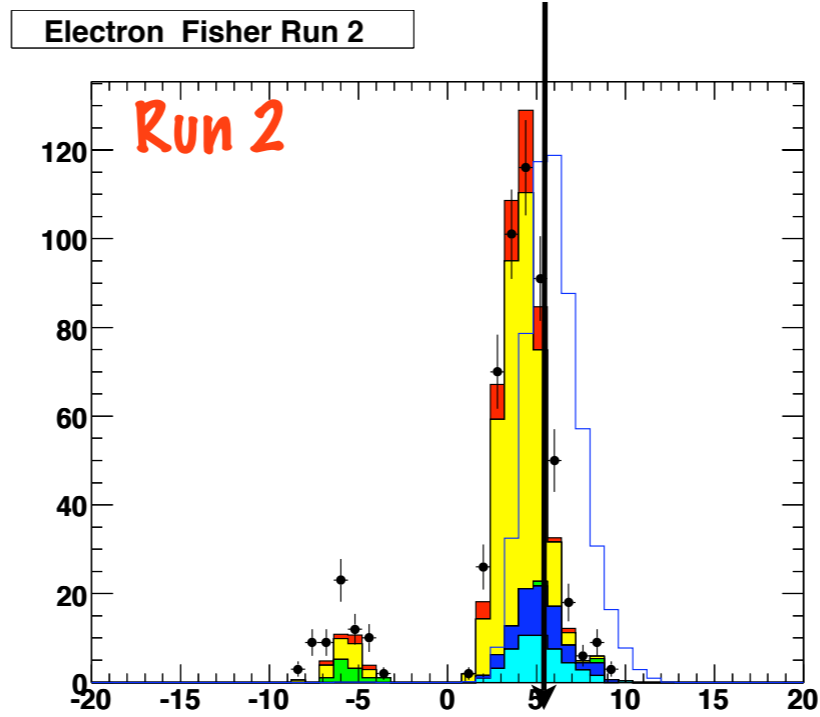
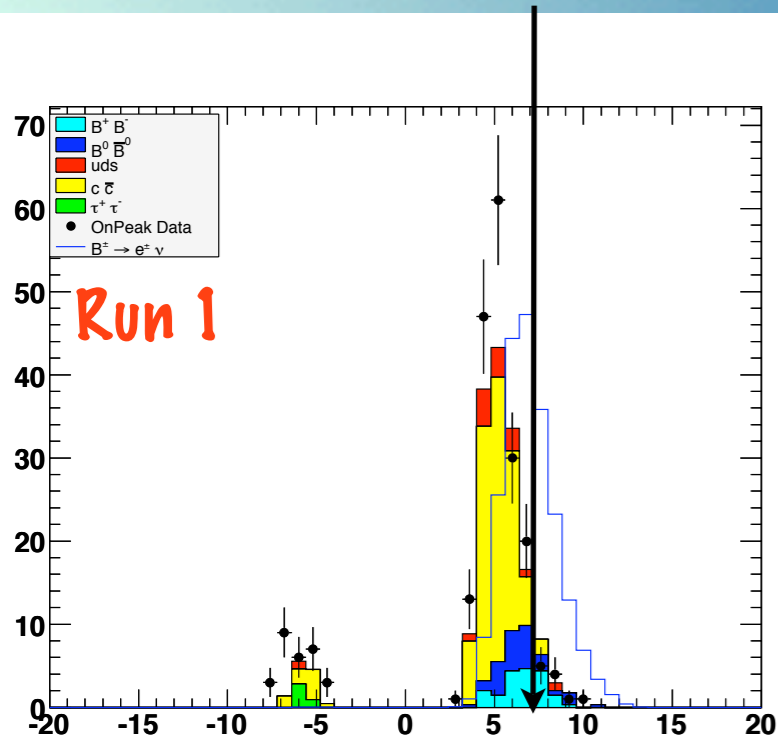


# Variabili del Fisher (e)





# Discriminanti di Fisher (e)



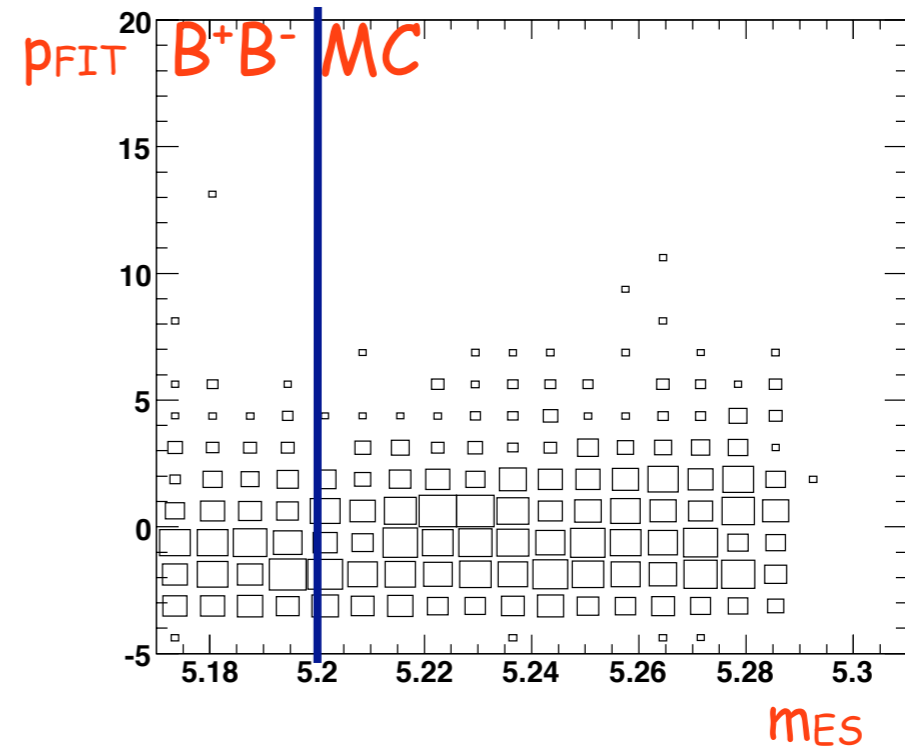
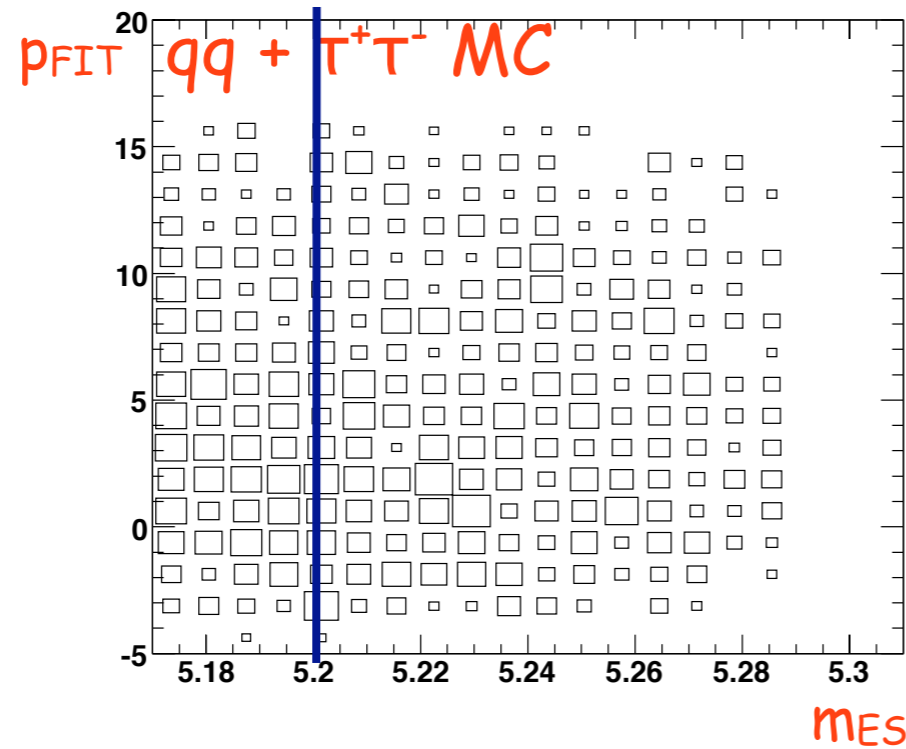
● signal    ■ bpbw    ■ bbbar    ■ tau    ■ ccbar    ■ uds    ● data



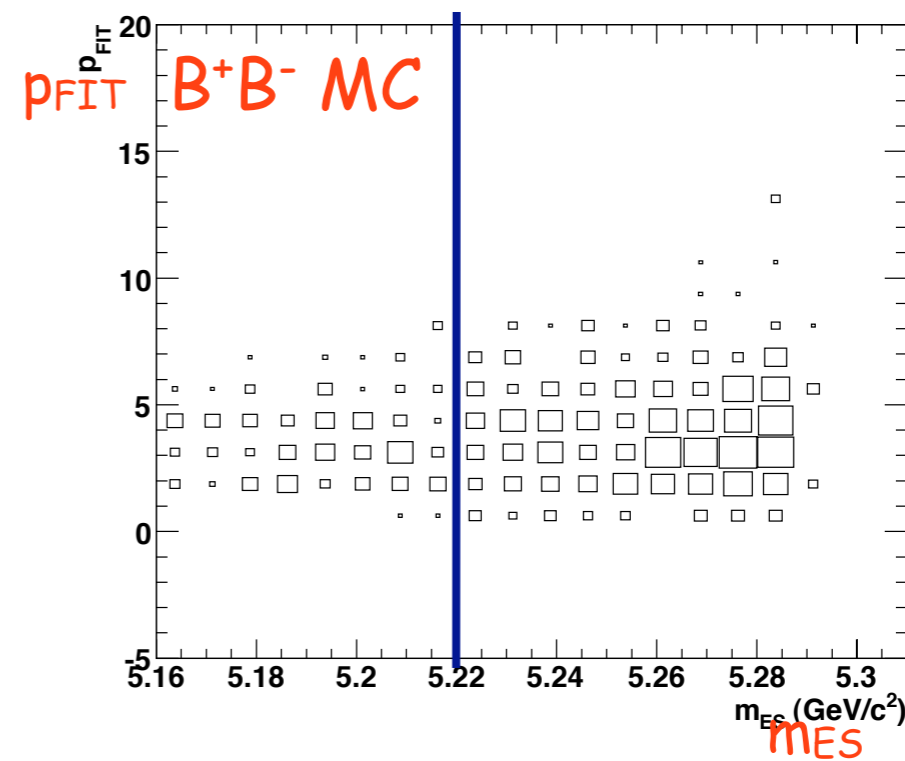
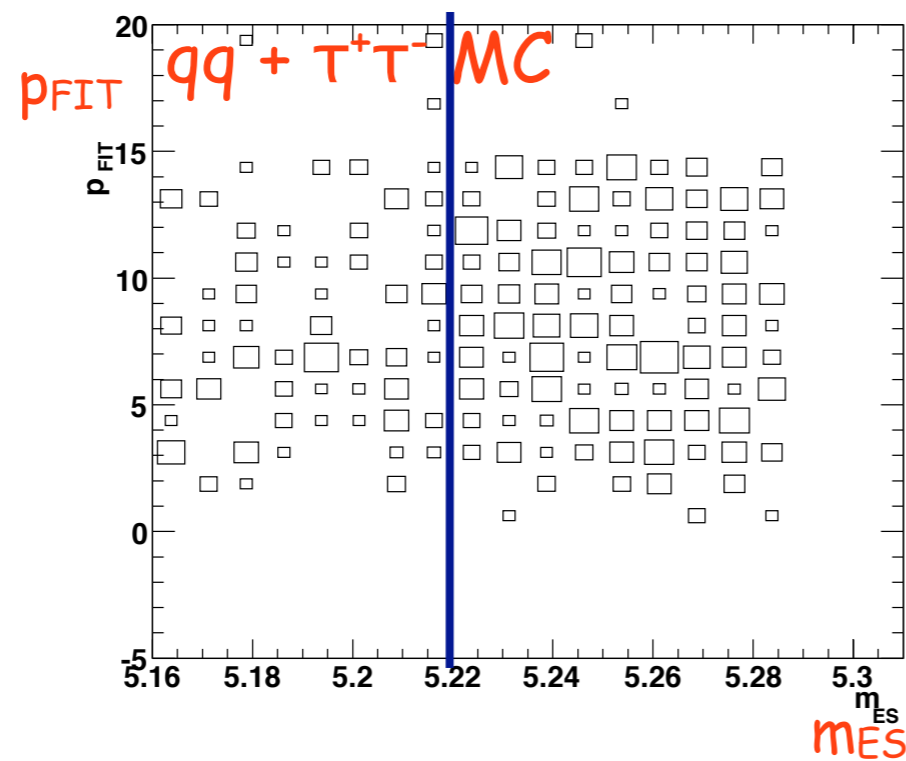
# Popolazione delle sideband



$B \rightarrow \mu \nu$



$B \rightarrow e \nu$





# Signal Efficiency Systematics INFN

tag B selection

Use  $B^{+/-} \rightarrow D^{0(*)} \pi^{+/-}$  control sample

D0ToKPiTightPID

$$1.84 < m_{K\pi} < 1.89 \text{ GeV}/c^2$$

$$1.8 < \hat{p}_{K\pi}^* < 2.7 \text{ GeV}/c$$

pi0SoftDefaultMass GoodPhotonDefault for  $D^*$

TreeFitter and best B from smaller  $\Delta E$

$$|\Delta E| < 0.05 \text{ GeV}$$

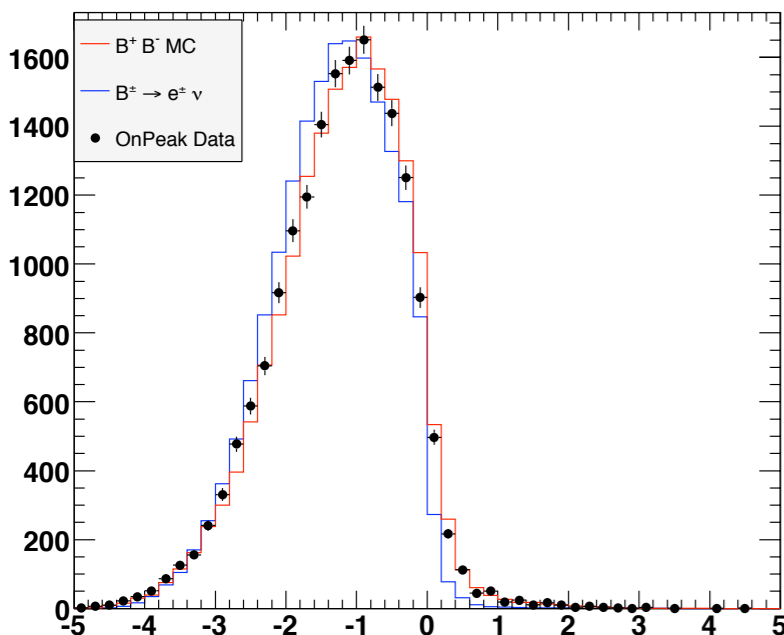
lepton selection

PID

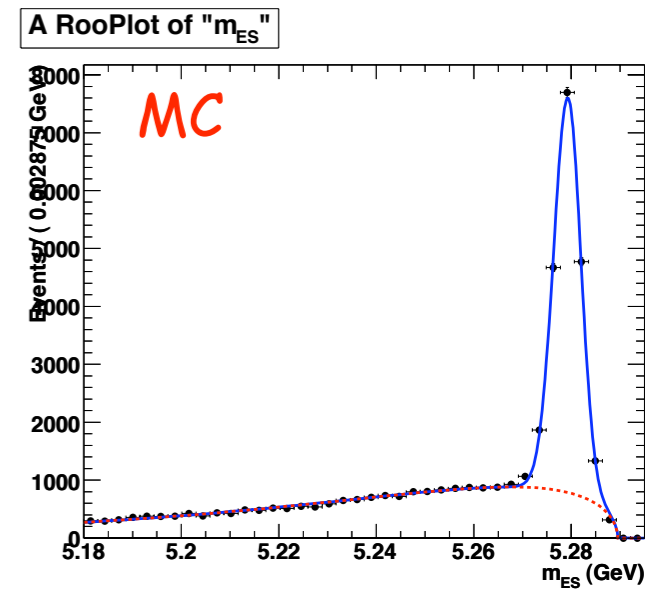
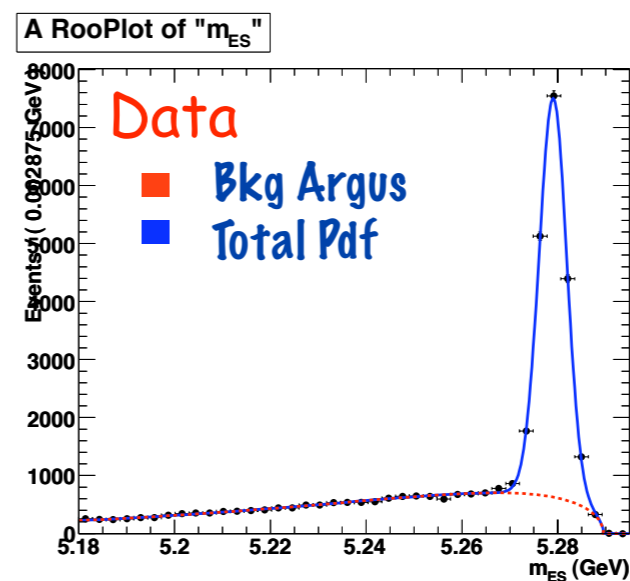
From Babar standard control sample provided by the PID group

Tracking Efficiency

From tau decays in odd number of tracks



Data/MC comparison for the different cuts in control sample using the number of signal events fitted in the  $B \rightarrow D\pi$  signal  $B m_{ES}$





# Sistematiche del Fisher



$B \rightarrow \mu\nu$

$B \rightarrow e\nu$

muBDTTight Fisher Run 4

