

# Ricerca di decadimenti rari a CDF II

$$B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$$

$$B_d^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$$

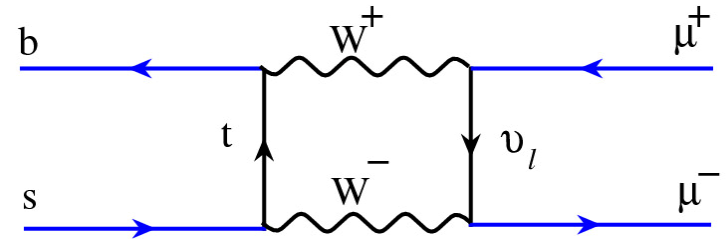


# Motivazioni

- Standard Model: FCNC decays

$$\mathcal{BR}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (3.42 \pm 0.54) \times 10^{-9}$$

$$\mathcal{BR}(B_d^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (1.00 \pm 0.14) \times 10^{-10}$$



$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} = 0.975 & V_{us} = 0.211 & V_{ub} = 0.005 \\ V_{cd} = 0.211 & V_{cs} = 0.974 & V_{cb} = 0.040 \\ V_{td} = 0.005 & V_{ts} = 0.041 & V_{tb} = 0.999 \end{pmatrix}$$

- Sensibilità sperimentale CFD II  $\rightarrow \mathcal{BR}(B_{s,d}^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) \sim \mathcal{O}(10^{-8})$

ma

- Contributi di nuova fisica dovrebbero aumentare significativamente i valori di  $\mathcal{BR}$

# Motivazioni

- Estensioni minimali supersimmetriche dello SM
  - Diagrammi aggiuntivi (particelle SUSY)
- Modelli SO(10)
- Modelli MFV (Minimal Flavour Violating )
  - $B_d^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$  soppresso rispetto a  $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$  causa  $|V_{td}/V_{ts}|^2$
- Modelli non-MFV
  - Incremento in entrambi i decadimenti

→ **Struttura di sapore della nuova fisica**

inoltre  $\mathcal{BR}(B_{s,d}^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-)$  {

- Momento magnetico anomalo del  $\mu$
- Dark matter
- Massa Higgs
- ...

# La misura

$$N_{signal} = \sigma(\cancel{p\bar{p} \rightarrow \bar{b}}) f_{s,d} \mathcal{BR}(B_{s,d}^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) \cancel{\mathcal{L} \epsilon}$$

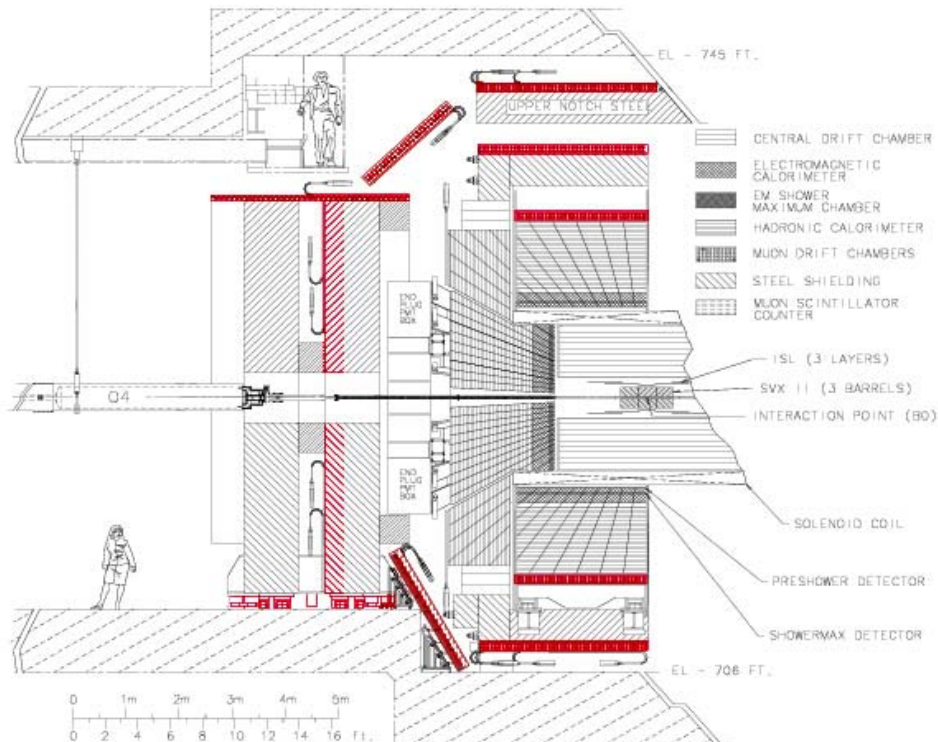
$$N_{ctrl} = \sigma(\cancel{p\bar{p} \rightarrow \bar{b}}) f_u \mathcal{BR}(B^+ \rightarrow J/\psi K^+ \rightarrow \mu^+ \mu^- K^+) \cancel{\mathcal{L} \epsilon'}$$

$$N_{signal} = N_{tot} - N_{bkg}$$

$$N_{ctrl} = N'_{tot} - N'_{bkg}$$

# Apparato sperimentale

## ■ Upgraded Collider Detector @ Fermilab



Detector di tracciamento:

- Rivelatore di vertice in silicio
- Camera a deriva

↓ 1.4 T

Misura dell'impulso trasverso

Ad hoc per i muoni:

- Camere a deriva
- Contatori a scintillazione

# Trigger

## ■ Analisi online

### □ Candidati $\mu$

- Tracce con  $p_T > 2 \text{ GeV}/c$  (per ridurre il fondo combinatorio)
- Ogni candidato deve avere un evento nei tre strati del rivelatore di vertice
- ...

## ■ Analisi c

### □ Richi

(cfr. n

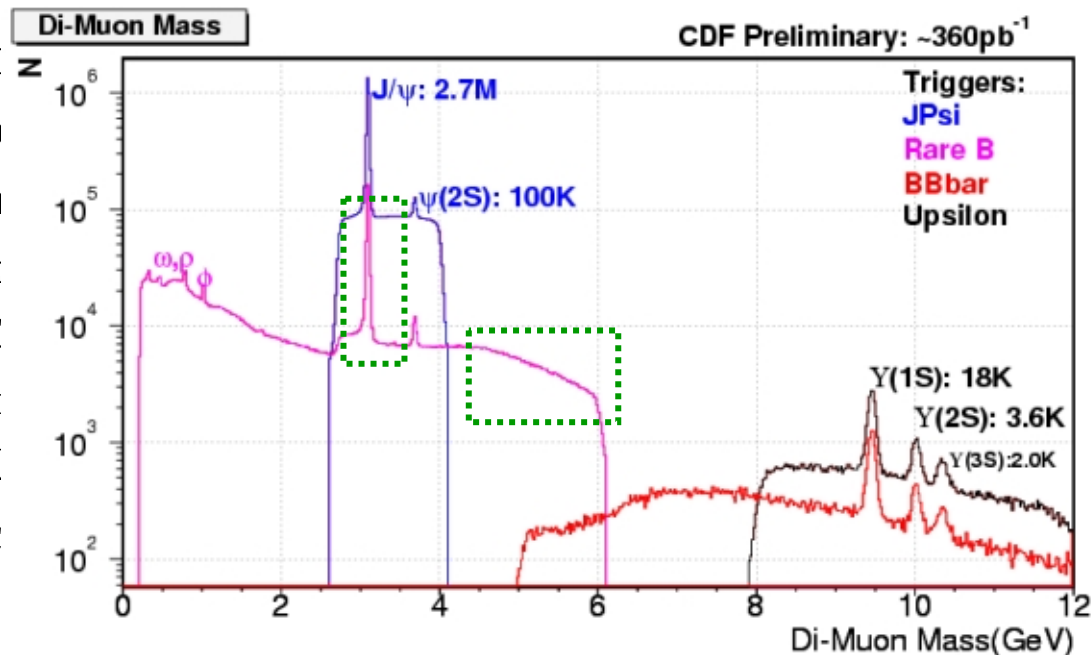
### □ Sopp:

■ C

■ T

■ K

### □ Tracc



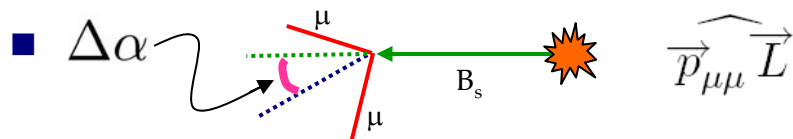
*hoc su dE/dx*

# Variabili discriminanti (sig/bgk)

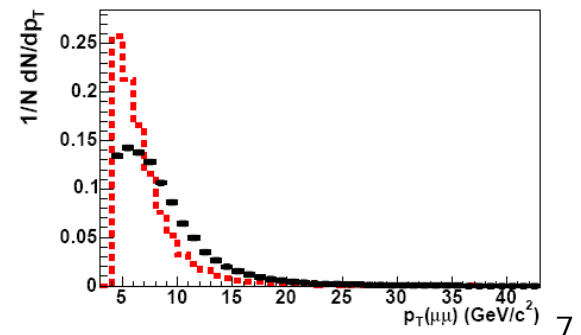
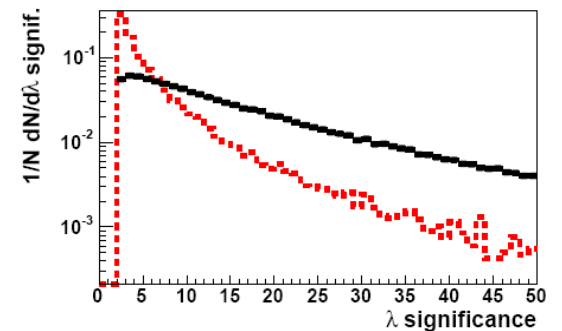
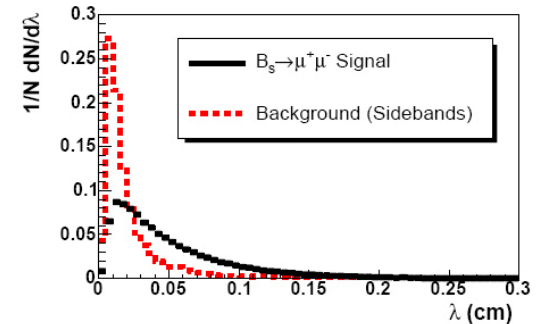
- $m_{\mu\mu}$ : massa invariante delle due tracce
- $\lambda$ : lunghezza di decadimento  

$$\lambda = \beta\gamma c\tau = c L_{3D} m_{\mu\mu} / |\vec{p}(B_s)|$$
- $\mathcal{I}$ : isolamento del candidato  $B_s$  all'interno di un cono di raggio unitario  

$$\mathcal{I} = p_T^{B_s} / (p_T^{B_s} + \sum_i p_T^i (\Delta R < 1.0))$$

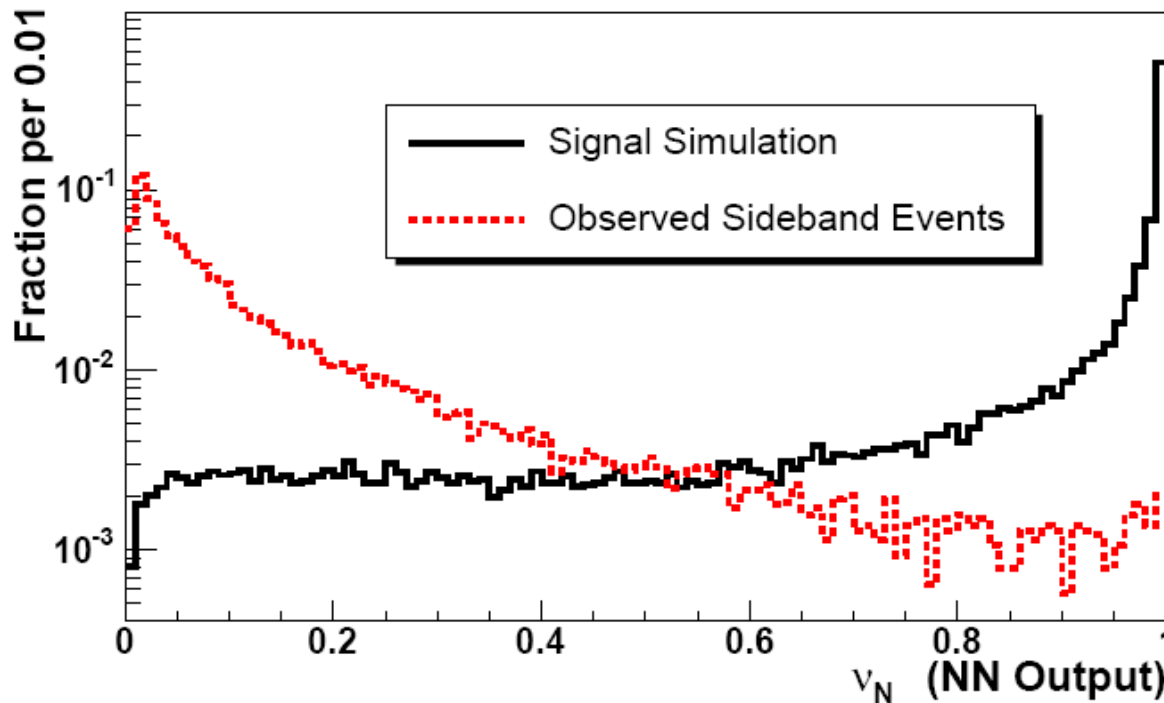


- $\lambda/\sigma_\lambda$ : significatività della lung. di decadimento
- $\vec{p}_T^{\mu\mu}$ : impulso del  $B_s$
- $\vec{p}_T^\mu$ : impulso del  $\mu$  meno energetico



# Esigenza di una rete neurale

- Variabile discriminante per distinguere il segnale dal fondo
  - Tenere conto della correlazione fra le variabili
- Classificatore multivariato:  $\mathbb{R}^N \rightarrow \mathbb{R}$ ;  $\nu_N \in [0, 1]$

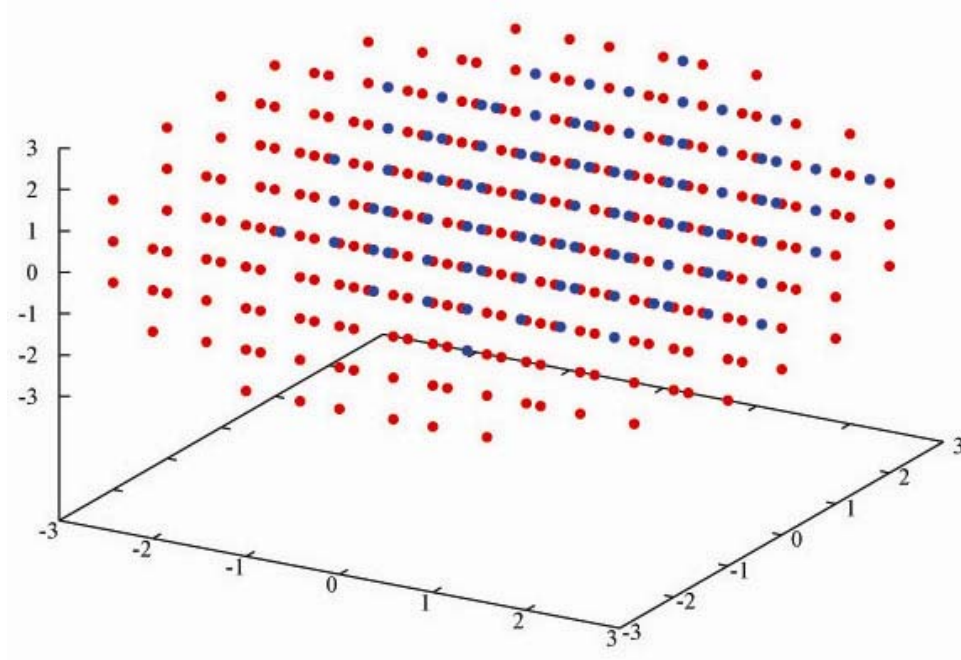




# Intelligenza?!?

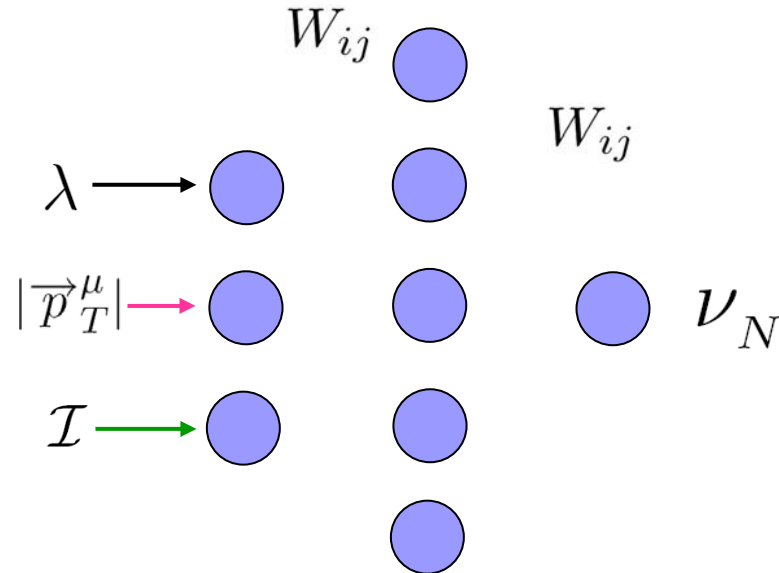
- Una rete neurale sa veramente “capire”?
- Sa rispondere ad una domanda per la quale non le sia stata insegnata la risposta?
- Purtroppo no, ma sa **generalizzare** (interpolare)

$Span \{ \lambda, | \vec{p}_T^\mu |, \mathcal{I} \}$

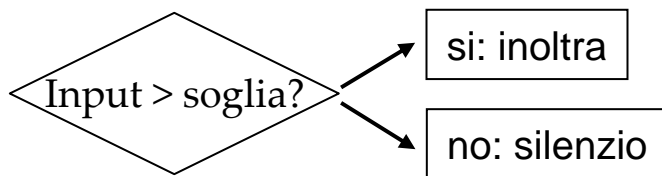


● training  
● domanda

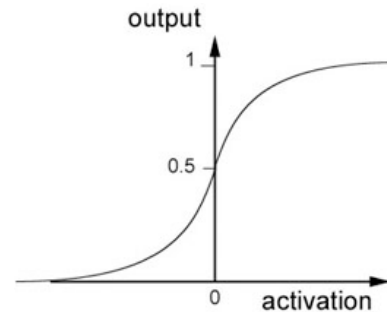
# Feed Forward NN



- Come fa un neurone a decidere se far passare l'informazione allo strato successivo e in che modo rispondere allo stimolo?



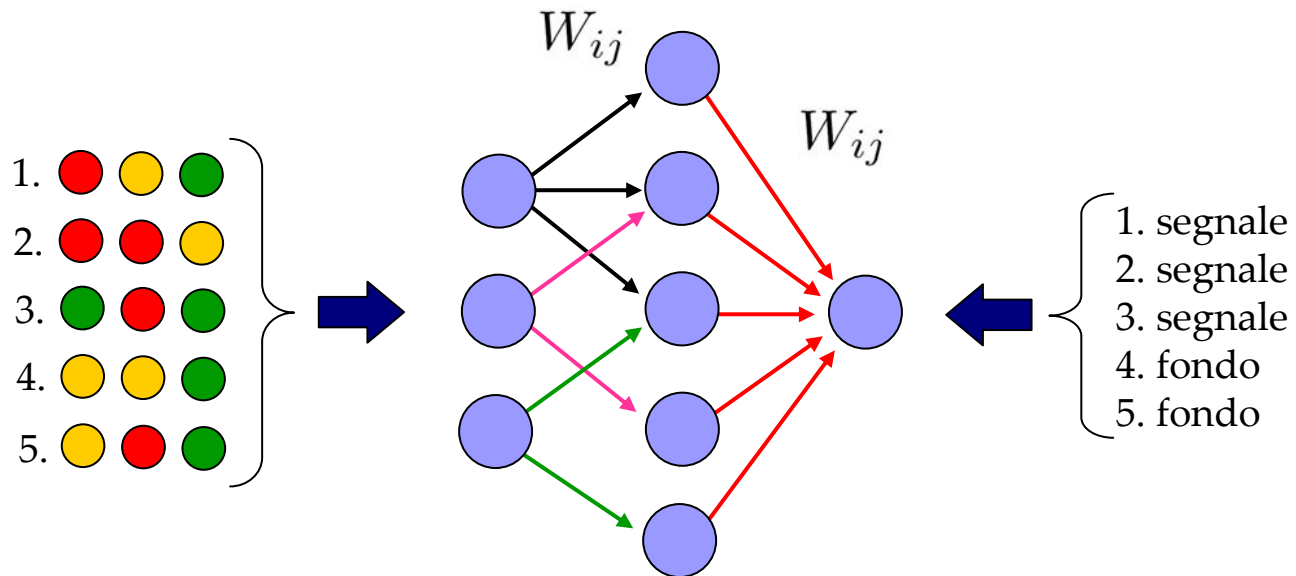
VS



non-linearità  
 ⇕  
 correlazioni  
 fra le variabili

# Training: teoria

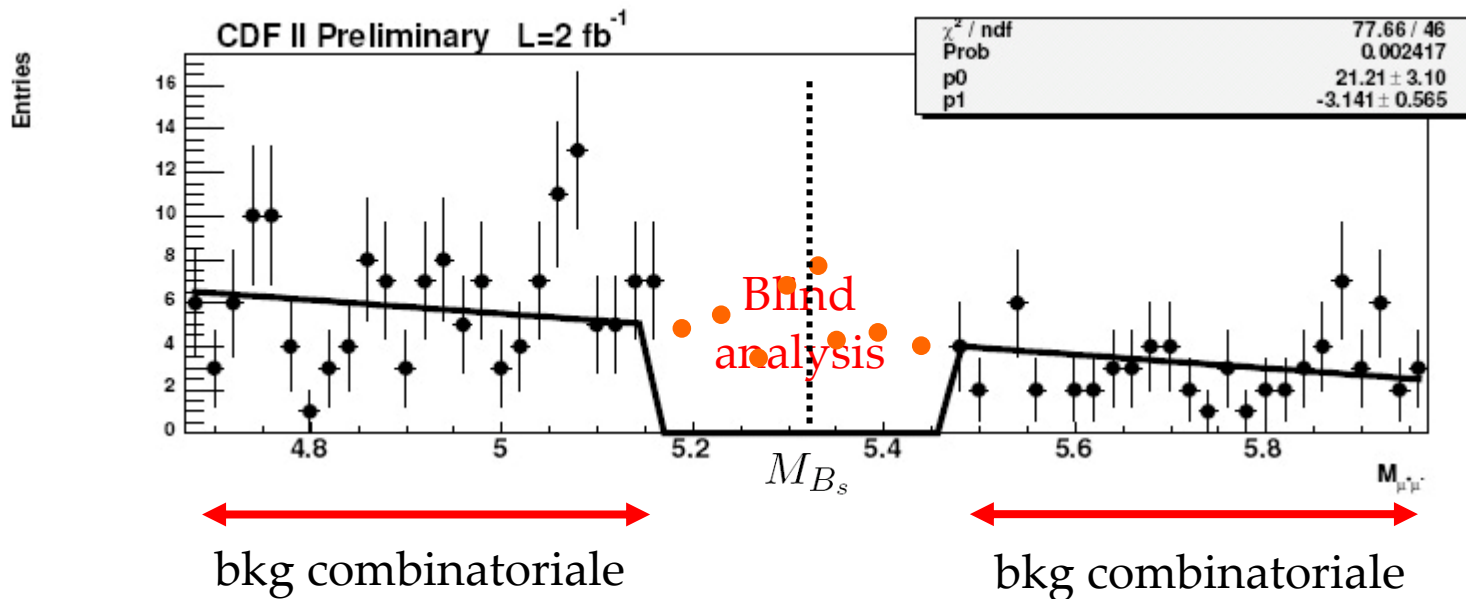
- Ottimizzare  $W_{ij}$  per discriminare tra segnale e rumore
- Algoritmo di back-propagation



Obiettivo: minimizzare lo scarto fra la risposta fornita e quella giusta

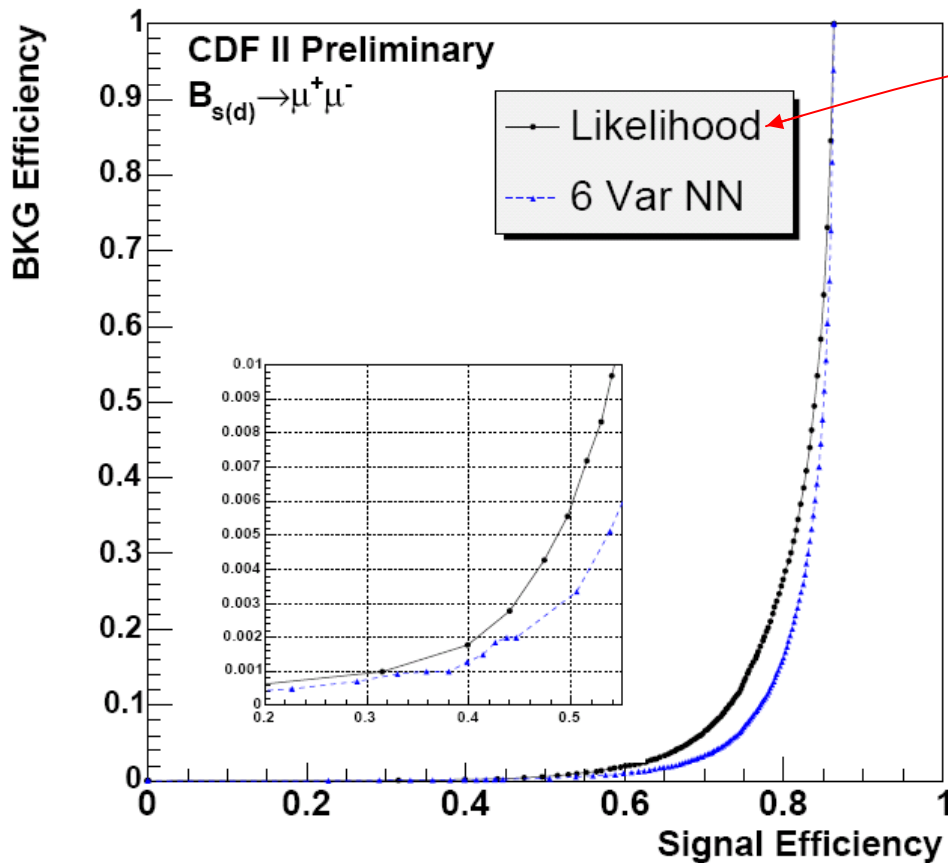
# Training: implementazione

- Segnale: ovviamente da simulazione MC
- Fondo: dati provenienti dalle regioni *sideband*
  - Eventi ordinati per massa invariante



- Hp: il fondo delle *sideband* è rappresentativo della regione *blind*

# Discriminatori a confronto



Non tiene conto delle correlazioni

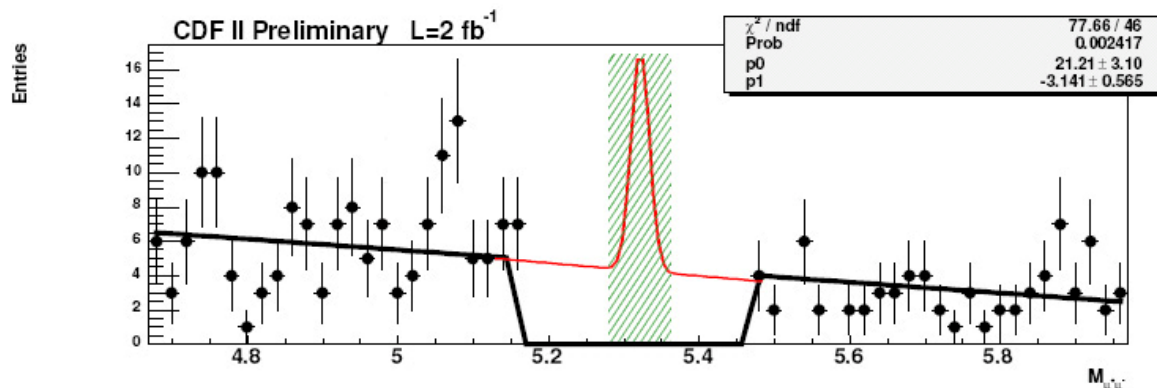
Ora abbiamo un buon metodo per discriminare fra segnale e fondo combinatoriale

# Background addizionale

- Per ora abbiamo considerato fondo che e' descritto dalle sidebands

- $B \rightarrow h^+ h^-$

- $h^\pm = K^\pm, \pi^\pm$
- $M_{hh} \sim M_{B_s}$
- ingannano il trigger  
(e tutto il resto)



- Bisogna stimare il numero di queste *fake*

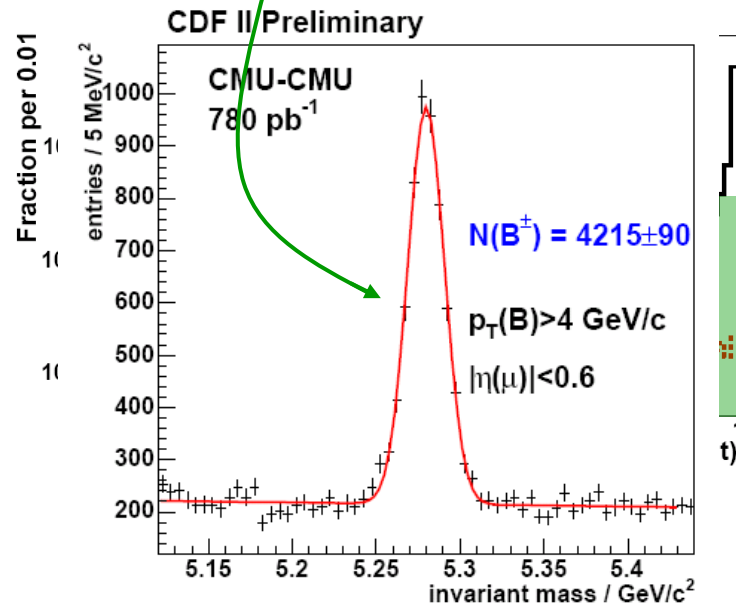
- Decadimento con BR noto:  $D^0 \rightarrow \pi K$
- Si contano le fake generate da K e  $\pi$ , ossia le volte che queste due particelle simulano un  $\mu$  nelle camere dopo aver bucato i calorimetri

- Il numero di eventi ottenuto va normalizzato per poi essere sottratto al numero totale di eventi

# Branching ratio

- Approccio #1: contare “brutalmente”
  - Discriminare segnale/rumore = introdurre un unico taglio in  $\nu_N =$  contare il numero di eventi relativi al decadimento cercato
  - Normalizzare ad un decadimento con un  $\mathcal{BR}$  noto:  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$

$$\mathcal{BR}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) = \frac{N_s \alpha_+ \epsilon_+}{N_+ \alpha_s \epsilon_s} \frac{1}{\epsilon_N} \frac{f_u}{f_s} \mathcal{BR}(B^+ \rightarrow J/\psi K^+)$$



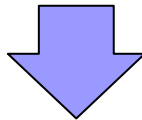
Particle Data Group

# Branching ratio

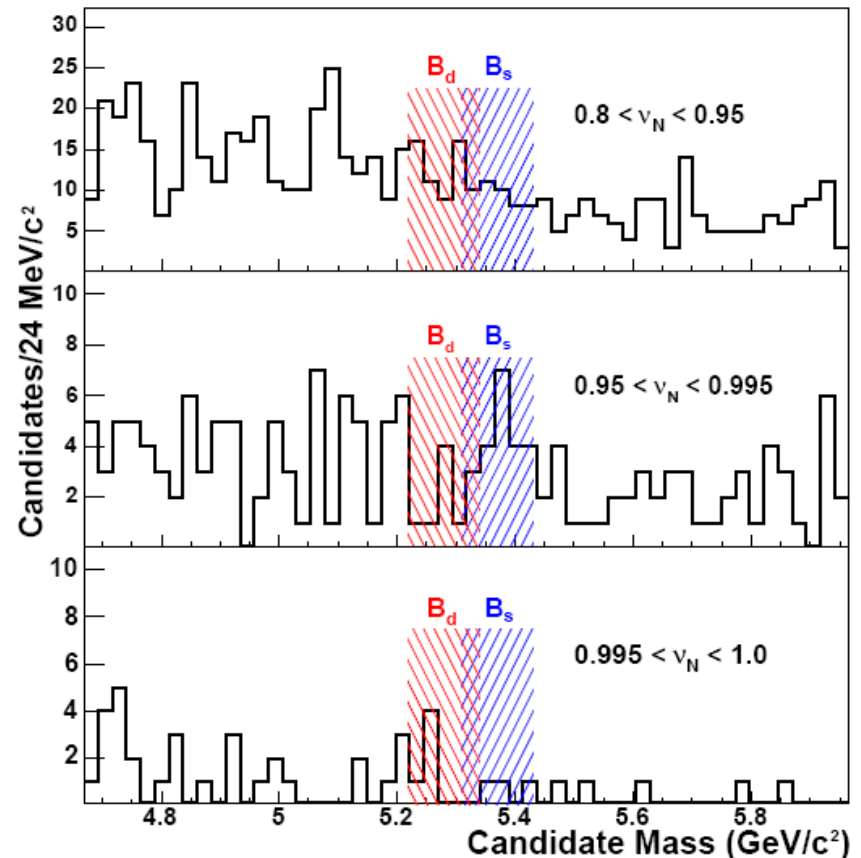
## ■ Approccio #2: divisione in bin

### Ottimizzazione a priori:

- Tagli multipli su  $v_N$
- Divisione in bin di  $v_N$
- Raggruppamento in bin di masse invarianti contigue
- Per ogni bin vengono ricalcolate le efficienze e i rispettivi fondi

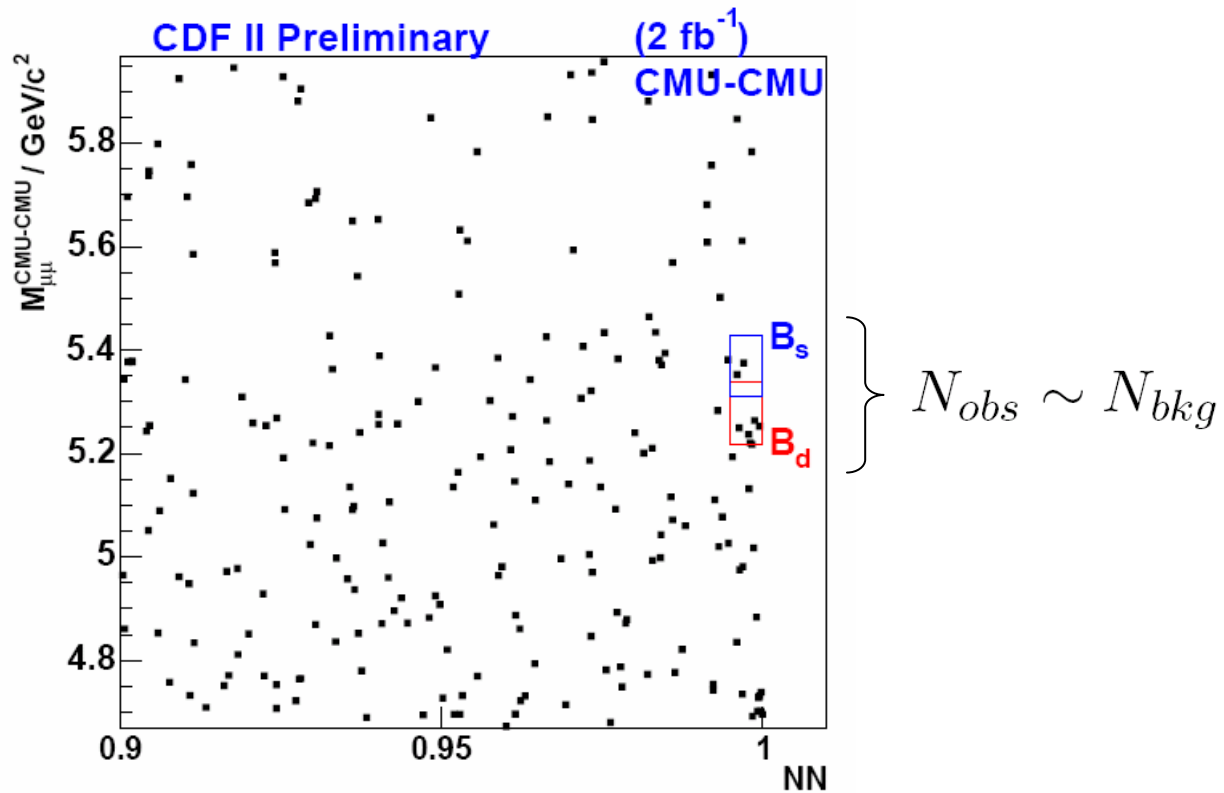


Incremento sensibilità del 15%





# Risultati



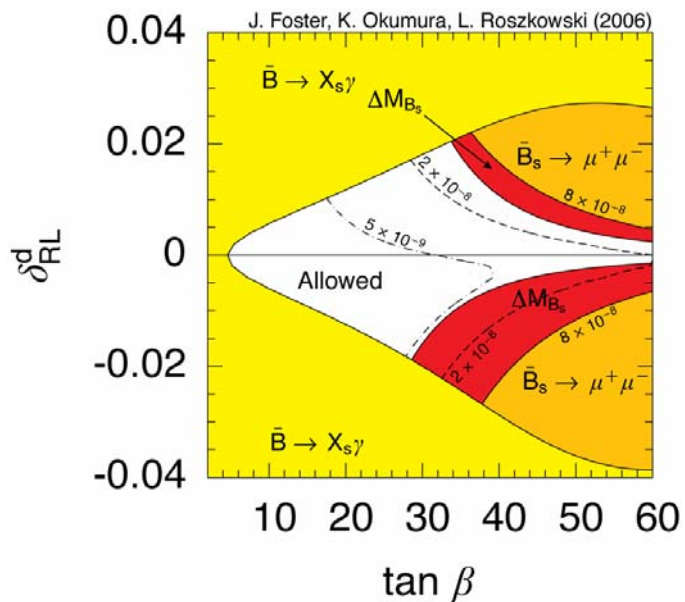
$$\mathcal{BR}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) < 5.8 \times 10^{-8}$$

$$\mathcal{BR}(B_d^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) < 1.8 \times 10^{-8}$$

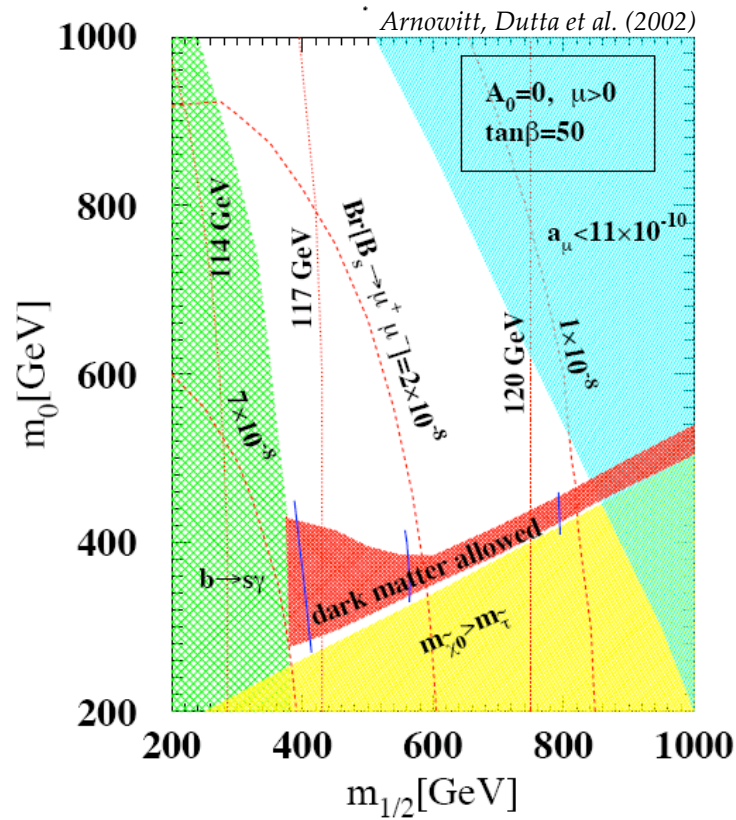
Consistenza con il  
Modello Standard

# Risultati oltre lo SM

Minimal Flavour Violation

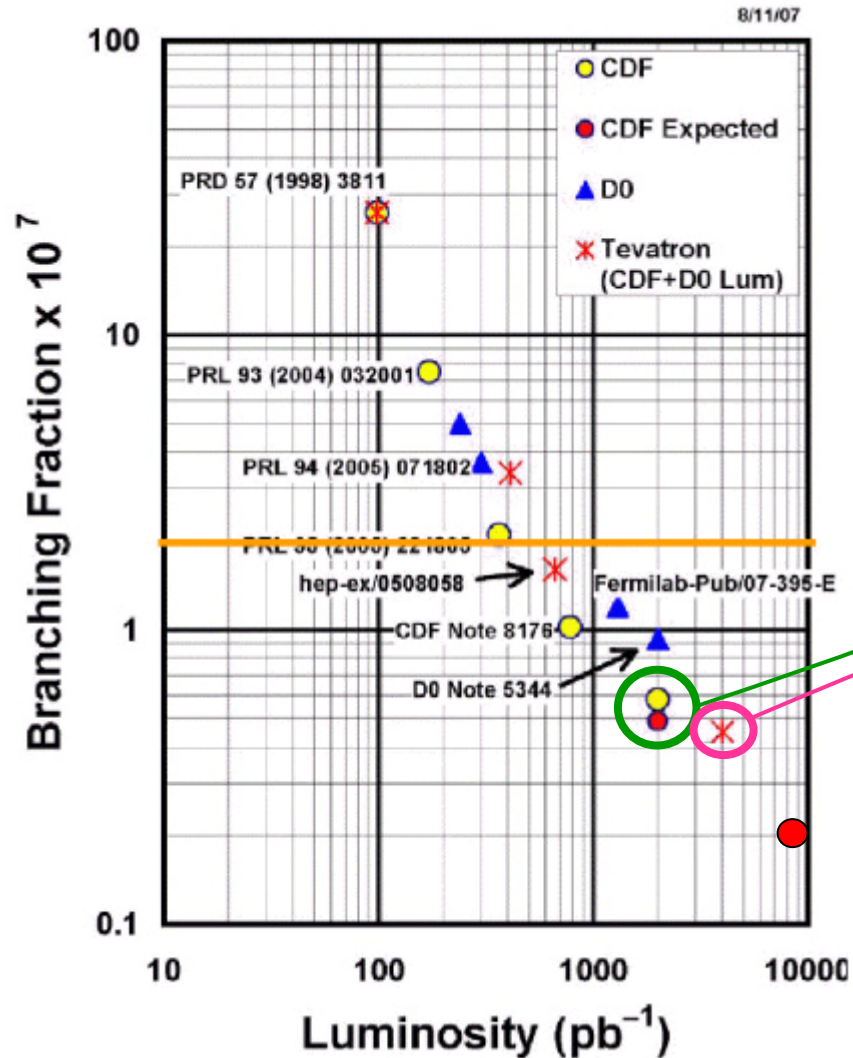


mSUGRA @ $\tan\beta=50$



Lo spazio delle fasi a disposizione delle nuove teorie si stringe sempre di più...

# Prospettive



Risultati presentati:  
 $\text{BR} \sim 5 \times 10^{-8}$

Analisi combinata:  
 $4 \text{ fb}^{-1}$

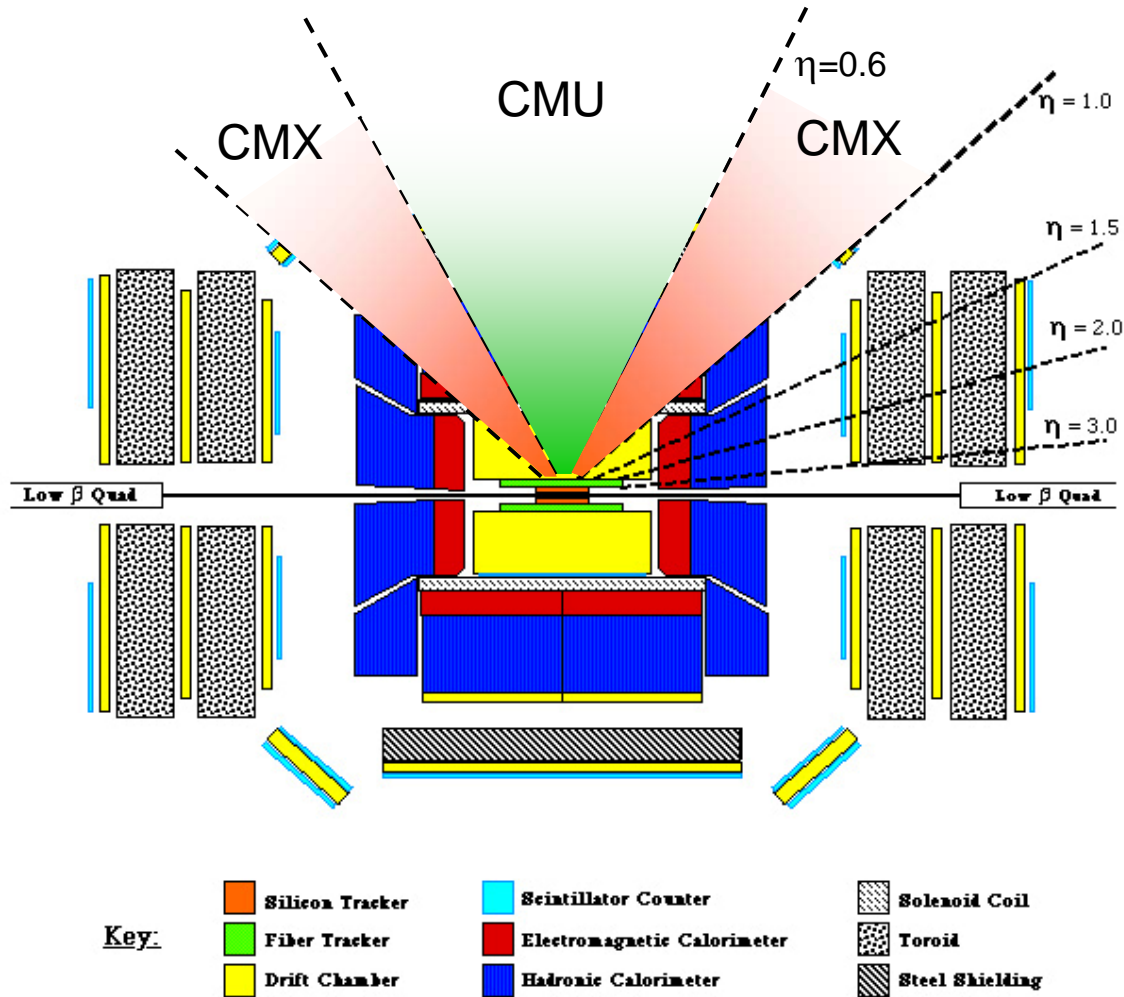
# Bibliografia

- 1) CDF Collaboration,  
Search for  $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$  and  $B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$  Decays with  $2 \text{ fb}^{-1}$  of  $p\bar{p}$  Collisions  
arXiv: 0712.1708v2 (2008)
- 2) CDF Collaboration, CDF Public Note 8176
- 3) CDF Collaboration, CDF Public Note 8956
- 4) D. Glenzinski *et al.*, CDF Report 8925 (2007)
- 5) <http://www-cdf.fnal.gov/physics/new/bottom/060316.blessed-bsmumu3/>
- 6) <http://pdg.lbl.gov/>
- 7) C. Dionisi, Dispense del corso di FNSN II (2005)

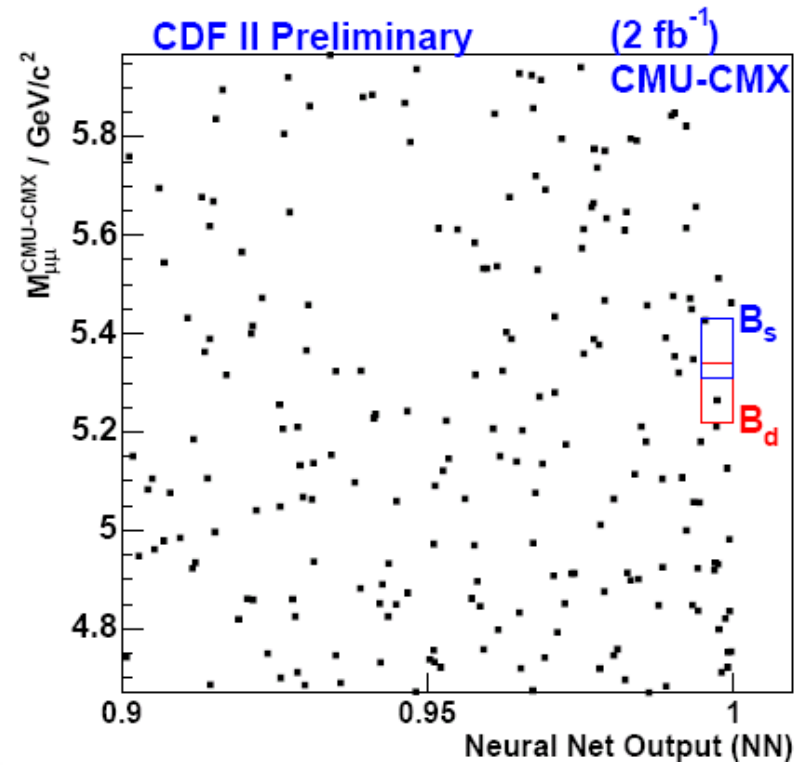
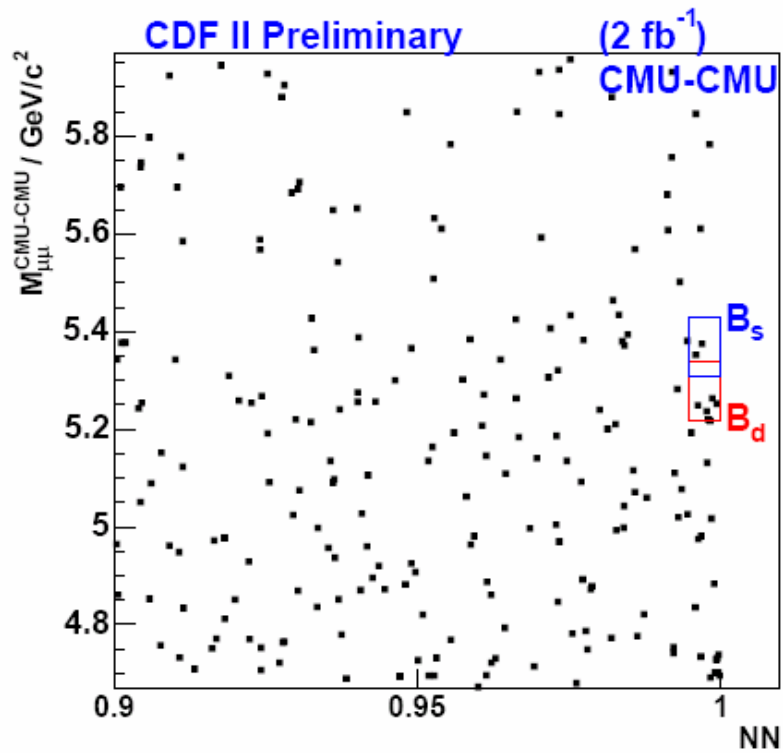


# Backup slides

# CMU vs CMX



# CMU vs CMX

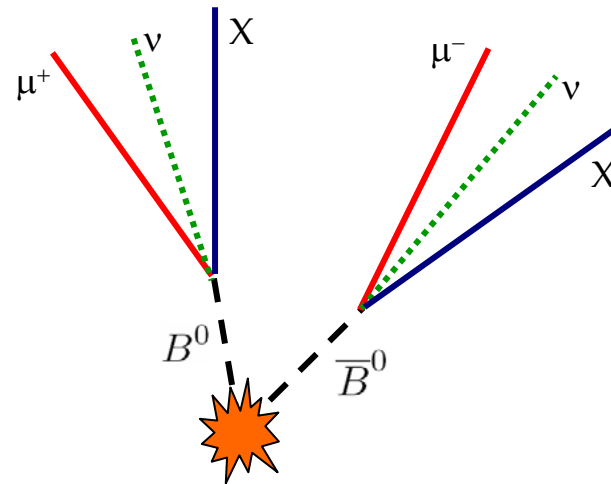


# Variabili discriminanti

- Controesempio # 1: discriminazione semileptonici

- $\mathcal{I}: B^0 \rightarrow \mu^+ \nu X$

- $\bar{B}^0 \rightarrow \mu^- \bar{\nu} X$

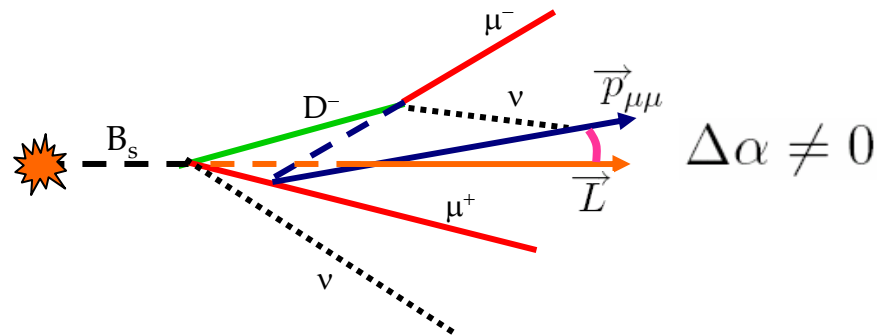




# Variabili discriminanti

- Controesempio # 2: due corpi *vs* più corpi

- $\Delta\alpha: B_s^0 \rightarrow D_s^- \mu^+ \nu_\mu \rightarrow (\mu^- \bar{\nu}_\mu) \mu^+ \nu_\mu$



# Variabili discriminanti

- Controesempio # 3: discriminazione B-altro

- $\lambda$ :  $\lambda = \beta\gamma c\tau = c L_{3D} m_{\mu\mu} / |\vec{p}(B_s)|$

$$\lambda(D) \sim \mathcal{O}(150 \div 300 \mu m)$$

$$\lambda(B) \sim \mathcal{O}(0.5 \div 1.0 mm)$$

- Controesempio # 4

- $\vec{p}_T^{\mu\mu}$ : Heavy quark da light quark: diversa distribuzione