18 ottobre 2007

Studio e sviluppo di algoritmi per la selezione del canale $H \rightarrow b\bar{b}$ a CDF II

Stefano Camarda

Relatore:
Dr. Donatella Lucchesi

Co-Relatore:
Dr. Silvia Amerio

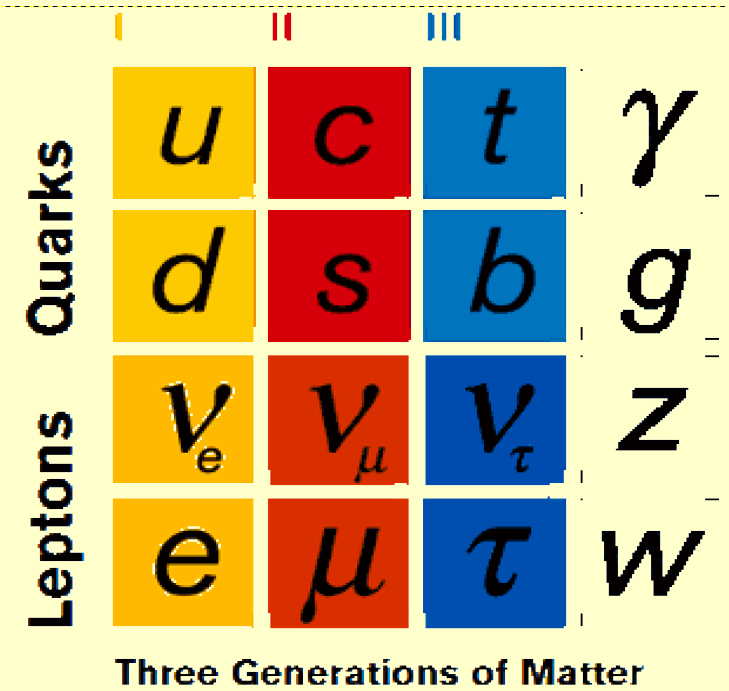
Il Bosone di Higgs nel Modello Standard

Simmetria di gauge elettrodebole

$$SU(2)_L \otimes U(1)_Y$$

Simmetria di gauge forte

$$SU(3)$$ di colore



Non e` possibile inserire i termini di massa senza violare la simmetria di gauge

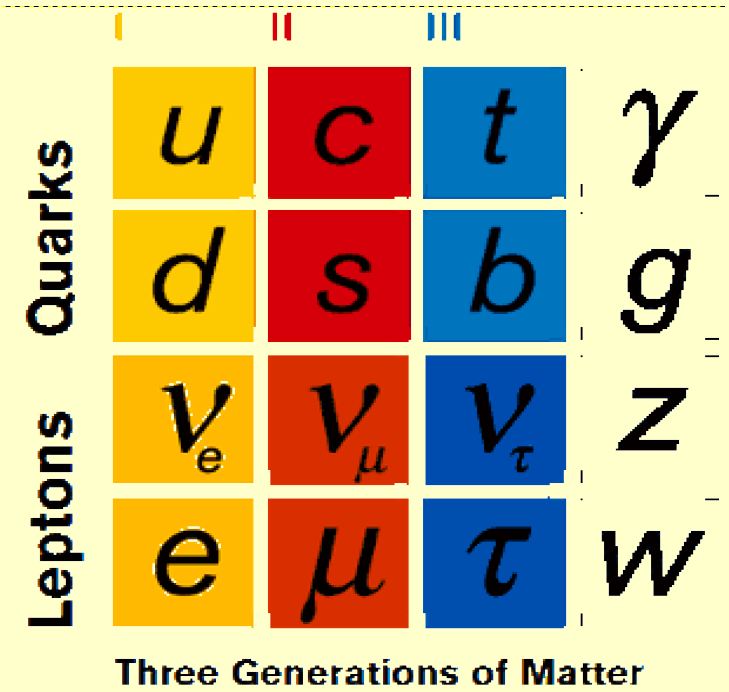
Il Bosone di Higgs nel Modello Standard

Simmetria di gauge elettrodebole

$$SU(2)_L \otimes U(1)_Y$$

Simmetria di gauge forte

$$SU(3)$$ di colore

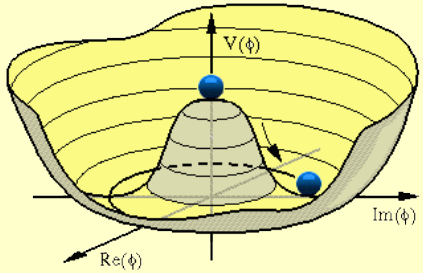


Non e` possibile inserire i termini di massa senza violare la simmetria di gauge

Campo scalare φ
Bosone di Higgs

Rottura spontanea di simmetria:

- potenziale a fondo di bottiglia
- valore di aspettazione nel vuoto



H

Termini di massa

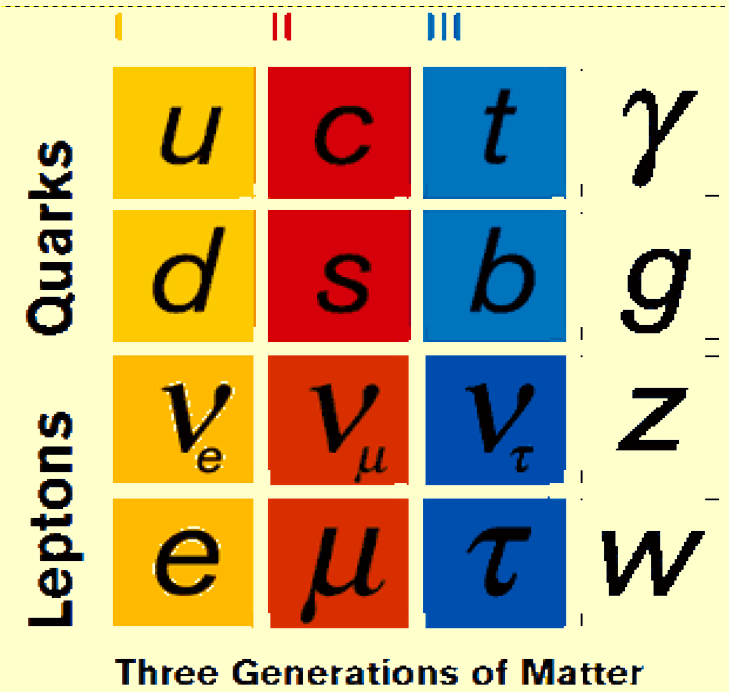
Il Bosone di Higgs nel Modello Standard

Simmetria di gauge elettrodebole

$$SU(2)_L \otimes U(1)_Y$$

Simmetria di gauge forte

$$SU(3)$$ di colore

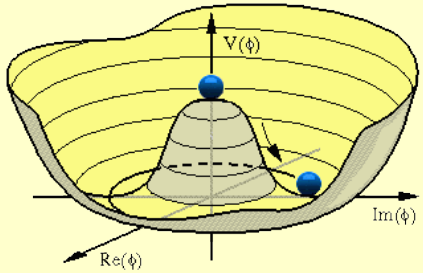


Termini di massa

Non e` possibile inserire i termini di massa senza violare la simmetria di gauge

Campo scalare φ
Bosone di Higgs

Rottura spontanea di simmetria:
- potenziale a fondo di bottiglia
- valore di aspettazione nel vuoto



H

- Particella scalare (spin 0)
- Interpretazione della massa
- Non ancora osservata

Limiti di massa del bosone di Higgs

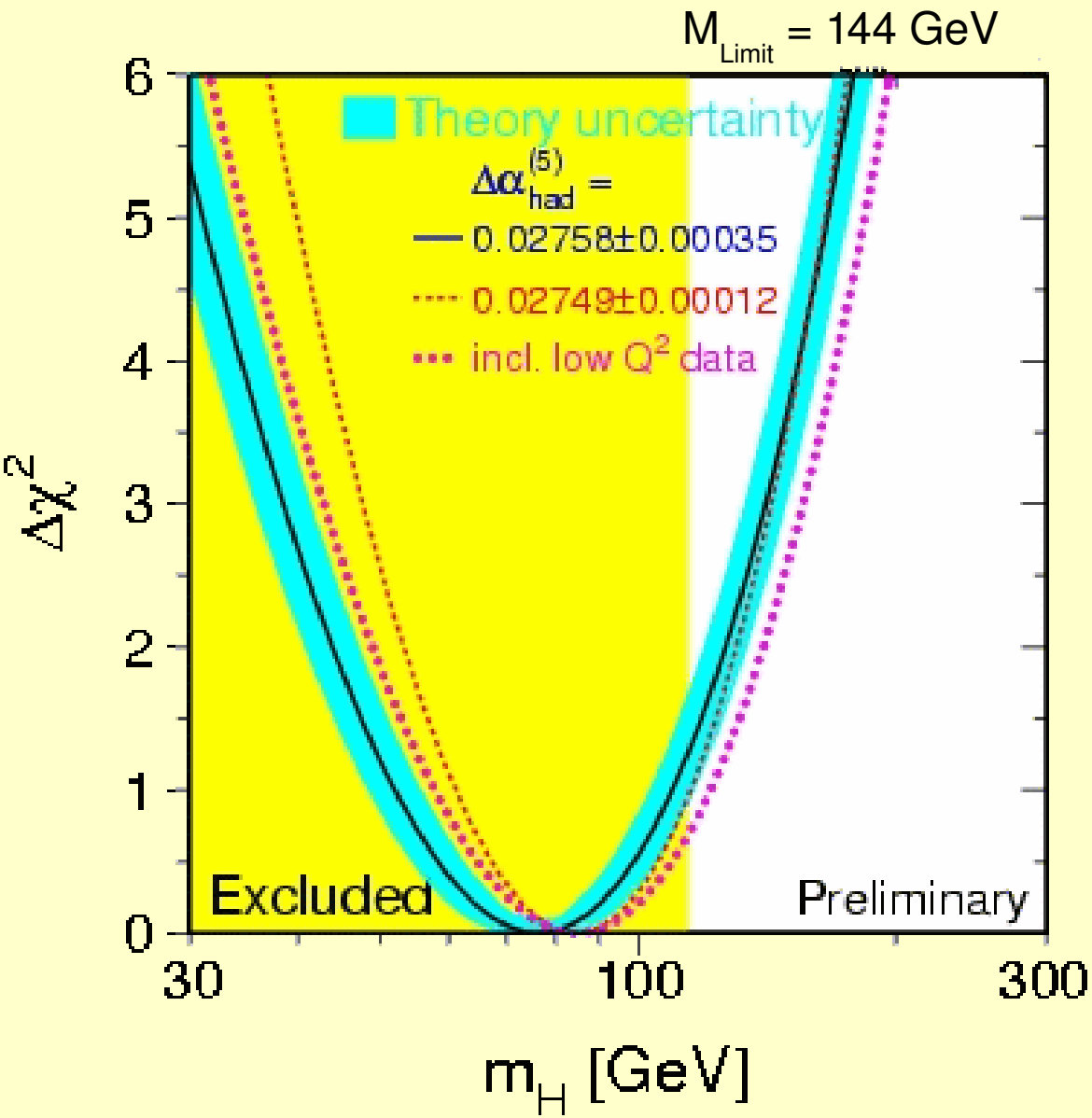
- Limiti di coerenza della teoria
- Ricerca diretta al collider e^+e^- LEP
  $M_H > 114.4$ GeV/c^2 95% CL
- Fit globale dei parametri del Modello Standard
  $M_H = 76^{+33}_{-24}$ GeV/c^2
  $M_H < 144$ GeV/c^2 95% CL

Limiti di massa del bosone di Higgs

- Limiti di coerenza della teoria
- Ricerca diretta al collider e^+e^- LEP
  $M_H > 114.4$ GeV/c^2 95% CL
- Fit globale dei parametri del Modello Standard
  $M_H = 76^{+33}_{-24}$ GeV/c^2
  $M_H < 144$ GeV/c^2 95% CL

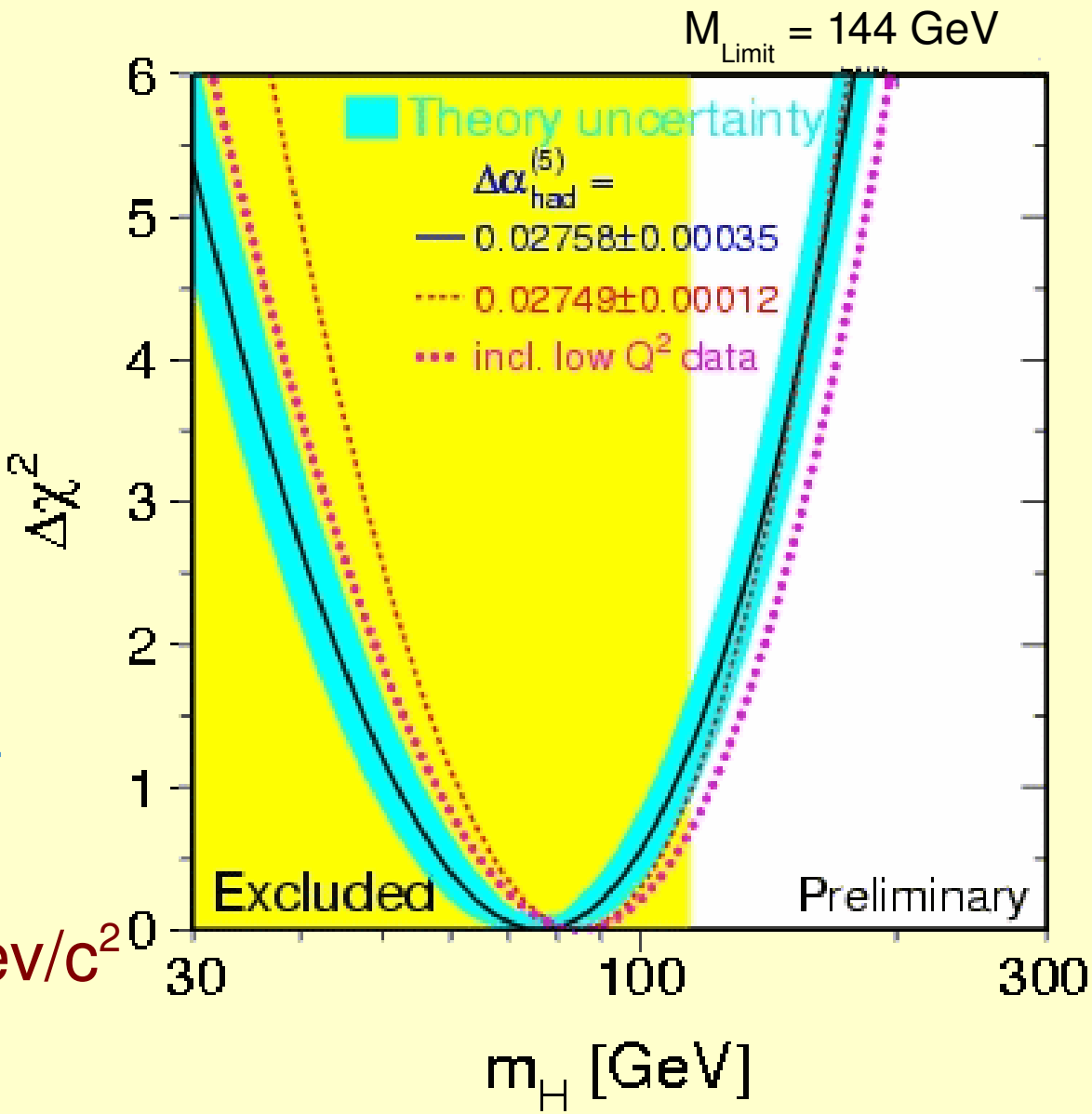
Limiti di massa del bosone di Higgs

- Limiti di coerenza della teoria
- Ricerca diretta al collider e^+e^- LEP
  $M_H > 114.4$ GeV/c^2 95% CL
- Fit globale dei parametri del Modello Standard
  $M_H = 76^{+33}_{-24}$ GeV/c^2
  $M_H < 144$ GeV/c^2 95% CL



Limiti di massa del bosone di Higgs

- Limiti di coerenza della teoria
- Ricerca diretta al collider e^+e^- LEP
  $M_H > 114.4$ GeV/c^2 95% CL
- Fit globale dei parametri del Modello Standard
  $M_H = 76^{+33}_{-24}$ GeV/c^2
  $M_H < 144$ GeV/c^2 95% CL



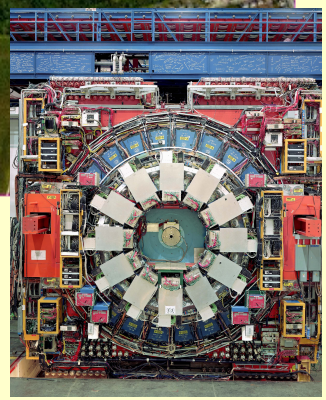
$114.4 < M_H < 182$ Gev/c^2

95% CL

Collider $p\bar{p}$ Tevatron e Rivelatore CDF II

Circonferenza 6.3 Km

- Energia nel centro di massa: 1.96 TeV
- Luminosità massima: 3.2×10^{32} cm^{-2} s^{-1}
- Intervallo di collisione: 396 ns

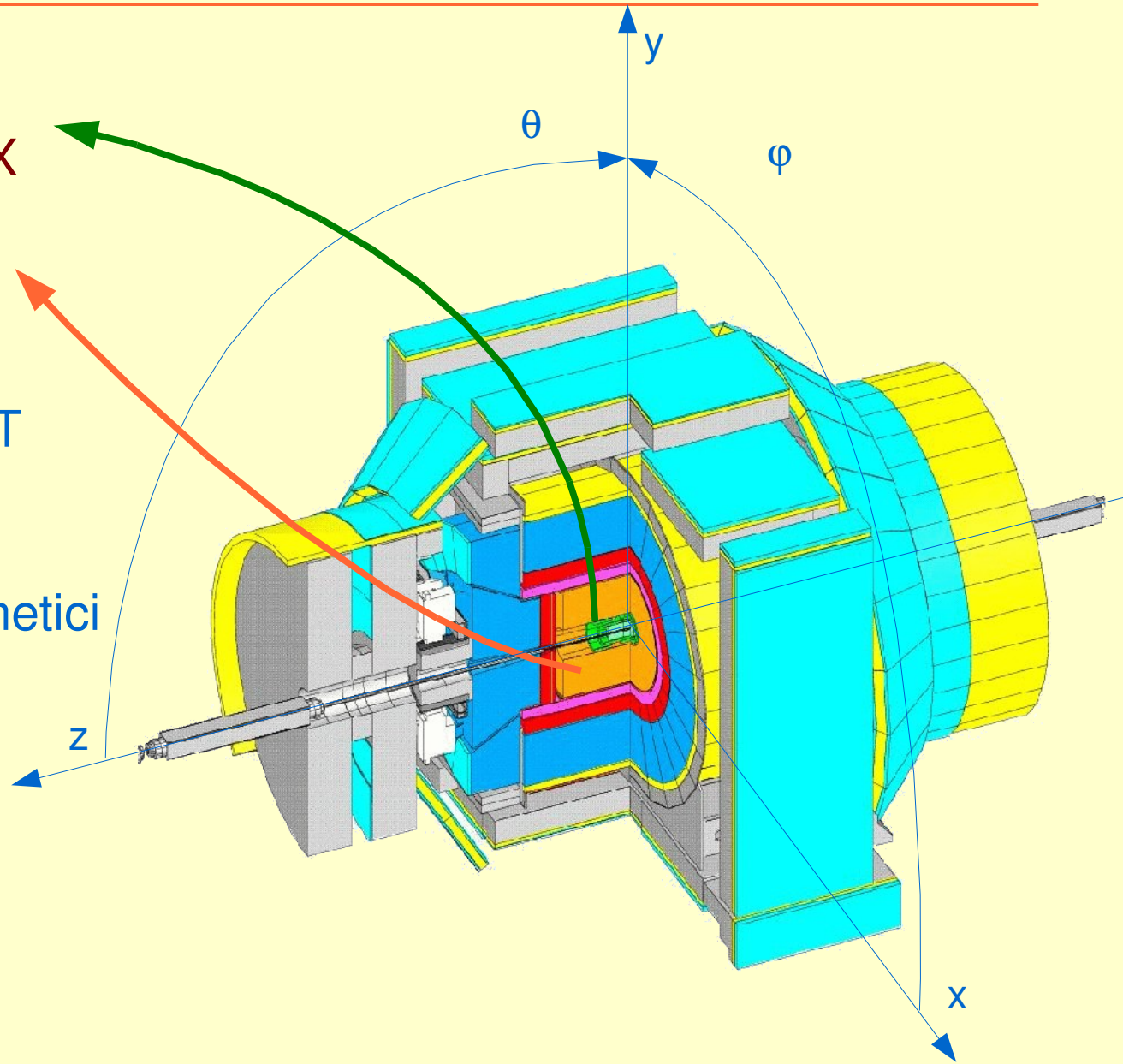


Collider
Detector at
Fermilab

- Scoperta del top (1994)
- Oscillazione B_s
- Misure di precisione M_t e M_W

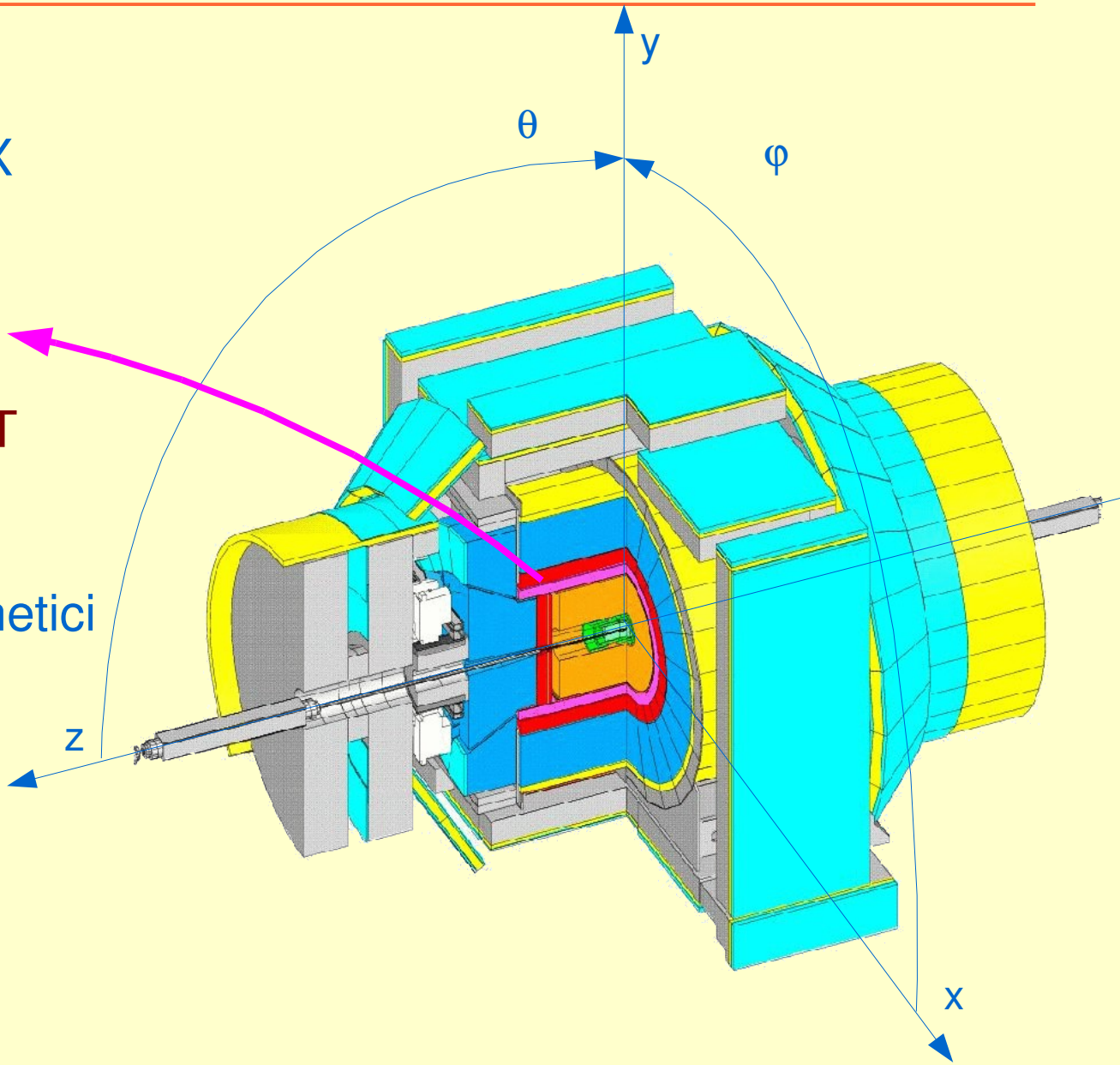
Rivelatore CDF II

- Sistema di tracciatura
  - Rivelatore al silicio SVX
  - Camere a deriva COT
- Magneti superconduttori
  - Campo magnetico 1.5 T
- Sistema calorimetrico
  - Calorimetri elettromagnetici
  - Calorimetri adronici
- Rivelatori di muoni
  - Camere a fili
  - Scintillatori



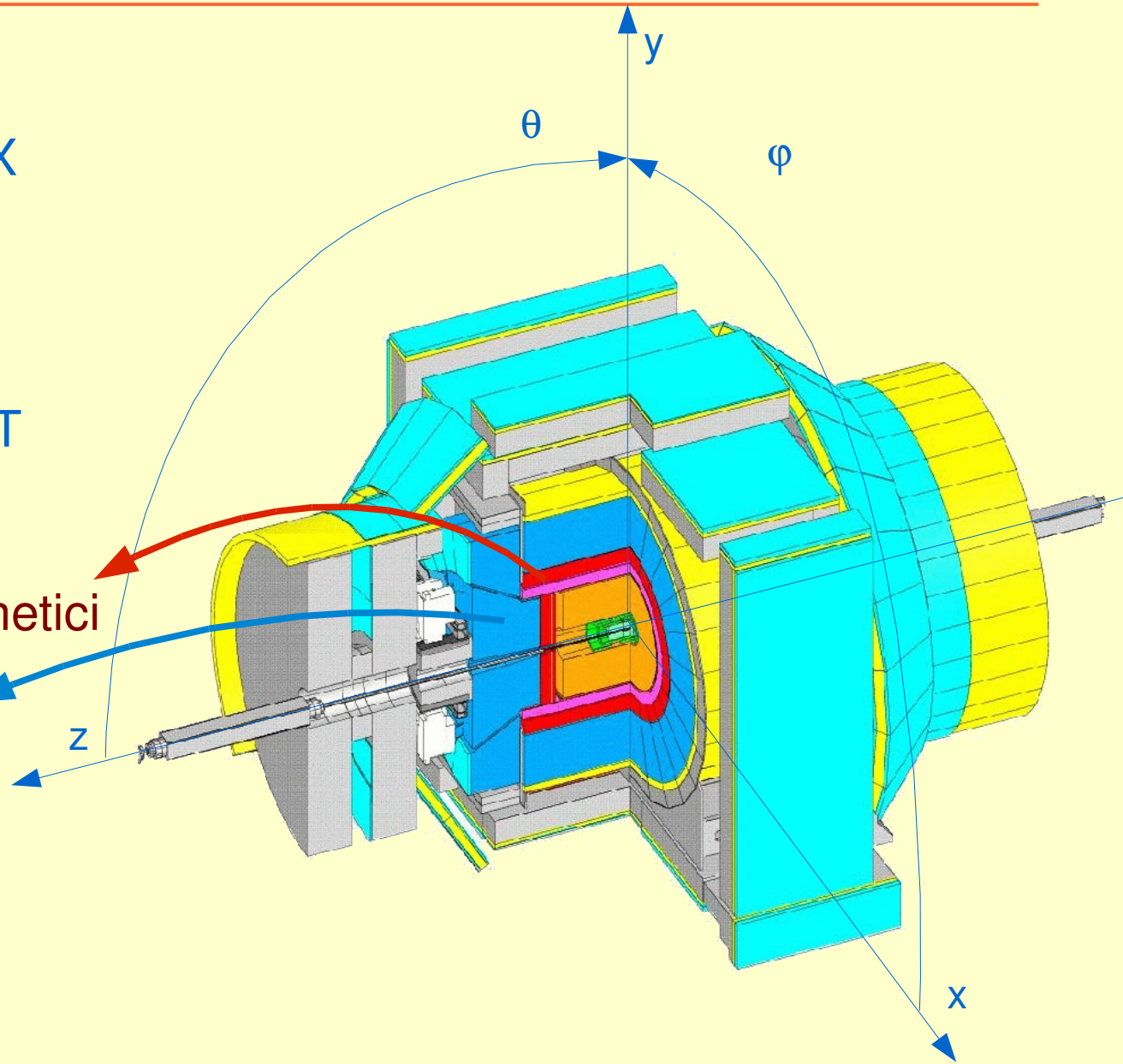
Rivelatore CDF II

- Sistema di tracciatura
  - Rivelatore al silicio SVX
  - Camere a deriva COT
- Magneti superconduttori
  - Campo magnetico 1.5 T
- Sistema calorimetrico
  - Calorimetri elettromagnetici
  - Calorimetri adronici
- Rivelatori di muoni
  - Camere a fili
  - Scintillatori



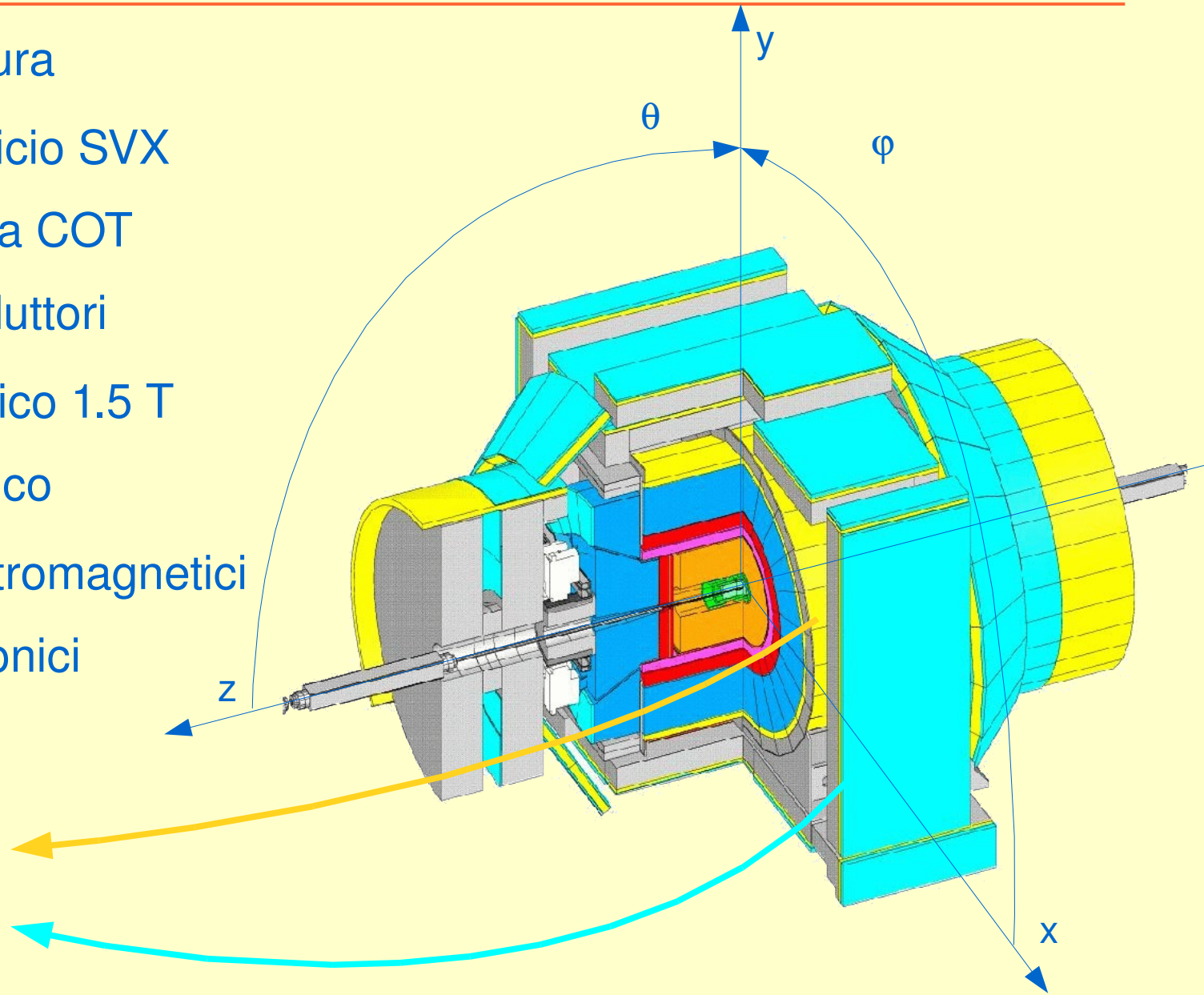
Rivelatore CDF II

- Sistema di tracciatura
  - Rivelatore al silicio SVX
  - Camere a deriva COT
- Magneti superconduttori
  - Campo magnetico 1.5 T
- Sistema calorimetrico
  - Calorimetri elettromagnetici
  - Calorimetri adronici
- Rivelatori di muoni
  - Camere a fili
  - Scintillatori

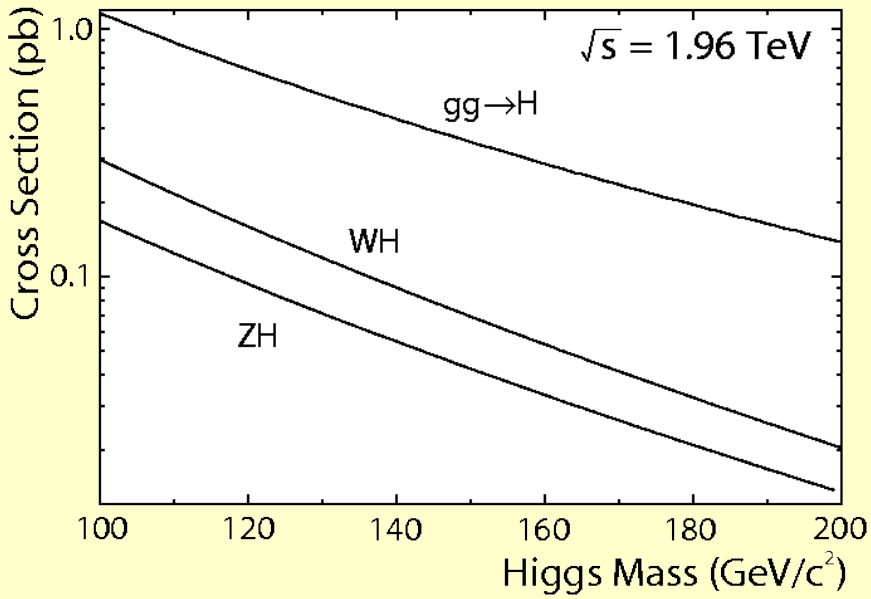


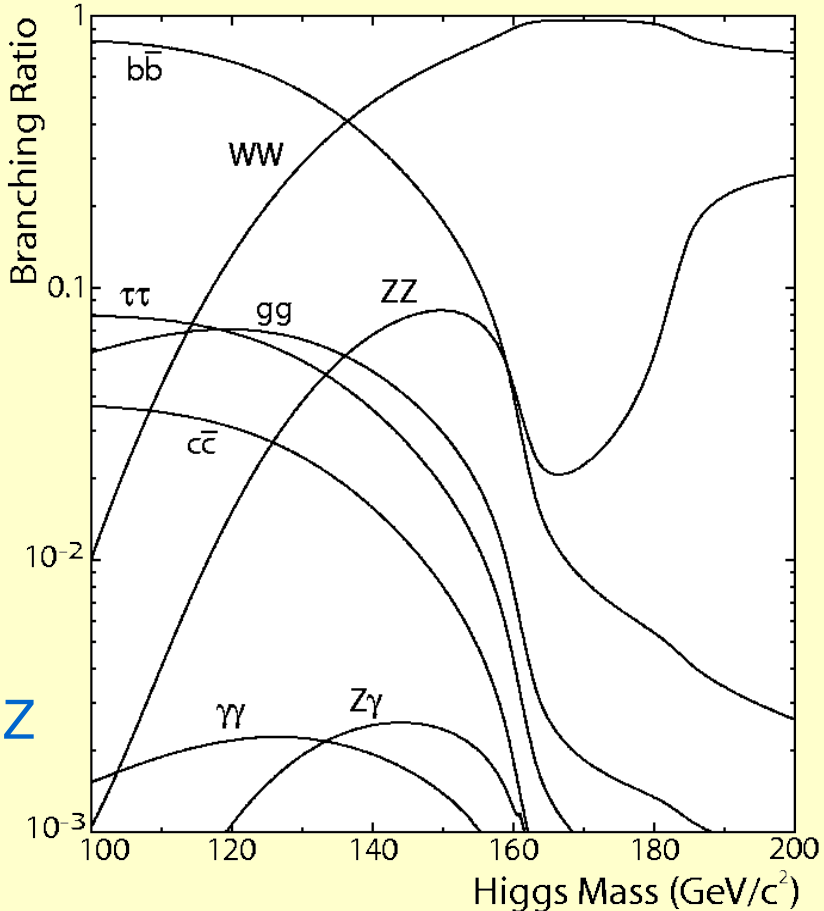
Rivelatore CDF II

- Sistema di tracciatura
  - Rivelatore al silicio SVX
  - Camere a deriva COT
- Magneti superconduttori
  - Campo magnetico 1.5 T
- Sistema calorimetrico
  - Calorimetri elettromagnetici
  - Calorimetri adronici
- Rivelatori di muoni
  - Camere a fili
  - Scintillatori



Ricerca del bosone di Higgs a CDF II





$M_{Higgs} \geq 135$ GeV/c^2

Decadimento dominante in WW

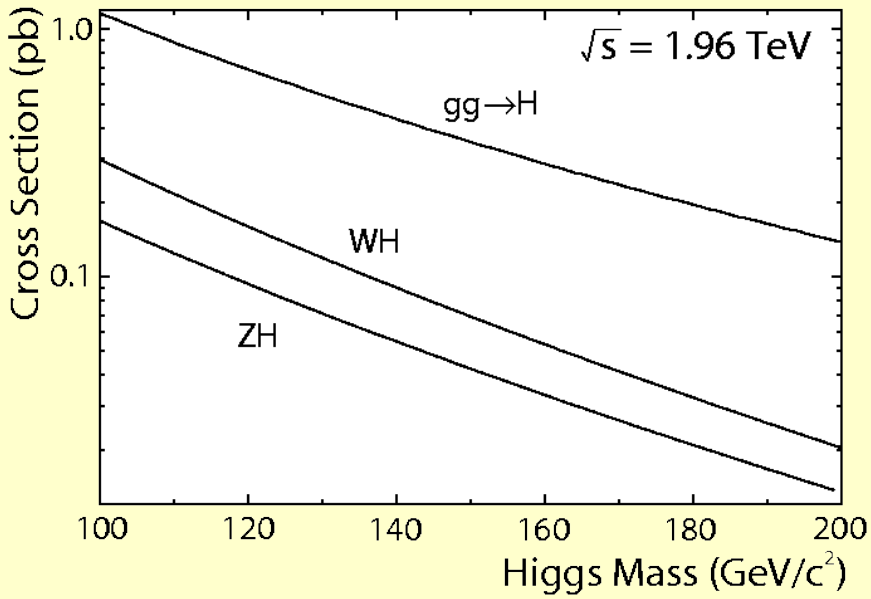
$M_{Higgs} \leq 135$ GeV/c^2

Decadimento dominante in $b\bar{b}$

Finora analizzati canali di Higgs con produzione associata di bosoni vettori W, Z

Canali meno probabili ma piu` facilmente identificabili

Ricerca del bosone di Higgs a CDF II

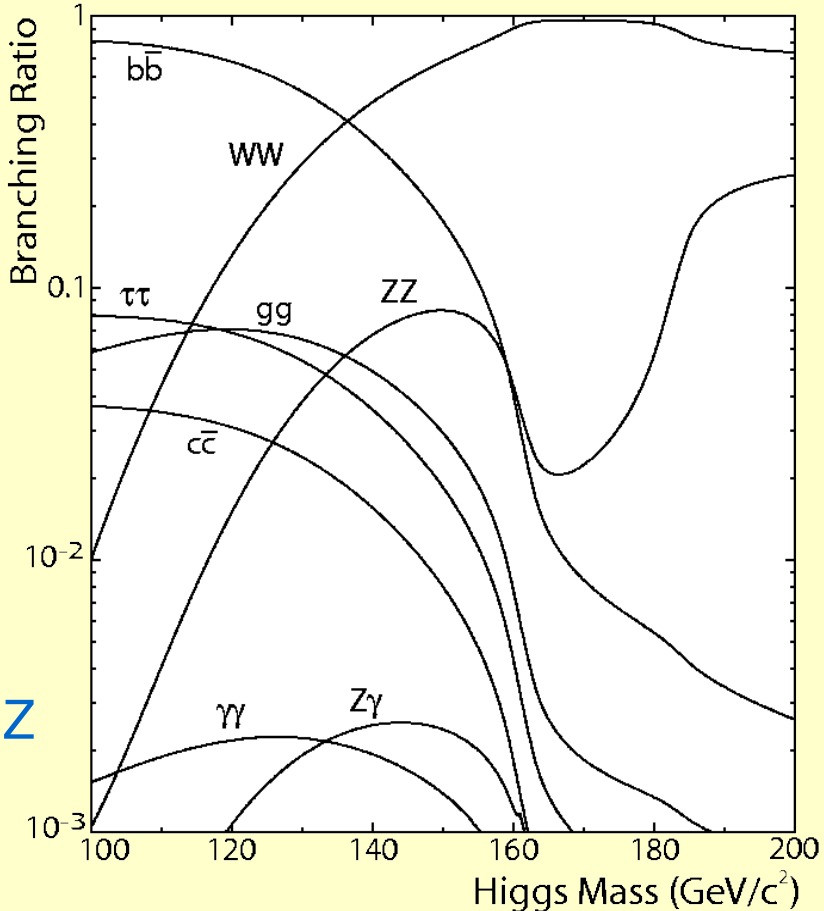


Canale di analisi proposto:

$H \rightarrow b\bar{b}$ inclusivo

Difficile distinzione del segnale dal fondo

Sensibile nella regione $M_H \leq 135$ GeV/c^2



$M_{Higgs} \geq 135$ GeV

Decadimento dominante in WW

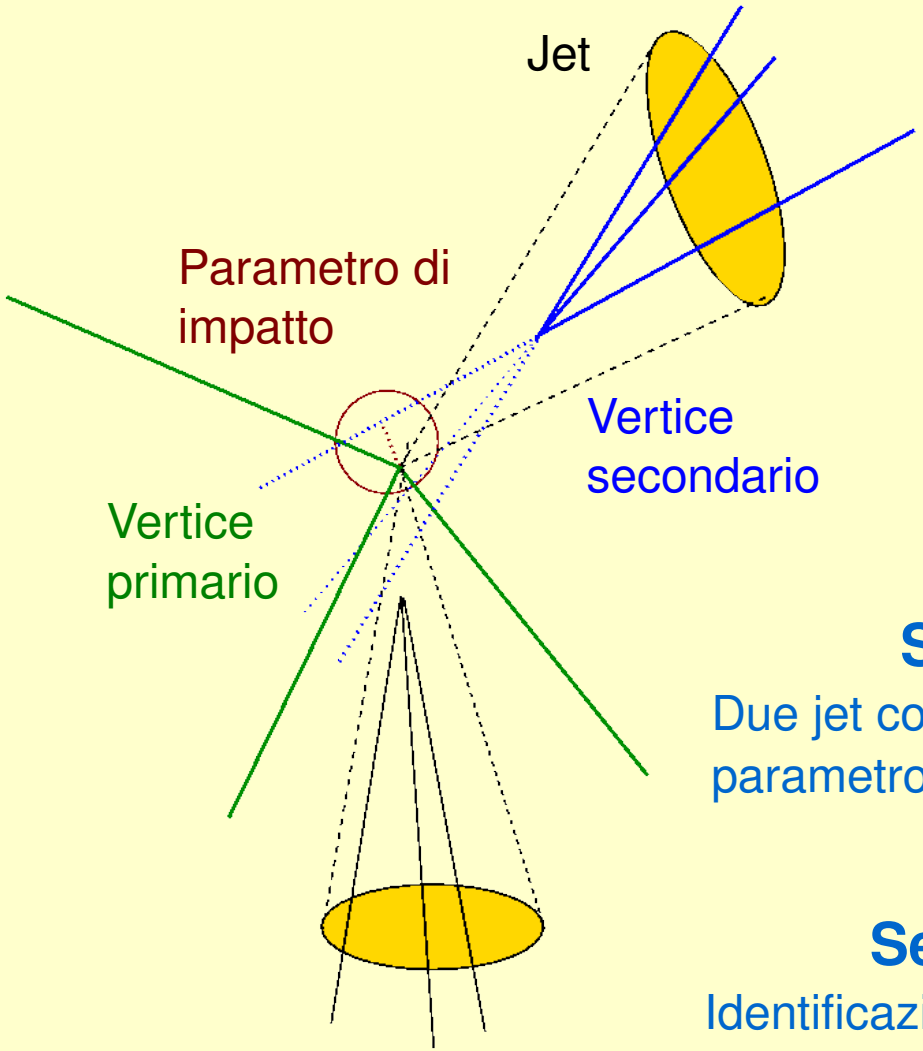
$M_{Higgs} \leq 135$ GeV

Decadimento dominante in $b\bar{b}$

Finora analizzati canali di Higgs con produzione associata di bosoni vettori W, Z

Canali meno probabili ma piu` facilmente identificabili

Selezione del campione



Selezione di eventi con due b-jet
ad alta Energia trasversa nello stato finale

Un jet e` un insieme di particelle generate nel processo di adronizzazione il cui asse coincide con la direzione del partone originario

adroni B
- Vita media: $\tau \sim 1$ ps
- Lunghezza di decadimento: $L \sim 1$ mm
- Vertice secondario

Selezioni di Trigger

Due jet con almeno una traccia con parametro di impatto > 120 μm per ogni jet

Selezioni off-line

Identificazione di due b-jet tramite la ricostruzione di un vertice secondario

Numero di eventi nel campione selezionato

$N_B \sim 532'000$

Eventi di segnale attesi

Eventi attesi $N_S = \sigma \cdot \varepsilon \cdot L$

$M_H = 120\ GeV/c^2$

Sezione d'urto del processo $gg \rightarrow H \rightarrow bb$: $\sigma = 0.68\ pb$

Efficienza di trigger e selezioni off-line valutata tramite simulazione Monte Carlo $\varepsilon = 3.17\%$

Luminosita` integrata del campione $L = 1.15\ fb^{-1}$

$N_S \sim 25$ eventi

Significanza statistica del campione selezionato:

$$N_S/\sqrt{(N_B)} \sim 1/29$$

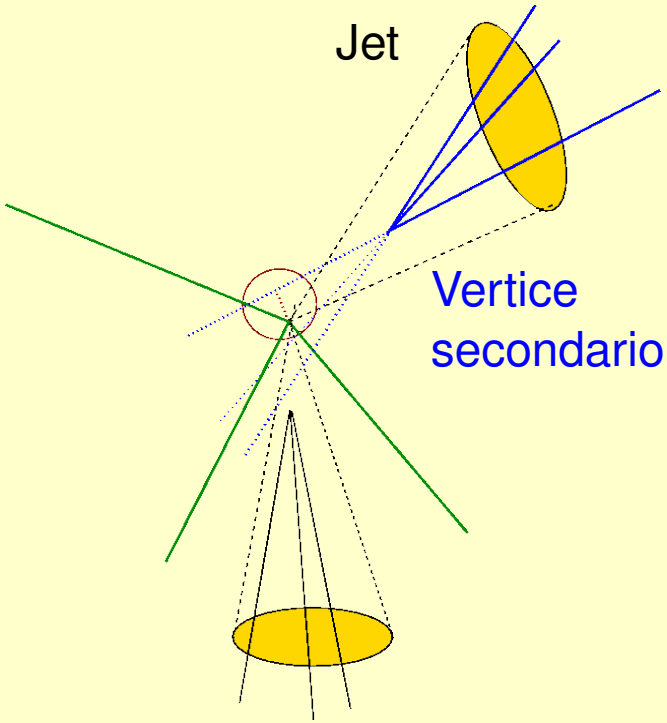
Composizione del campione di dati

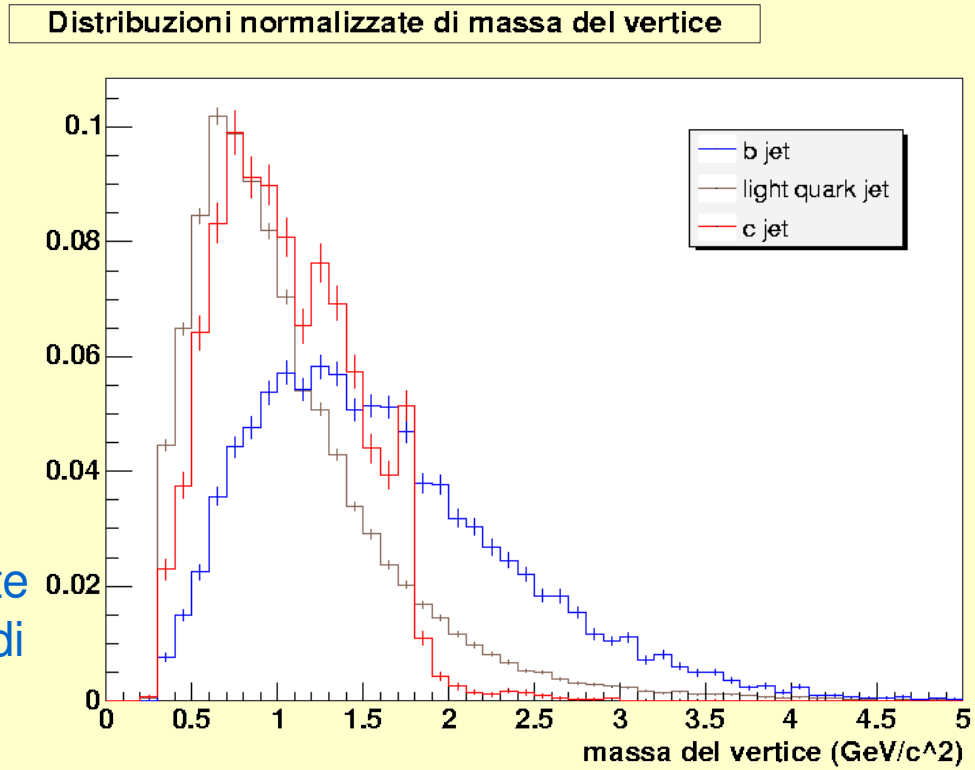
Massa invariante del vertice secondario

Identificazione

Tipologie di jet presenti nel campione selezionato

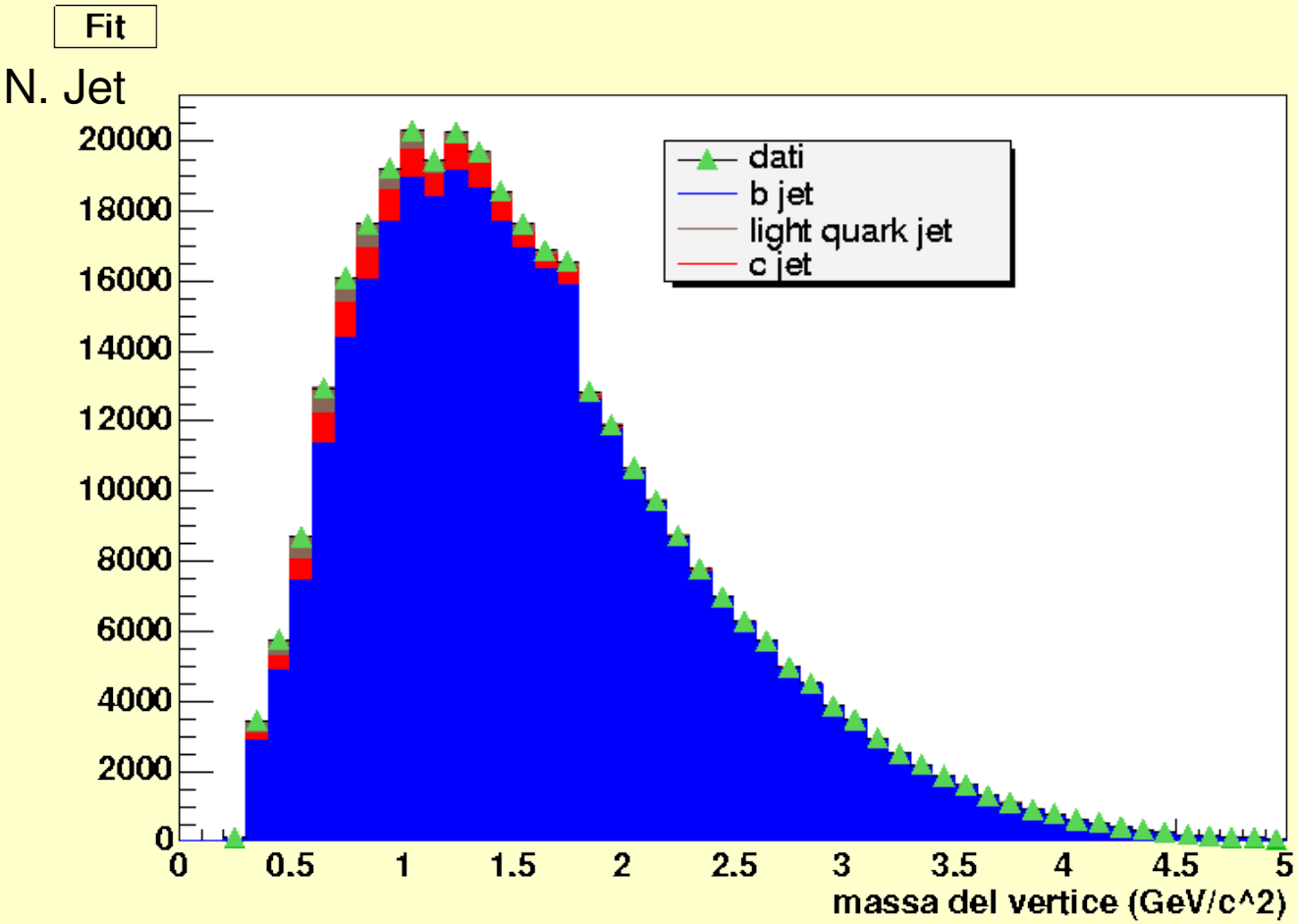
- Quark b
- Quark c
- Quark leggeri (u, d, s) e gluoni





Distribuzioni Monte Carlo utilizzate per eseguire un fit sul campione di dati selezionato

Composizione del campione di dati
Risultati



Fit di massima verosimiglianza

Fit alle frazioni: le distribuzioni Monte Carlo sono variate entro gli errori statistici

$$\chi^2/n.d.f. = 49/47$$

Risultati del fit di composizione del fondo

Frazione di coppie $b\bar{b}$

$\boxed{0.90 \pm 0.02}$

Studio del segnale per la ricerca di variabili discriminanti

Il fondo prevalente e` costituito da coppie $b\bar{b}$

Ottenere la miglior **distinzione del segnale dal fondo prevalente**

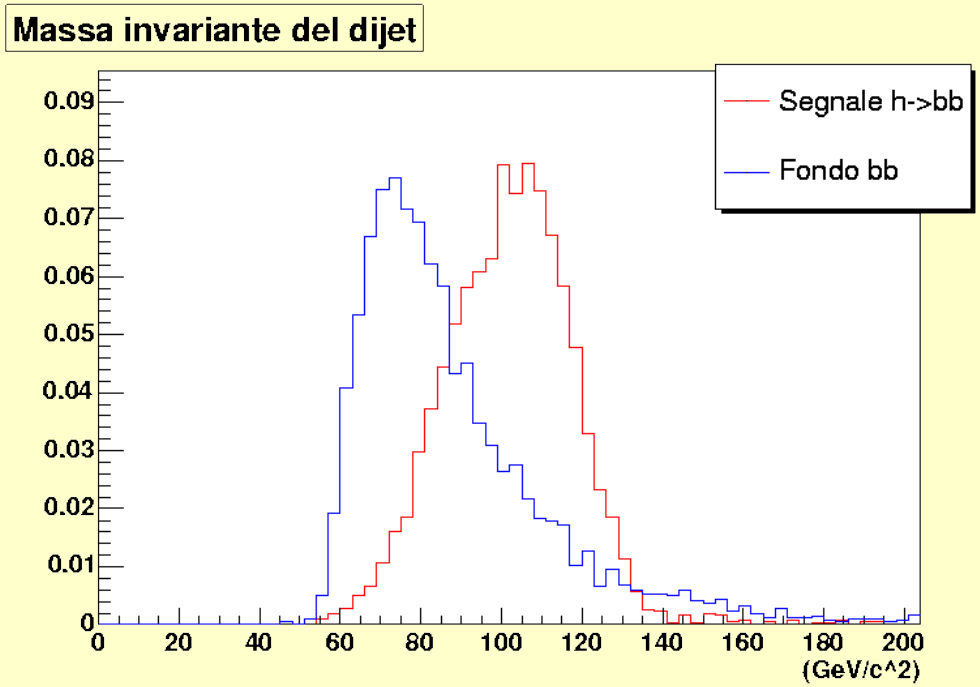
Analisi delle variabili discriminanti

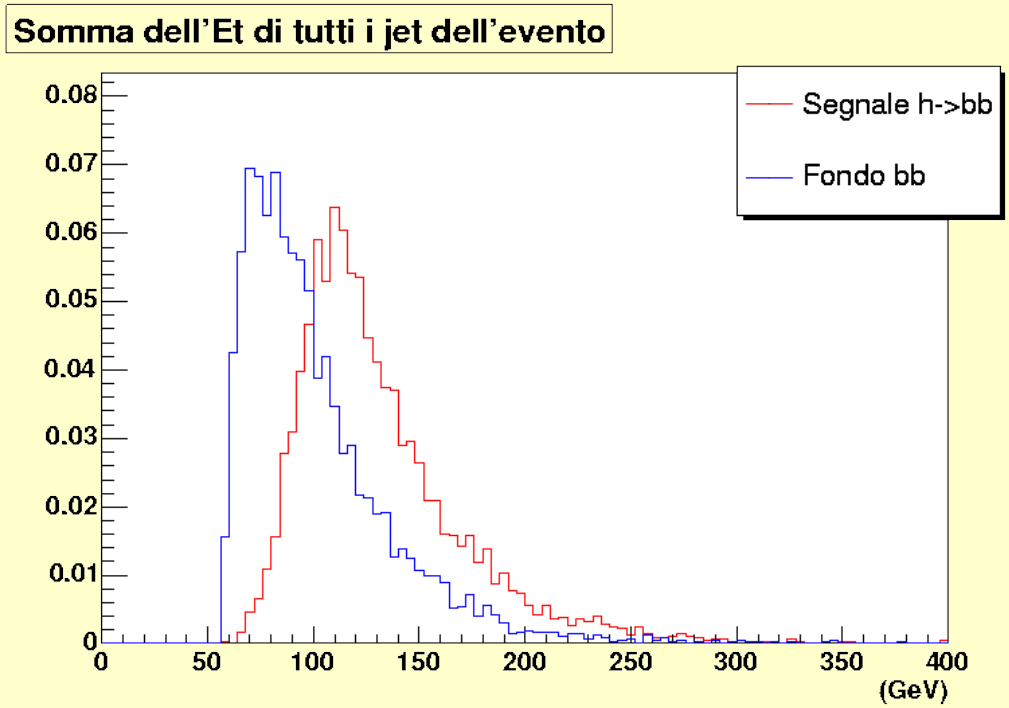
Simulazioni Monte Carlo

segnale: $H \rightarrow b\bar{b}$ (M_H = 120 GeV/c^2)

fondo: produzione diretta di coppie $b\bar{b}$

Studio del segnale per la ricerca di variabili discriminanti

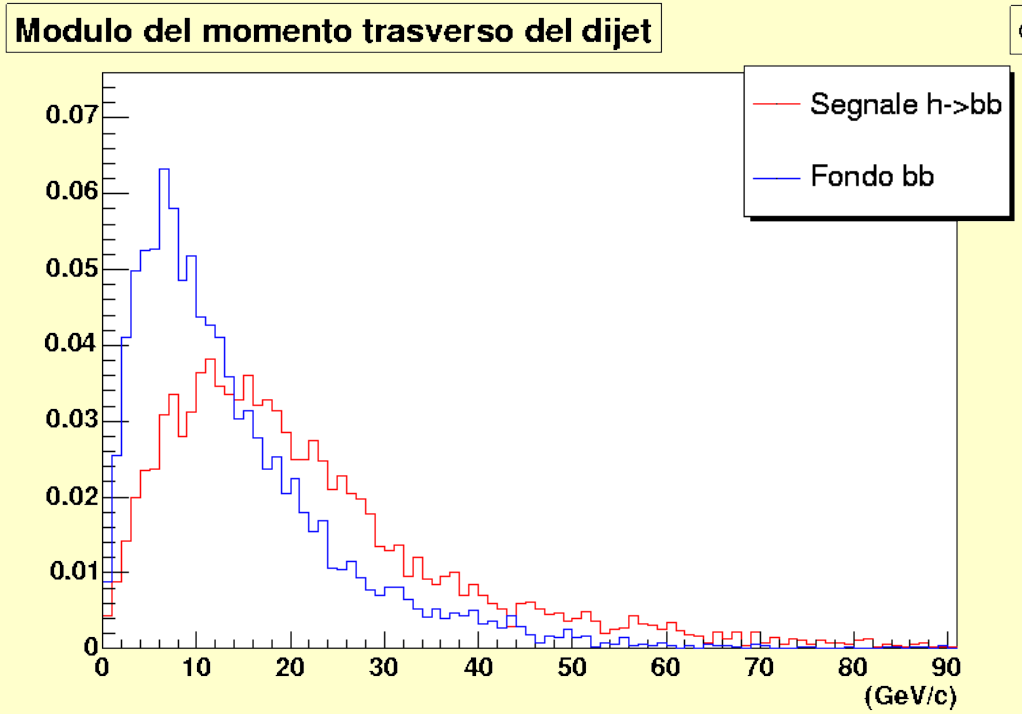


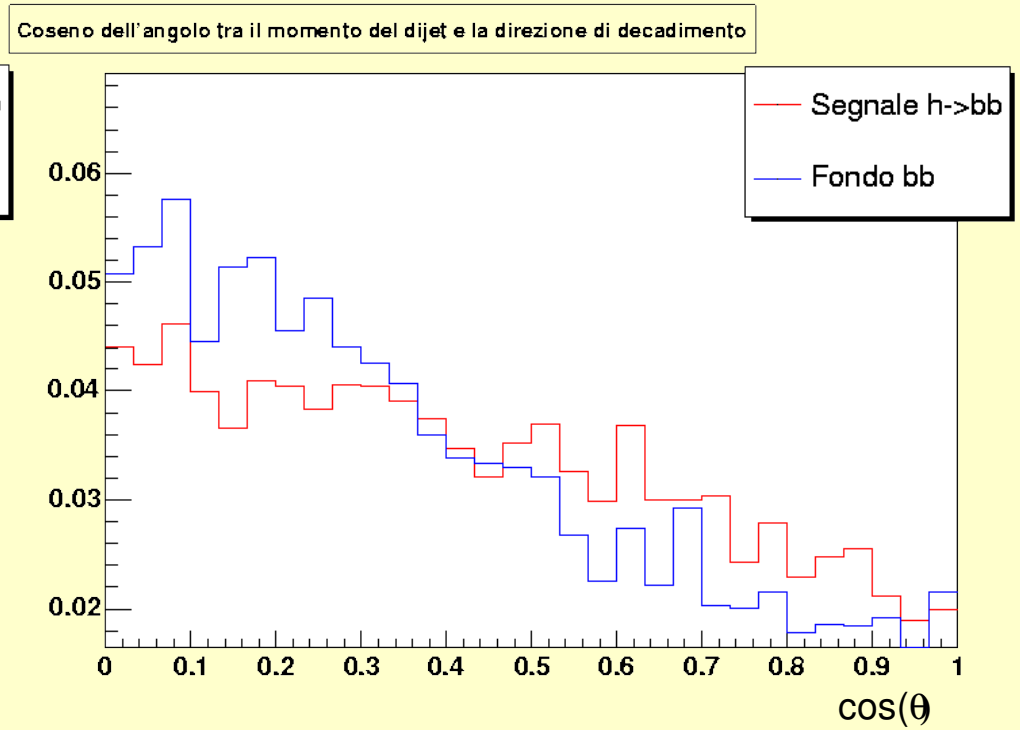


Risonanza nello spettro di massa invariante

Irraggiamento nel piano trasverso alla direzione di collisione

Studio del segnale per la ricerca di variabili discriminanti





Processi radiativi

Particella scalare a spin nullo: decadimento isotropo

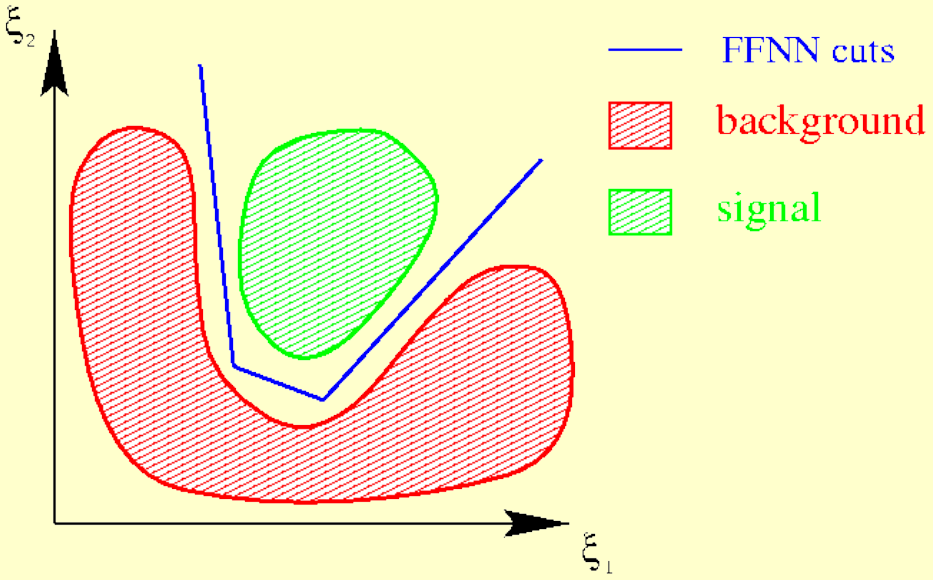
Selezione mediante reti neurali

Reti Neurali Artificiali

Algoritmi di classificazione sviluppati nell'ambito dell'intelligenza artificiale

Rigorosa descrizione matematica:

- Approssimazione di funzioni continue
- ipersuperficie di classificazione nello spazio delle variabili



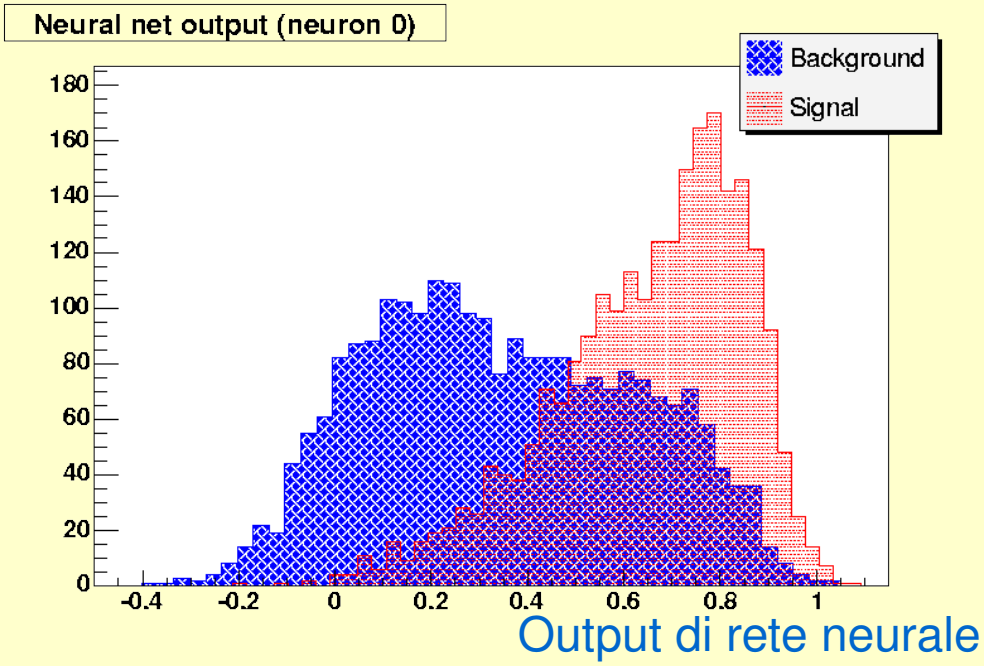
output della rete neurale
0 → eventi di fondo
1 → eventi segnale

probabilita` che l'evento sia segnale

Risultati

Strategia I

Selezione su variabili poco correlate alla massa invariante



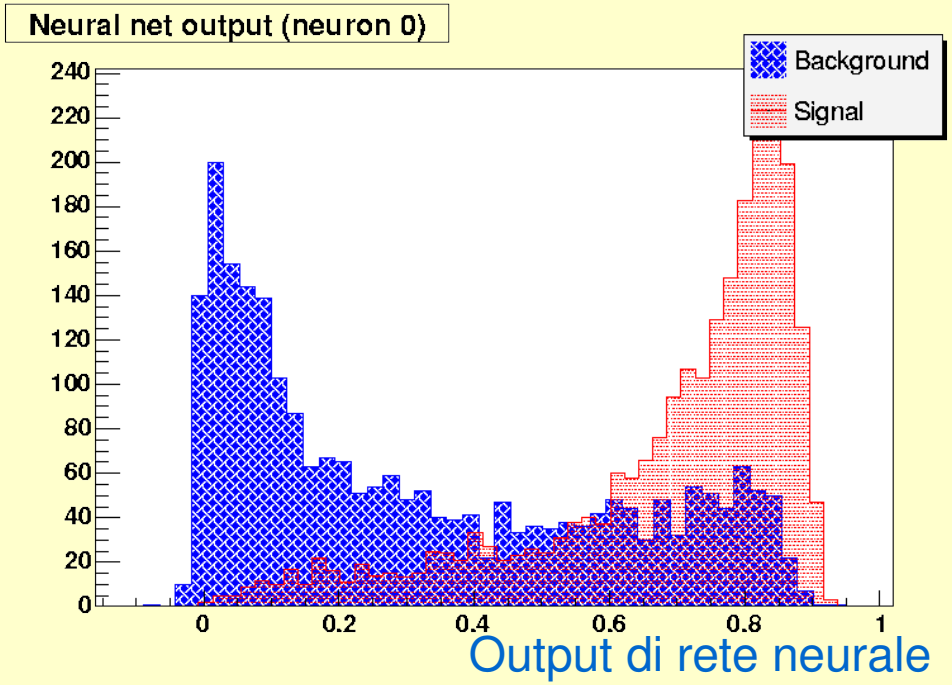
Significanza massima nella regione di massa invariante 90-130 Gev/c^2

1/21

Succesiva analisi:
Fit sullo spettro di massa invariante

Strategia II

Selezione su tutte le variabili



Significanza massima al variare di un taglio sull'output della rete neurale

1/20

Succesiva analisi:
Fit sulla distribuzione dell'output della rete neurale

Prospettive

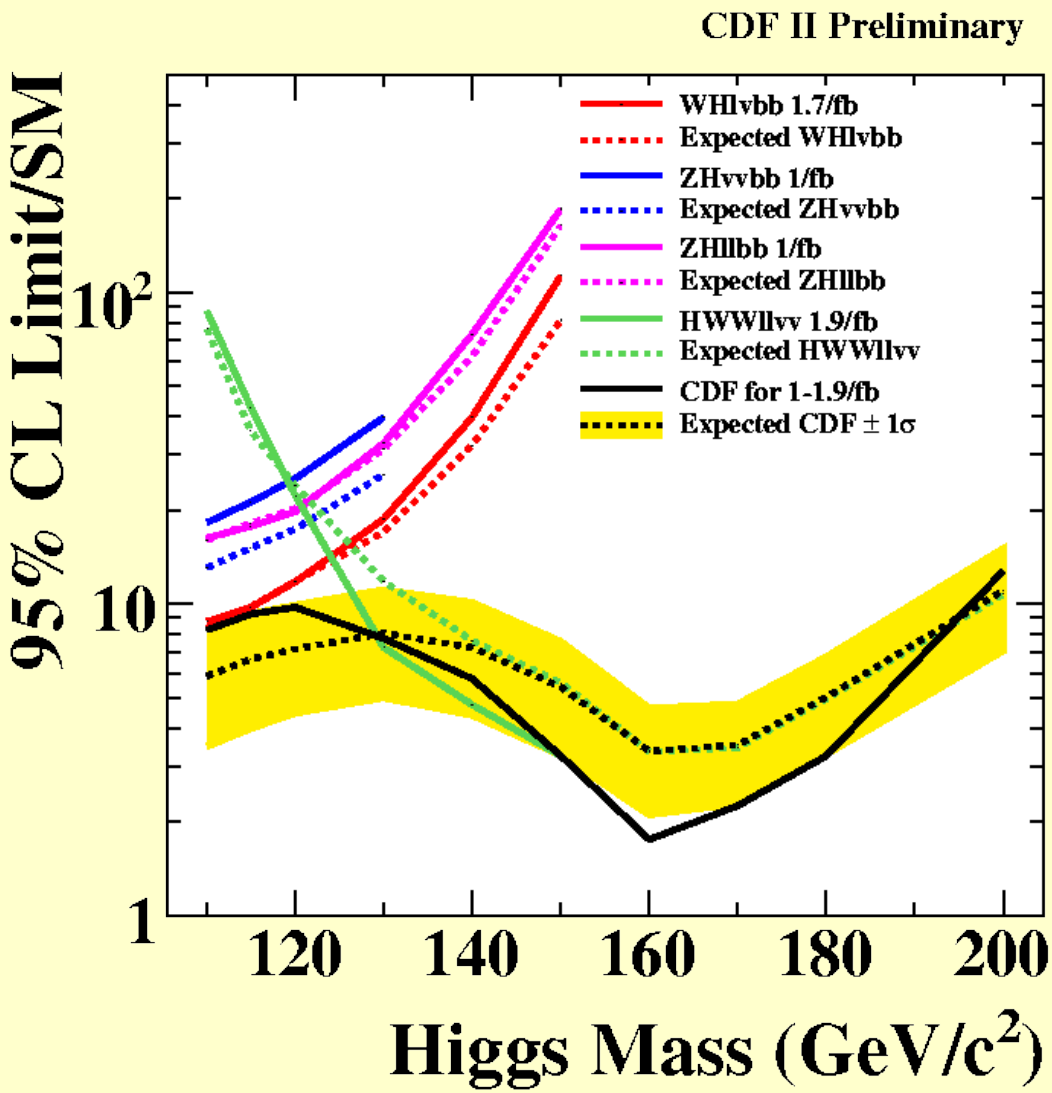
Risultati incoraggianti

Successiva analisi con procedura di fit

Ulteriori miglioramenti previsti:

- Identificazione piu` raffinata dei b-jet
- Aumento dell'accettanza nella ricostruzione dei b-jet
- Miglioramento della risoluzione dell'energia dei jet e quindi dello spettro di massa invariante
- Nuovi trigger per la ricerca del canale $H \rightarrow b\bar{b}$

Conclusioni



L'analisi del canale proposto in questa tesi puo` contribuire significativamente alla ricerca dell'Higgs all'esperimento CDF II nella regione a bassa massa

Backup

Il Bosone di Higgs nel Modello Standard

Simmetria di gauge elettrodebole

$$SU(2)_L \otimes U(1)_Y$$

4 Bosoni di gauge

W^+	W^-	Z	γ

Simmetria di gauge forte

$$SU(3)_{\text{di colore}}$$

8 Bosoni di gauge

$\mathcal{G}^a$ gluoni

Il Bosone di Higgs nel Modello Standard

Simmetria di gauge elettrodebole

$$SU(2)_L \otimes U(1)_Y$$

Simmetria di gauge forte

$$SU(3)_{\text{di colore}}$$

4 Bosoni di gauge

W^+	W^-	Z	γ

$$i\bar{\psi}\gamma_\mu D_\mu \psi$$

8 Bosoni di gauge

$$i\bar{\psi}\gamma^\mu D_\mu \psi$$

$$\mathcal{G}^a$$

gluoni

6 leptoni

e	μ	τ
ν_e	ν_μ	ν_τ

6 quark

u (up)	c (charm)	t (top)(
d (down)	s (strange)	b (bottom)

Interazione elettrodebole

Interazione Forte

Non e` possibile inserire i termini di massa
senza violare la simmetria di gauge

Il Bosone di Higgs nel Modello Standard

Simmetria di gauge elettrodebole

$$SU(2)_L \otimes U(1)_Y$$

4 Bosoni di gauge

W^+	W^-	Z	γ

Simmetria di gauge forte

$$SU(3)_{\text{di colore}}$$

8 Bosoni di gauge

$\mathcal{G}^a$ gluoni

6 leptoni

e	μ	τ
ν_e	ν_μ	ν_τ

6 quark

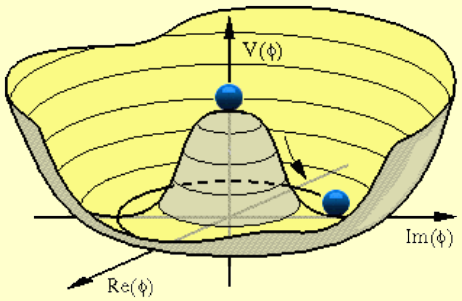
u (up)	c (charm)	t (top)(
d (down)	s (strange)	b (bottom)

Termini di massa

H

Campo scalare φ
Bosone di Higgs

Rottura spontanea di simmetria:
- potenziale a sombrero
- valore di aspettazione nel vuoto



Il Bosone di Higgs nel Modello Standard

Simmetria di gauge elettrodebole

$$SU(2)_L \otimes U(1)_Y$$

4 Bosoni di gauge

W^+	W^-	Z	γ

Simmetria di gauge forte

$$SU(3)_{\text{di colore}}$$

8 Bosoni di gauge

$\mathcal{G}^a$ gluoni

6 leptoni

e	μ	τ
ν_e	ν_μ	ν_τ

6 quark

u (up)	c (charm)	t (top)(
d (down)	s (strange)	b (bottom)

Campo scalare φ
Bosone di Higgs

Rottura spontanea di simmetria:
- potenziale a sombrero
- valore di aspettazione nel vuoto

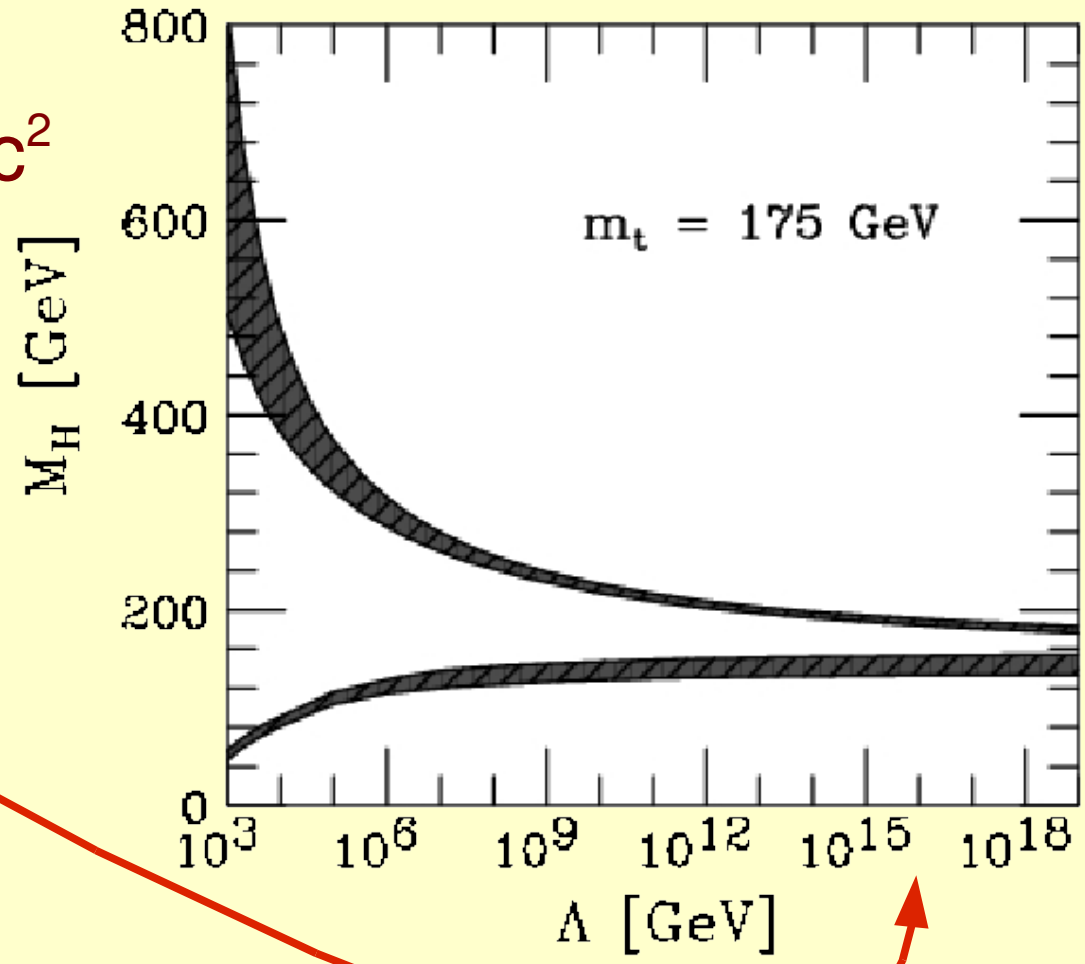
H →

- Particella scalare (spin 0)
- Interpretazione della massa
- Non ancora osservata

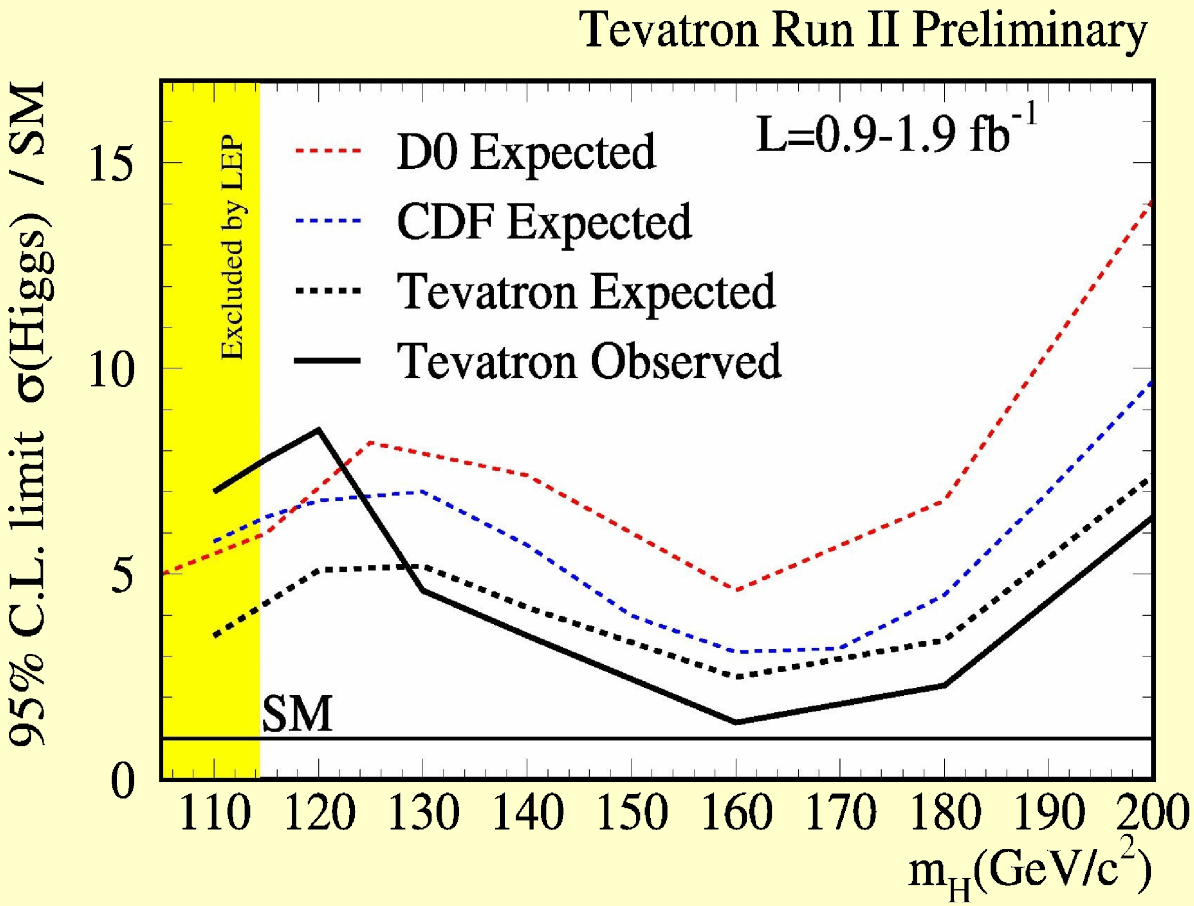
Limiti di massa del bosone di Higgs

- Limiti teorici di coerenza della teoria: $130 < M_H < 180$ GeV/c^2

Unitarieta` della matrice di scattering e stabilita` del vuoto alla scala di grande unificazione $\Lambda \sim 10^{16}$



Limite sulla sezione d'urto dell'Higgs al Tevatron



M_{Higgs} < 135 GeV

Decadimento principale in bb

Produzione associata a bosoni vettori

$$WH \rightarrow l\,\nu\,b\,\bar{b}$$

$$ZH \rightarrow \nu\,\bar{\nu}\,b\,\bar{b}$$

$$ZH \rightarrow l^+\,l^-\,b\,\bar{b}$$

M_{Higgs} > 135 GeV

Decadimento principale in WW

$$H \rightarrow W^+\,W^- \rightarrow l^+\,l^-\,\nu\,\bar{\nu}$$

Nuovo canale di analisi:

H → bb inclusivo

Sensibile nella regione $M_H \leq 135$ GeV/c^2

Trigger e ricostruzione off-line per il canale $H \rightarrow bb$

Selezione di eventi arrichiti in coppie di jet
da quark b ad alto momento trasverso

Mesoni B

Caratteristica distintiva
Alta vita media:
$\tau \sim 1$ ps

Lunghezza di decadimento per
jet di impulso P ~ 30 GeV:
$L = \tau\beta\gamma = \tau P/m \sim 1$ mm

Trigger e ricostruzione off-line per il canale $H \rightarrow bb$

Selezione di eventi arrichiti in coppie di jet da quark b ad alto momento trasverso

Trigger High_Pt_Bjet

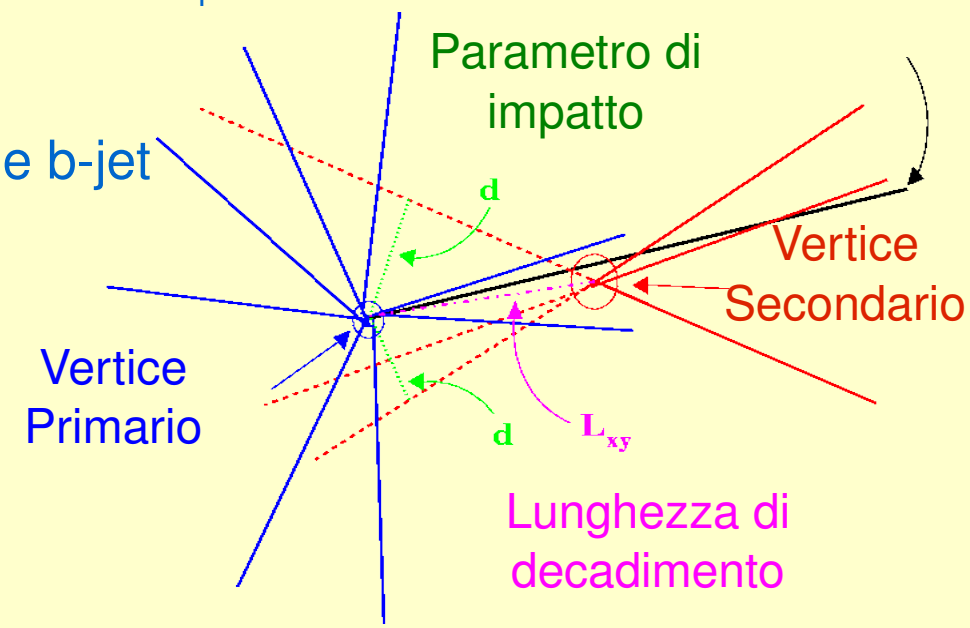
Selezioni Calorimetriche:
- 2 jet di Energia trasversa $E_T > 15$ GeV

Sistema di tracciatura:
- Per ogni Jet, una traccia con parametro di impatto $d_0 > 120\ \mu m$

Mesoni B
$\tau \sim 1$ ps
$L \sim 1$ mm

Selezioni off-line
- Ricostruzione di due jet di $E_T > 28$ GeV
- Identificazione di due b-jet

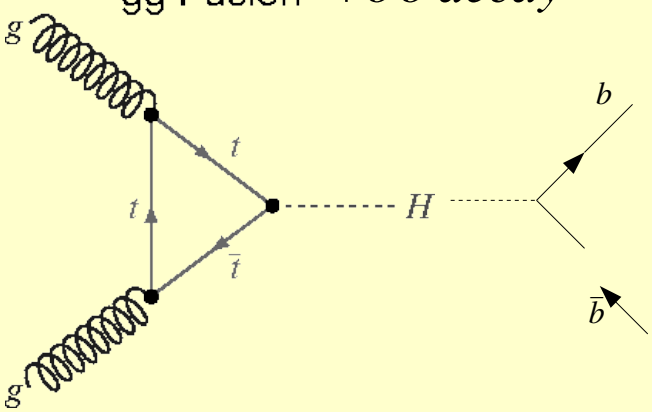
Ricostruzione di un vertice secondario all'interno del jet



Segnale atteso e fondo osservato

Segnale

gg Fusion $+ b\bar{b}\ decay$



Eventi attesi

$N_S = \sigma \cdot \varepsilon \cdot L$

$\sigma(gg \rightarrow H \rightarrow bb) = 0.68$ pb

Stima dell'efficienza di trigger e selezioni tramite simulazione Monte Carlo:

ε 3.17%

Luminosita` integrata:

$L = 1.15\ fb^{-1}$

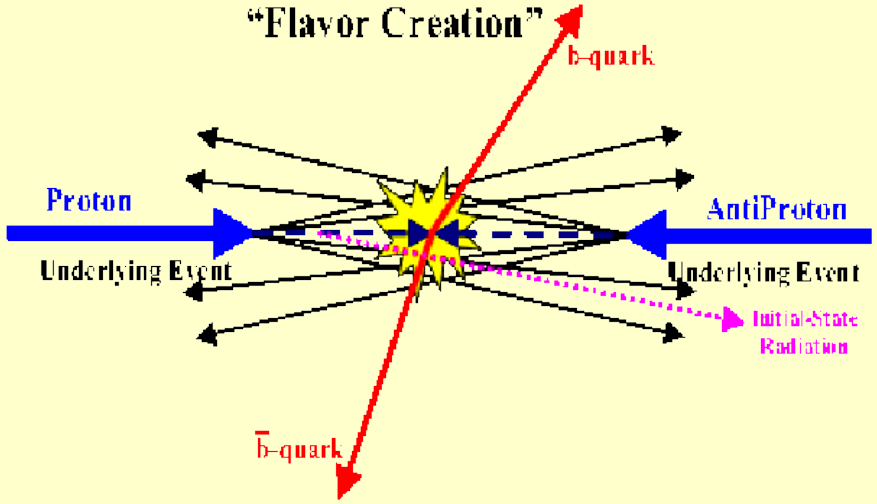
$N_S \sim 25$ eventi

Ipotesi di fondo prevalente

Creazione diretta di coppie bb:

$\sigma \sim 6$ nb

$$g\,g \rightarrow b\,\bar{b} \qquad q\,q \rightarrow b\,\bar{b}$$



Fondo Osservato:

$N_B \sim 532'000$

Composizione del campione di dati

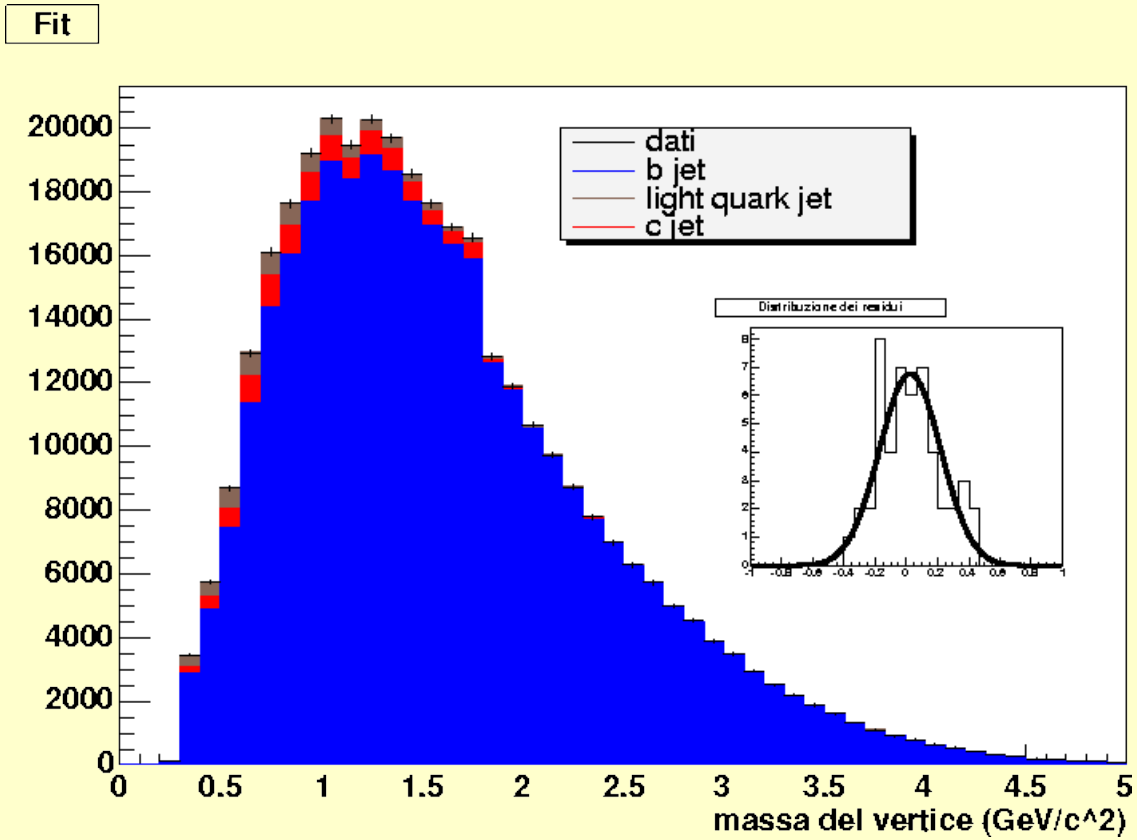
Composizione dei singoli jet

Fit di massima verosimiglianza con distribuzioni di dati e Monte Carlo

Fit alle frazioni – statistica finita

Termini aggiuntivi nella funzione di Likelyhood

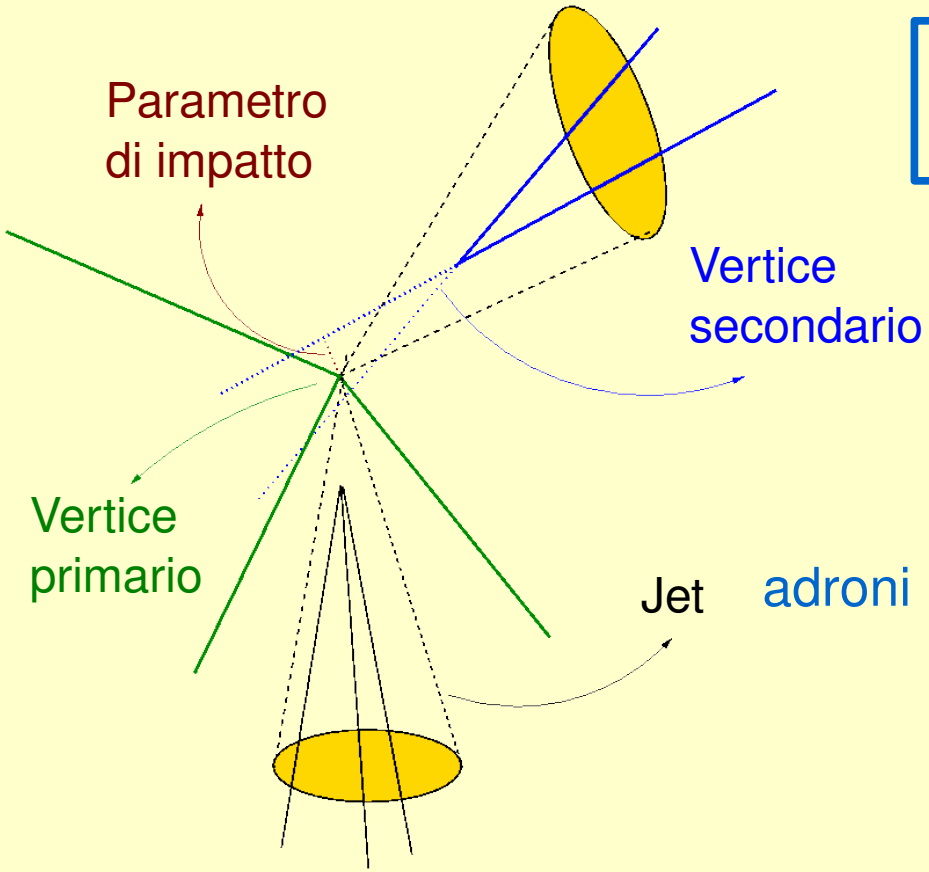
	Frazione	Errore
b jet	0.950	0.014
c jet	0.029	0.033
quark leggeri	0.021	0.028
χ^2/n.d.f. del fit	49/47	



non correlazione tra I due jet di un evento:
Coppie di bb nei dati ~ $0.95^2 = 90\%$

Il fondo e` composto in prevalenza di coppie bb

Selezione del campione



Selezione di eventi con due quark b
ad alta Energia trasversa nello stato finale

Sistema calorimetrico
→ Ricostruzione di jet adronici

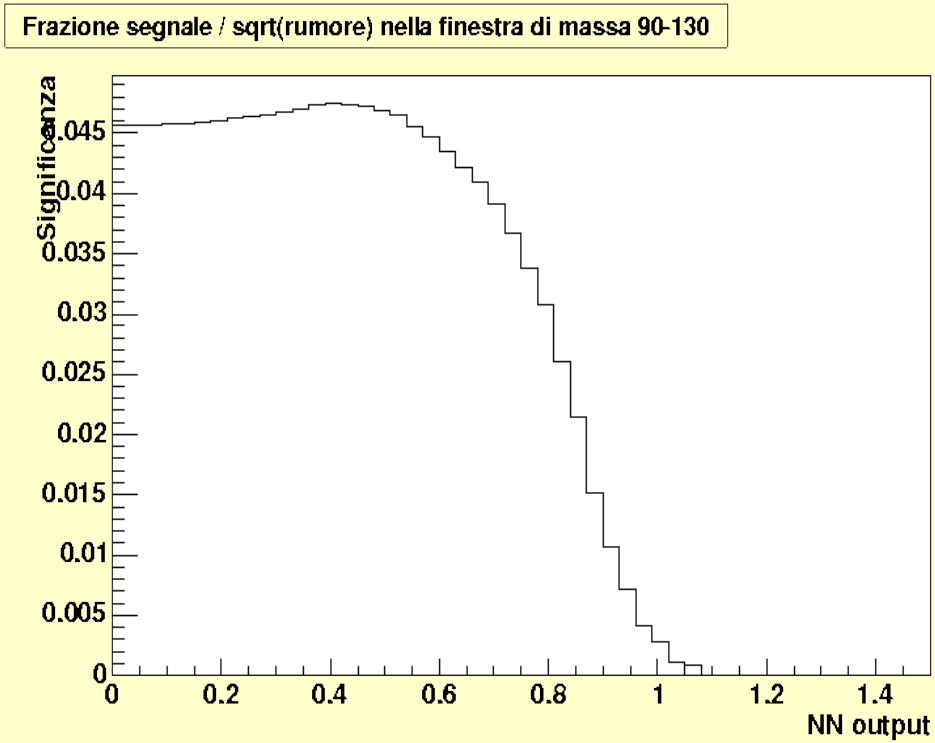
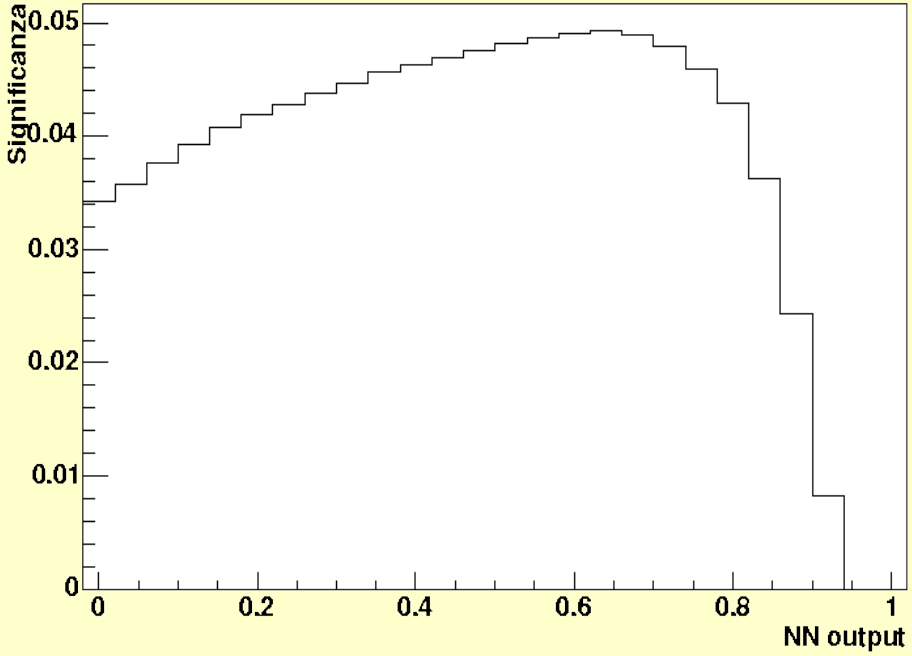
Sistema di tracciatura
→ Ricostruzione di traiettorie di particelle

adroni B
- Vita media: $\tau \sim 1$ ps
- Lunghezza di decadimento: $L \sim 1$ mm

Selezioni di Trigger

- Due jet
- Una traccia con parametro di impatto > 120 μm per ogni jet

Selezioni off-line

Identificazione di due b-jet tramite la ricostruzione di un vertice secondario

Significanze