

Anno accademico 2008/2009

1

Elisa Rojatti

Tutor : Prof. Stefano Giagu

Corso di FNSNII

Docente : Prof. Carlo Dionisi

RICERCA DEL BOSONE DI HIGGS A BASSA MASSA

Produzione associata HW e HZ al Tevatron e risultati
aspettati a LHC

Introduzione

2

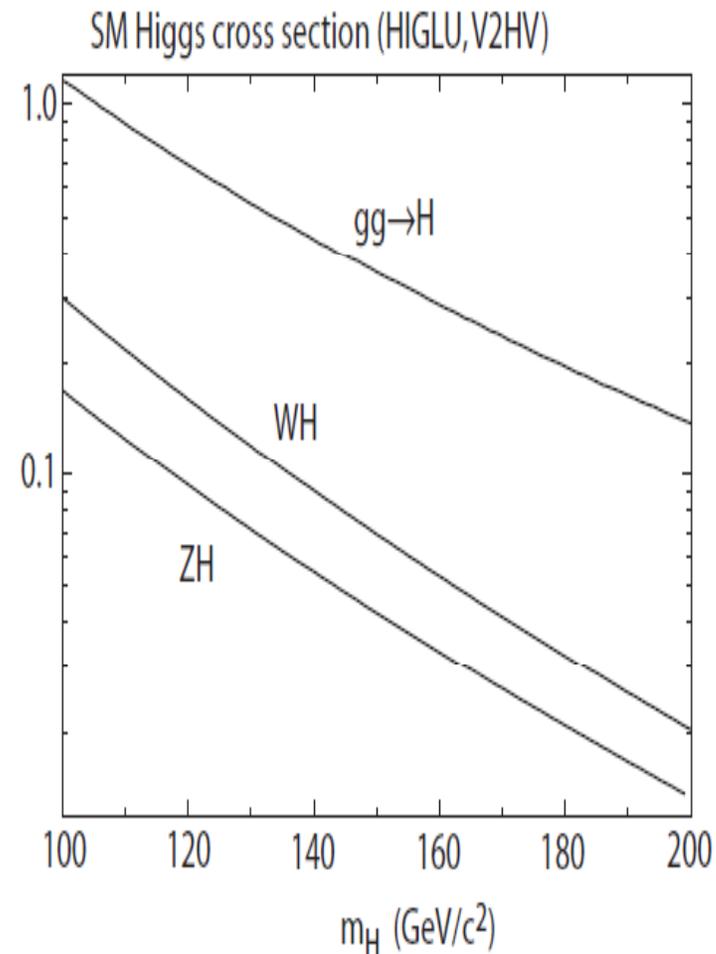
- ❑ **Ricerca del bosone di Higgs al Tevatron tramite il canale di produzione associata HW, HZ :**
 - Produzione e decadimenti;
 - Background;
- ❑ **Particolare analisi del canale WH :**
 - Segnatura sperimentale;
 - Background;
 - Identificazione dei b-jet 
 - Rilevatori al silicio
 - Algoritmi di b-tagging
 - Metodi di analisi degli eventi rilevati 
 - Metodo dell'elemento di matrice
 - BDT
- ❑ **Risultati al Tevatron ;**
- ❑ **Ricerca del bosone di Higgs a LHC;**
- ❑ **Risultati aspettati ad ATLAS .**

Produzione del bosone di Higgs al Tevatron

3

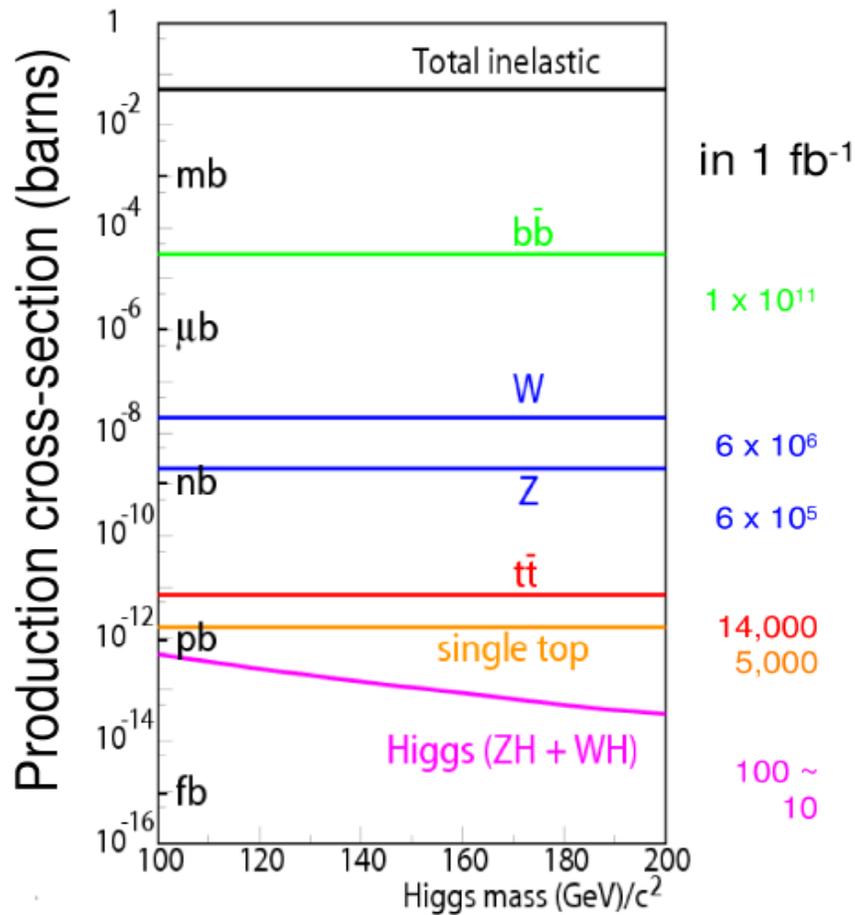
- Processi di produzione dell'Higgs privilegiati al Tevatron :
 - Fusione di due gluoni
 - Produzione associata ai bosoni W e Z
- La ricerca del bosone di Higgs al Tevatron è divisa in due categorie :
 - alta massa : $m_H > 140 \text{ GeV}/c^2$
 - bassa massa : $m_H < 140 \text{ GeV}/c^2$

➔ **ricerca tramite la produzione associata**



Perché nella ricerca dell'Higgs a bassa massa utilizziamo la produzione associata?

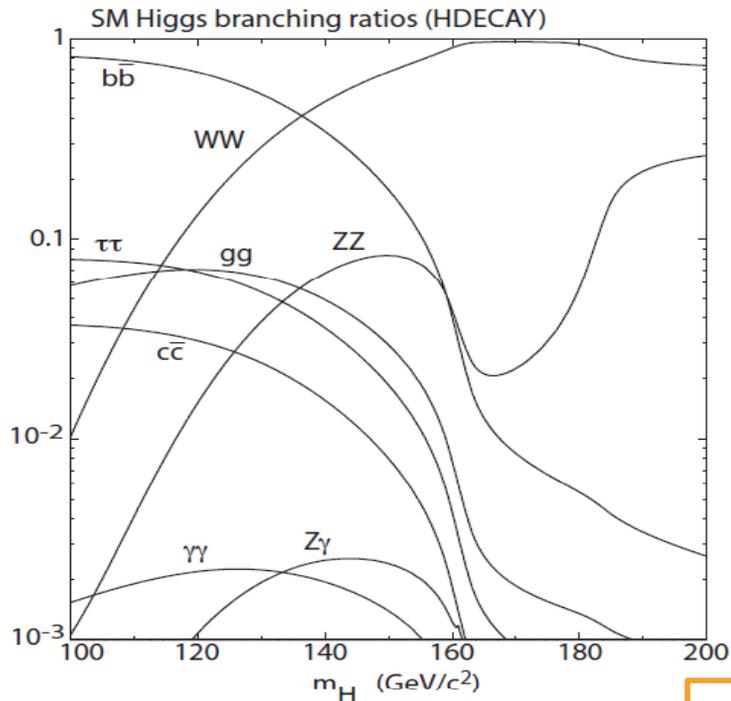
4



La produzione diretta $gg \rightarrow H$ non può essere utilizzata a bassa massa, poiché il background è troppo elevato

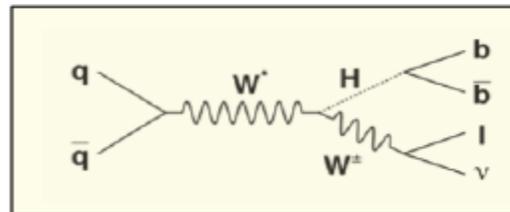
Decadimenti dell'Higgs a bassa massa

5

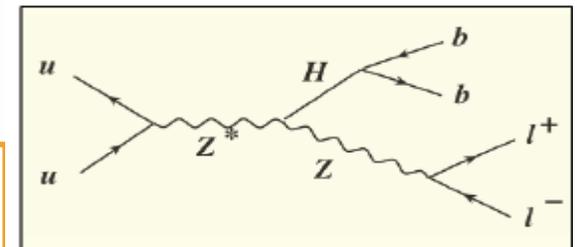


Canali di decadimento per Higgs a bassa massa :

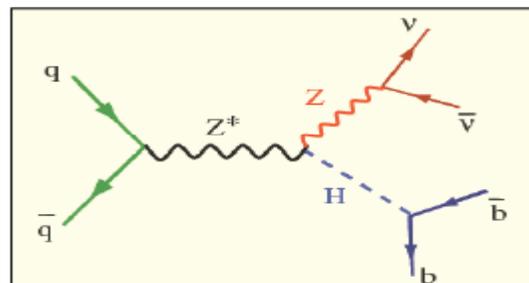
$$p\bar{p} \rightarrow WH \rightarrow l\nu b\bar{b}$$



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



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



Cerchiamo, in generale, degli eventi che contengano: E_T mancante, due b-jet, leptoni carichi isolati con p_T elevato.

Composizione dei fondi nella produzione associata

6

Nella produzione associata dell'Higgs, possibili eventi di background sono :

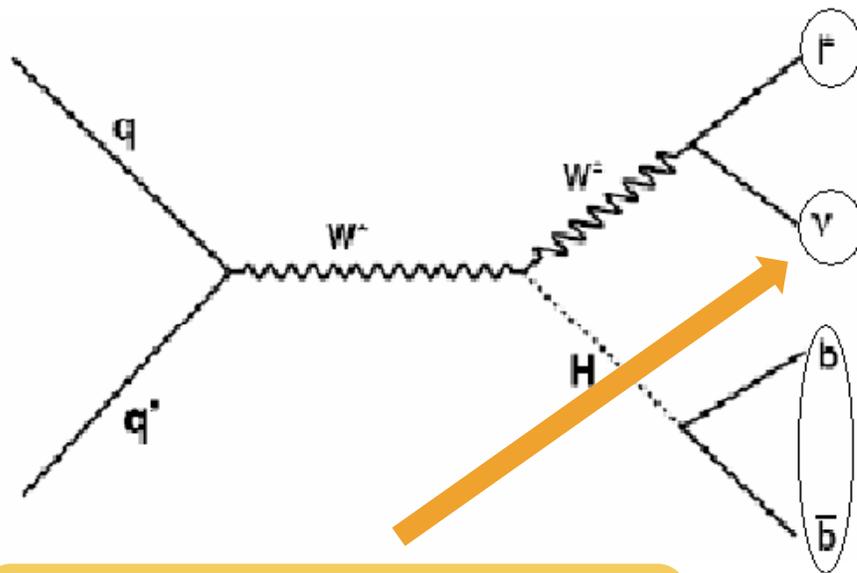
- 1. Jet adronici (HF(b) e LF(u,d,s)) generati da processi di QCD ;**
- 2. tt e single top ;**
- 3. Produzione di W + jet o Z + jet ;**
- 4. Produzione di coppie WW/ZZ/WZ ;**

Tipici eventi in 1 fb^{-1}	$ZH \longrightarrow llbb$	$ZH \longrightarrow \nu\nu bb$	$WH \longrightarrow l\nu bb$
Segnali prodotti	5	15	30
Segnali accettati	1	2	3
Background	100	300	500

Ricostruzione degli oggetti fisici (produzione associata WH)

7

- Gli oggetti fisici che devono essere ricercati sono :



Leptone carico (elettrone o muone), isolato, con alto impulso trasverso ($P_T > 20 \text{ GeV}$): ricostruito come deposito di energia nel calorimetro e-m o nella camera a muoni.

Neutrino : rivelato dalla presenza di E_T mancante.

Due b-jet : ricostruiti come depositi di energia nei calorimetri adronico e e-m. Sono distinti dai jet generati da LF attraverso l'uso di diversi algoritmi di tagging.

Background nel canale di produzione associata WH

8

- Eventi non W da processi di QCD

 - ➔ produzione di jet QCD che decadono in leptone carico e neutrino ;

- W + quark pesanti

 - ➔ W prodotto in associazione con un jet adronico “pesante” ;

- W + quark leggeri/Mistag

 - ➔ W prodotto in associazione con un jet adronico “leggero” non riconosciuto dal b-tagger;

- Interazioni elettrodeboli e top : single top, coppie tt, coppie di bosoni WW, Z+jet .

Ricostruzione dei b-jet

9

- L'identificazione di un b-jet è un processo di fondamentale importanza nella nostra analisi, ma allo stesso tempo molto complesso, a causa dell'abbondanza di processi di QCD nei quali vengono generati molti quark, leggeri e pesanti;
- Un algoritmo che seleziona i b-jet è detto **b-tagger**. Esso si basa sull'analisi delle tracce rilasciate dalle particelle cariche (adroni B) all'interno dei rivelatori, e sulla misura del parametro di impatto;
- Per distinguere i b-jet dagli altri jet adronici, un algoritmo di b-tagging sfrutta le **caratteristiche intrinseche** degli adroni B:

1. Lunga vita media;
2. Elevato valore della massa;

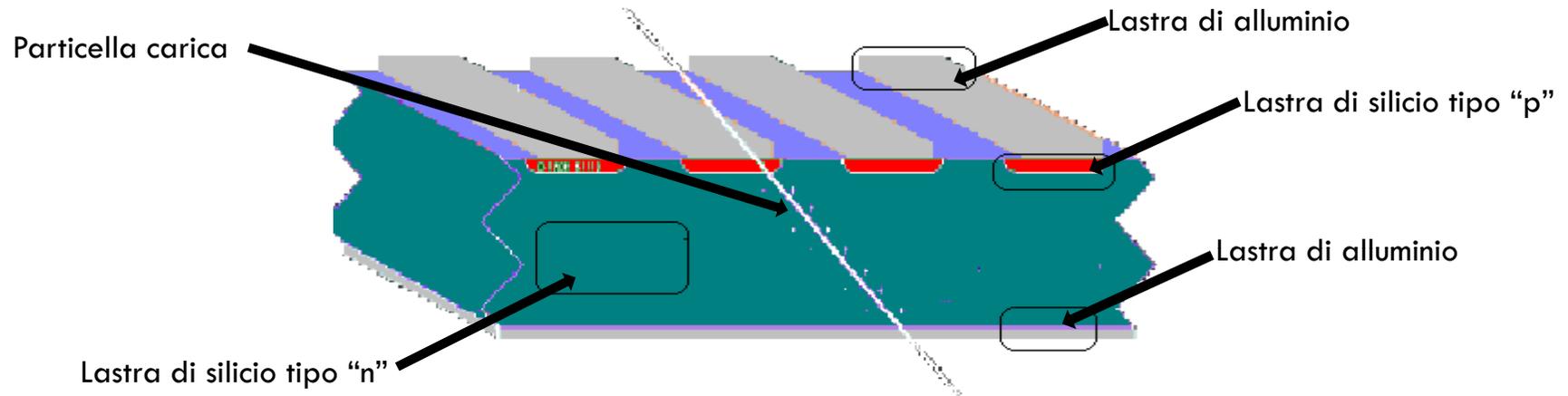


$$\begin{aligned} ct &= 450\mu\text{m} \\ m_B &= 5.28\text{GeV}/c^2 \\ p_T &= 40\text{GeV (per } m_H = 115\text{GeV}/c^2) \\ \text{Boost relativistico} &= 7.6 \\ L &= 3.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Decadimento semileptonico del quark b.

Rivelatori di traccia : rilevatori al silicio

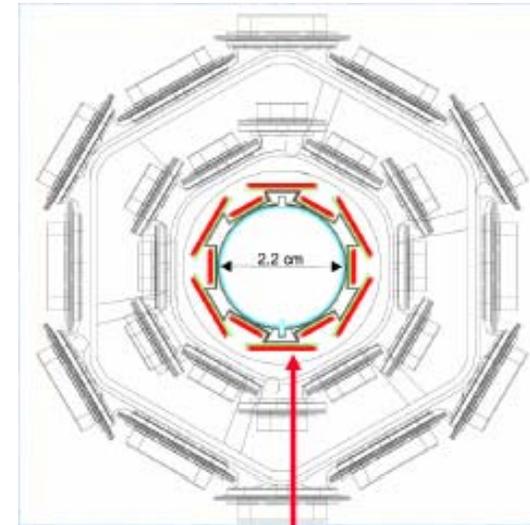
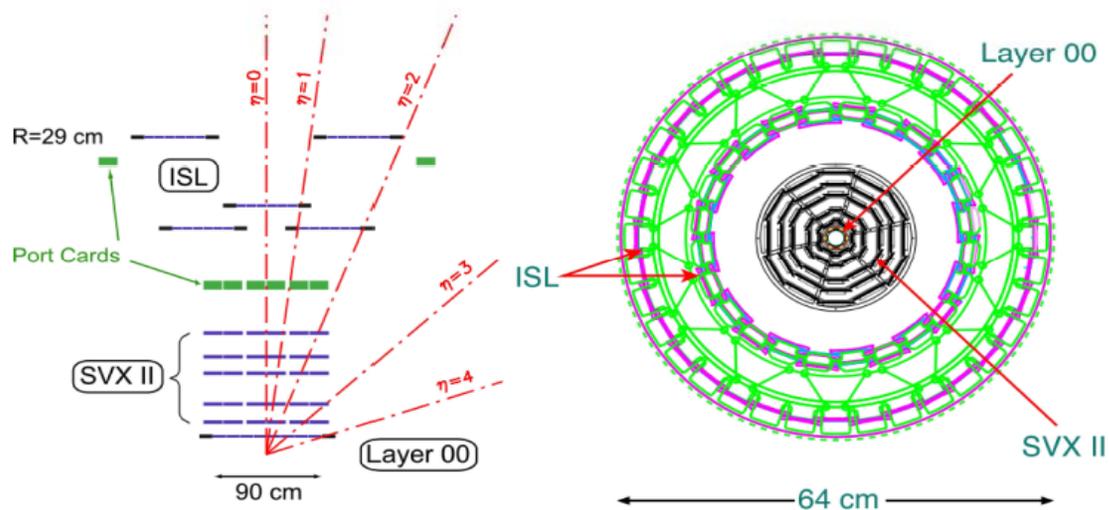
10



- Il silicio, semiconduttore, può essere di tipo "n" (surplus di elettroni) o di tipo "p" (deficit di elettroni);
- Un rivelatore al silicio è costituito da una lastra di tipo "n" su cui sono disposte delle sottili lastre di tipo "p" sovrapposte a sottili lastre di alluminio;
- Tra le due superfici del rivelatore è applicato un campo elettrico : una particella carica che attraversa il rivelatore ionizza gli atomi contenuti nella lastra centrale, e gli elettroni che abbandonano i nuclei creano dei vuoti ;
- Gli elettroni liberi si spostano verso la lastra carica positivamente (superficie inferiore), mentre le lacune si spostano verso la lastra carica negativamente (superficie superiore), inducendo una carica misurabile sulle lastre di alluminio, collegate a dei canali di lettura;
- Guardando quale canale di lettura si è acceso, si determina dove è passata la particella .

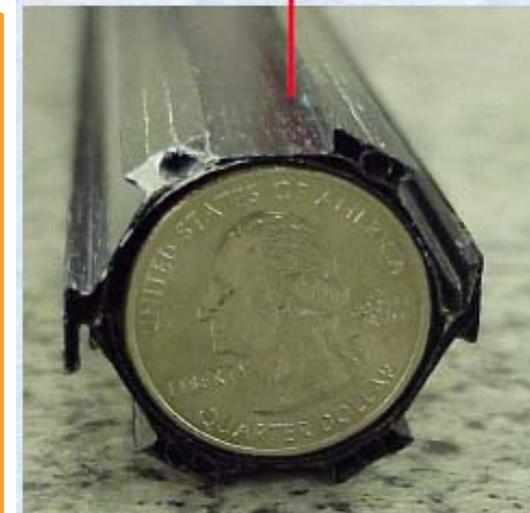
Rivelatore di traccia di CDF

11



CARATTERISTICHE :

- Collezione di rivelatori al silicio disposti secondo una simmetria cilindrica attorno all'asse di interazione dei due fasci ;
- Strutturato in tre sottosistemi disposti a cipolla ;
- Il sottosistema più interno ha $r = 1,1$ cm circa, il più vicino possibile ai vertici primario e secondario di interazione;
- Buona risoluzione ;
- Risposta rapida .



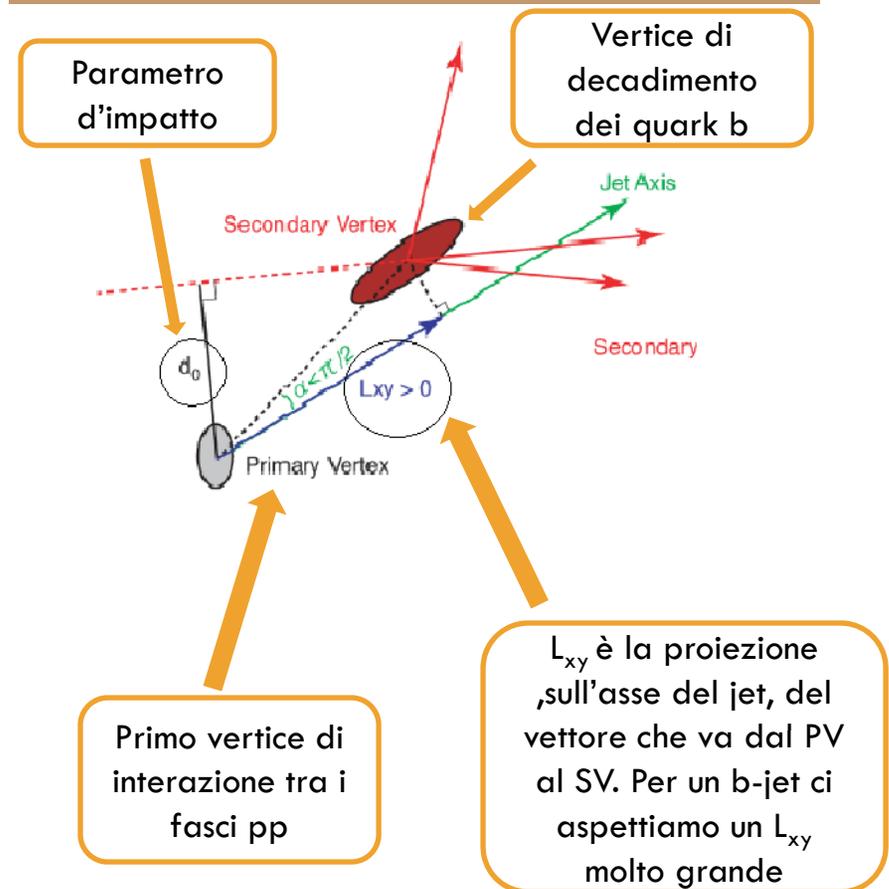
Identificazione dei b-jet : algoritmi di b-tagging

12

Algoritmi di b-tagging

- **Secondary Vertex Tagger Algorithm (SecVtx)** : Analizza le tracce rilasciate, dai jet adronici, nei rivelatori di traccia e ricerca il vertice secondario di decadimento degli adroni pesanti.
- **Jet probability** : assegna ai vari jet una probabilità di provenire dal vertice primario di interazione; stabilendo diversi valori di soglia per le probabilità, è possibile stabilire quali jet siano b-jet;
- **Soft lepton tagger** : ricerca i decadimenti semileptonici degli HF, quindi ricerca un leptone carico di bassa energia all'interno del jet.

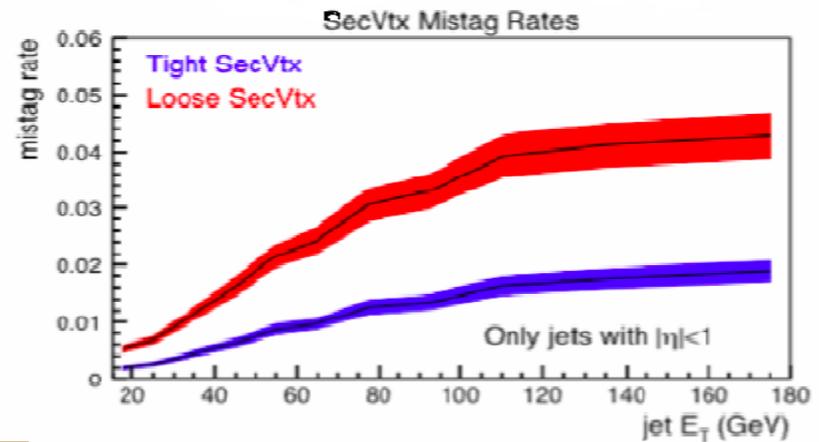
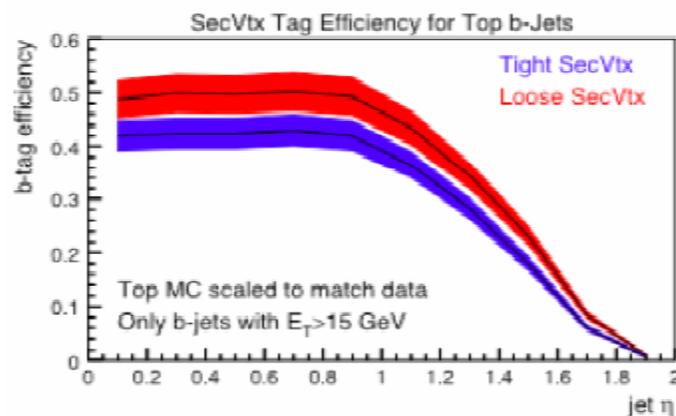
Secondary Vertex Tagger Algorithm



Identificazione dei b-jet : algoritmi di b-tagging

13

Efficienza dell'algoritmo SecVtx e numero di jet mistag



Per migliorare la purezza del segnale (maggiore efficienza) :

NEURAL NETWORK b-TAGGER : Si tratta di un metodo avanzato di analisi multivariata, che combina insieme numerosi parametri tra cui il numero di tracce, il loro impulso trasverso, la massa al vertice, la lunghezza di decadimento etc.. e le riduce a due sole variabili che permettono di distinguere un b-jet dai jet provenienti da LF.

Tecniche di analisi : Metodo dell'elemento di matrice

14

Questo metodo fornisce, per ciascun set di osservabili fisiche, una stima delle probabilità, rispettivamente, che tale set di osservabili sia prodotto da un evento di segnale, e che sia prodotto da un evento di background.

□ 1^a fase : SIMULAZIONE

1. Attraverso le simulazioni MC vengono ricostruite le sezioni d'urto di un dato processo, in funzione dei quadrimpulsi "ideali" delle particelle dello stato finale ;
2. Usando la simulazione del rivelatore CDF vengono ricostruite le **funzioni di trasferimento**, che permettono di trasformare i quadrimpulsi ideali, nei quadrimpulsi reali (rivelatore non ideale).
3. Dai quadrimpulsi "reali" si ricostruisce un set di osservabili fisiche : es. probabilità di b-tagging, E_T mancante etc...

Metodo dell'elemento di matrice

15

□ 2^a fase : COSTRUZIONE DELLE PROBABILITA'

1. Si misura un set di osservabili da un campione di dati rivelati al CDF ;
2. Si risale agli impulsi delle particelle nello stato finale ;
3. Attraverso le funzioni di trasferimento si risale agli impulsi ideali ;
4. Si inseriscono questi impulsi nelle sezioni d'urto MC dei vari processi, così da ricavare la probabilità che un tale set di variabili sia prodotto da un evento di segnale e da un evento di fondo.

$$P(x) = \frac{1}{\sigma} \int 2\pi^4 |M|^2 \frac{f(y_1) f(y_2)}{|E_{q_1}| |E_{q_2}|} W(x, y) d\Phi_4 dE_{q_1} dE_{q_2}$$

Probabilità :

Funz. di distribuzione dei partoni nelle particelle dello stato iniziale.

Funz. di trasferimento

Fattore dello spazio delle fasi

Metodo dell'elemento di matrice : funzione discriminante

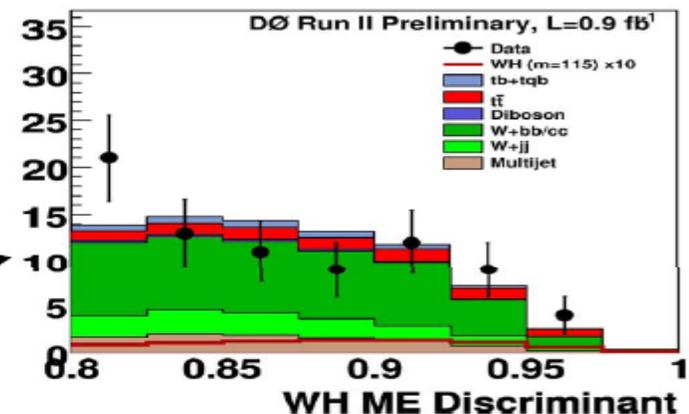
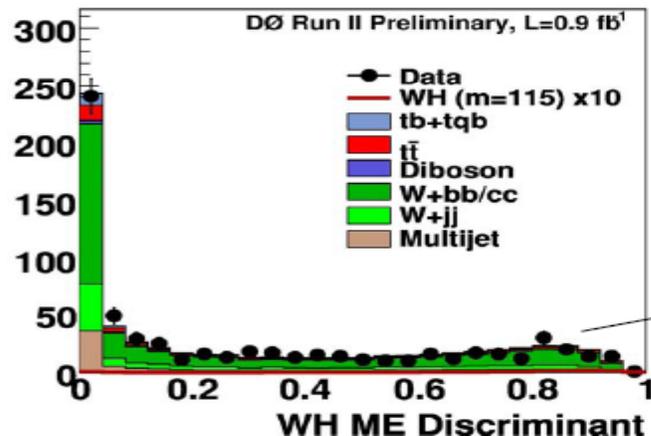
16

□ 3^a fase : SEPARAZIONE SEGNALE/FONDI

1. Si costruisce una funzione discriminante del tipo :

$$EPD = P_s / (P_s + P_b)$$

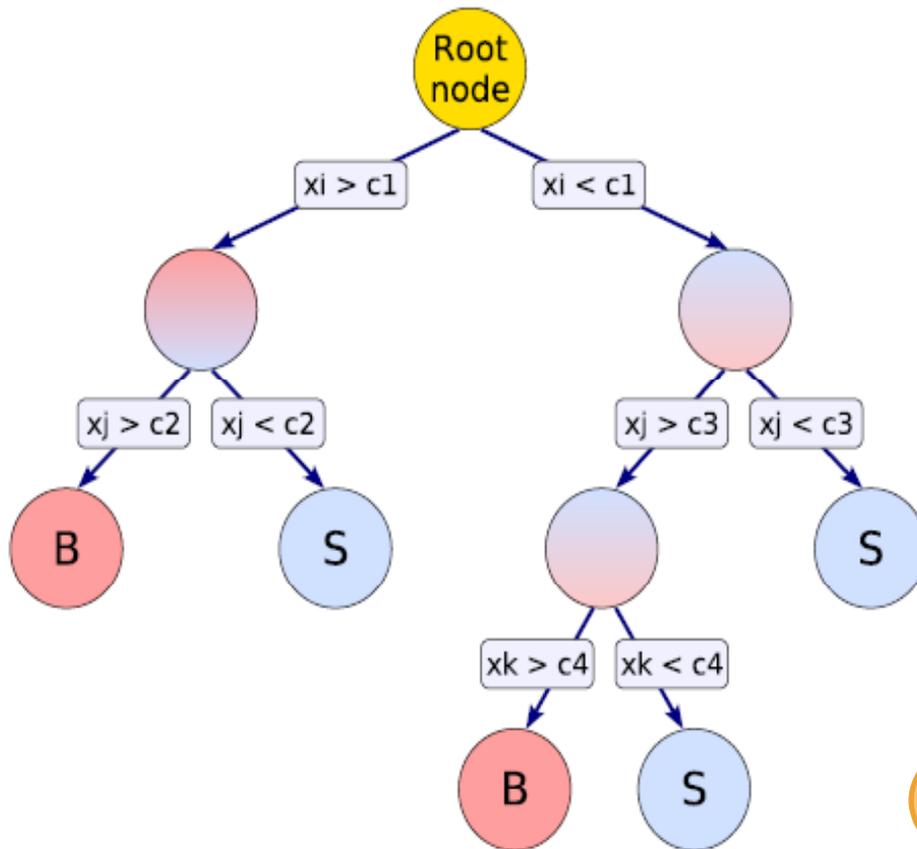
2. I valori delle probabilità stimate, per ciascun set di variabili, sono inseriti nella funzione EPD .



Tecniche di analisi : Boosted Decision Trees (BDT)

17

Alberi di decisione binaria (decision trees) :

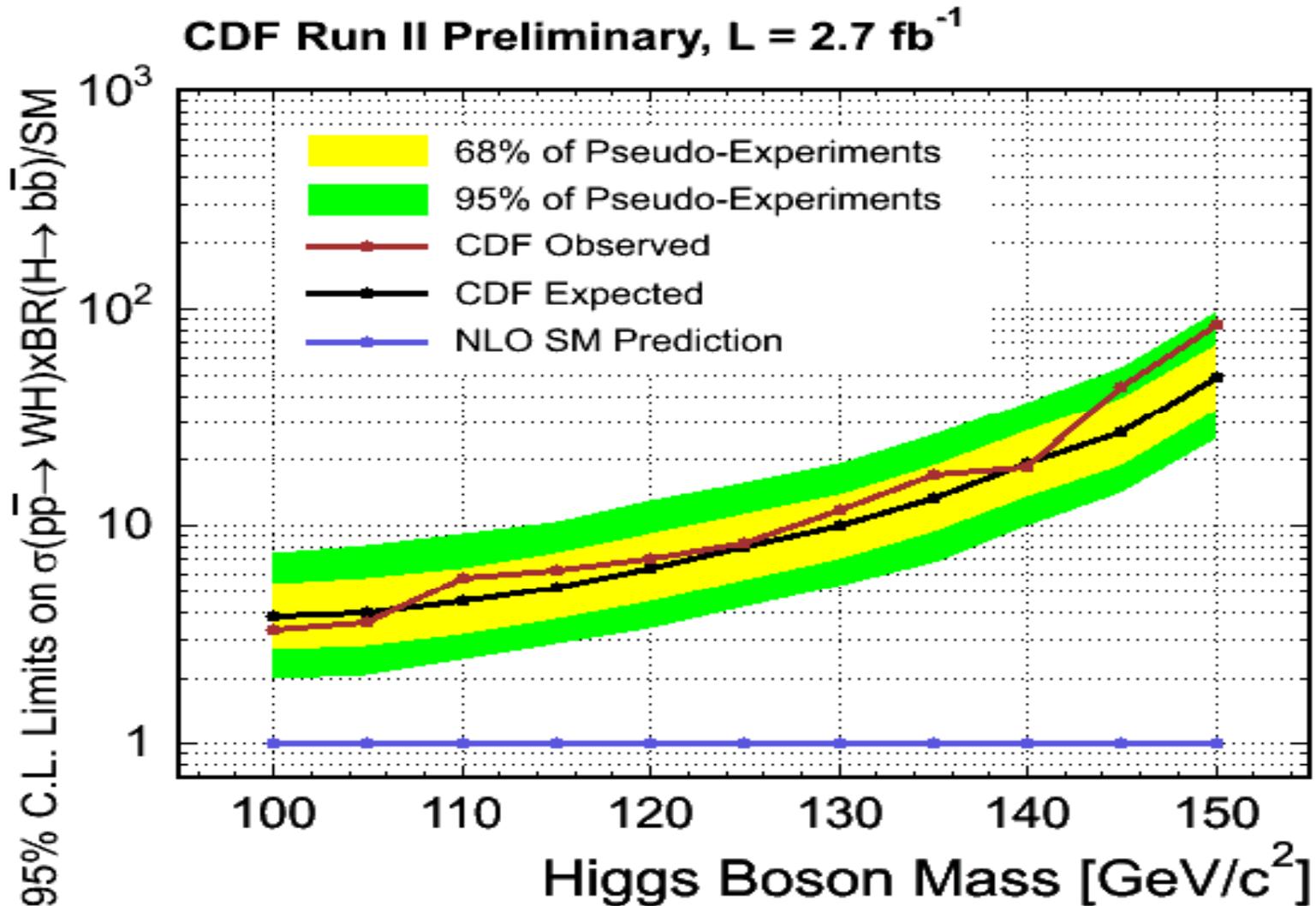


IDEA : Applicazione sequenziale di decisioni di tipo binario. Vengono costruiti utilizzando dati simulati, che sono discriminati sulla base di determinate condizioni sulle variabili cinematiche. La costruzione dell'albero si ferma quando le fluttuazioni statistiche sono più grandi del guadagno che si ha dall'informazione. I nodi terminali sono classificati sulla base del numero di eventi simulati di tipo segnale o background che vi sono "caduti" dentro. Una volta costruito l'albero, sono inseriti al suo interno gli eventi "veri", che vengono classificati.

Combinando numerosi alberi di decisione binaria, si ottiene un BDT

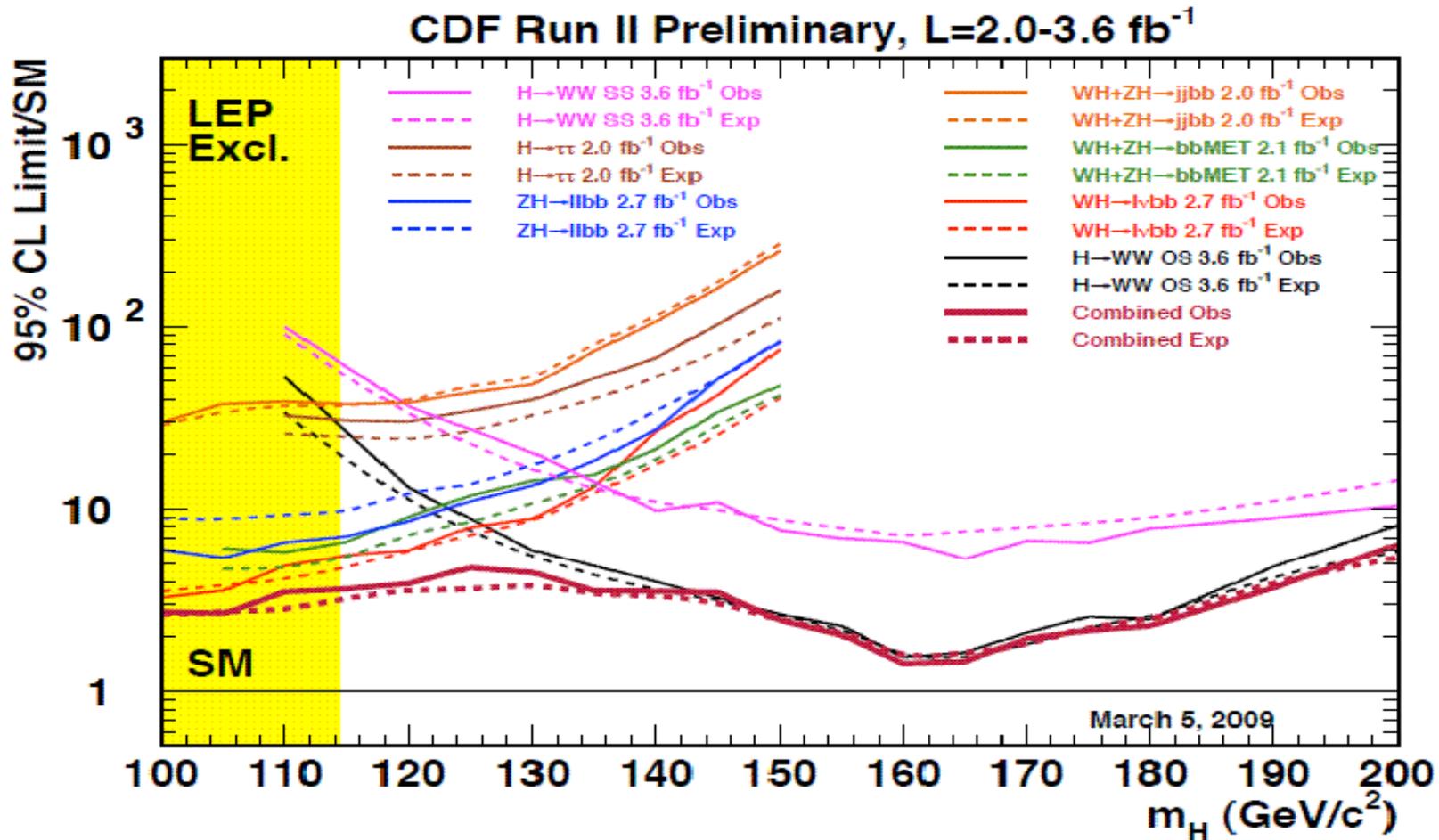
Risultati ottenuti al CDF per un Higgs a bassa massa utilizzando ME+BDT

18



Risultati ottenuti al CDF per un Higgs a bassa ed alta massa

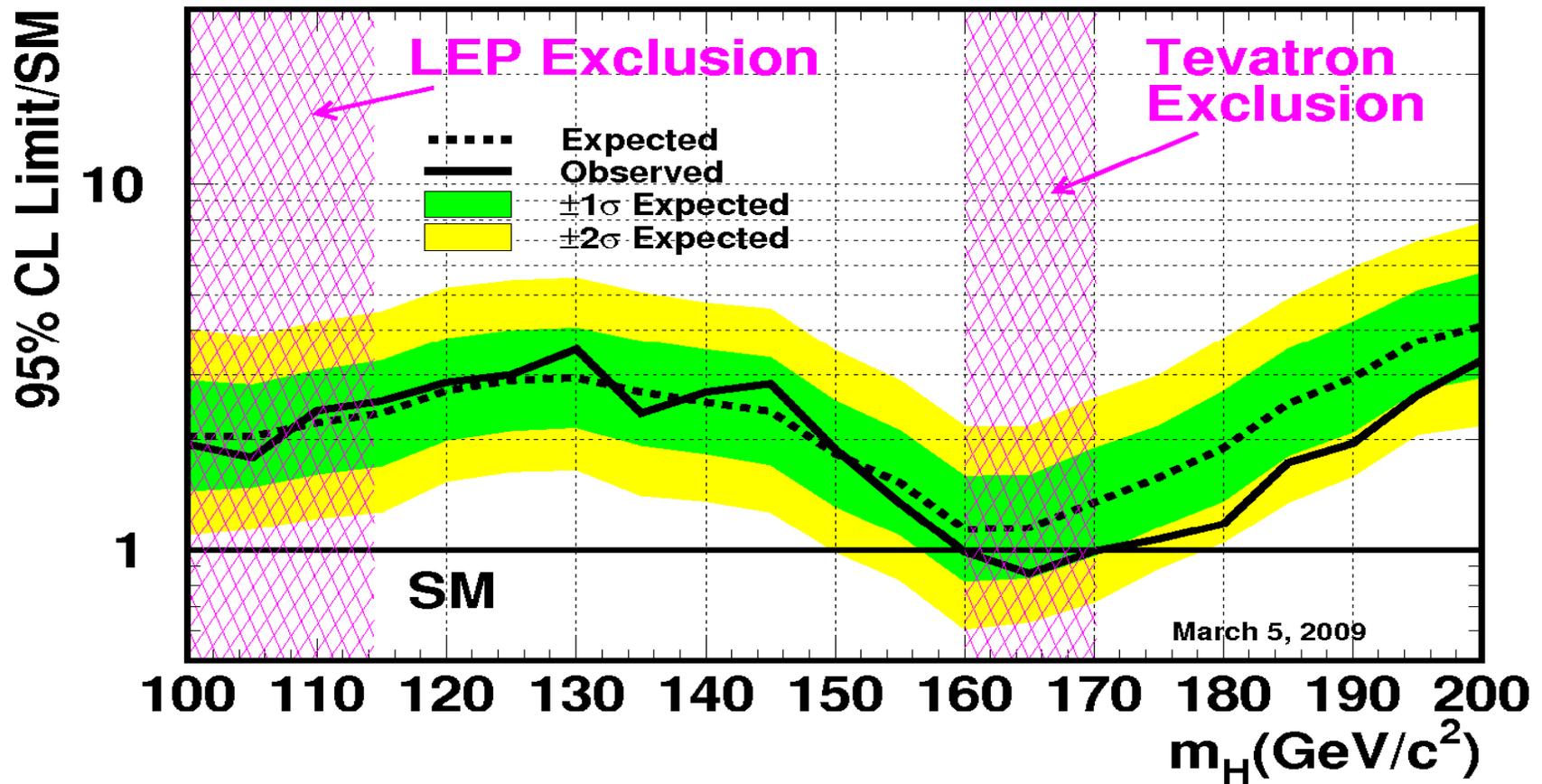
19



Risultati combinati di CDF e DØ al Tevatron

20

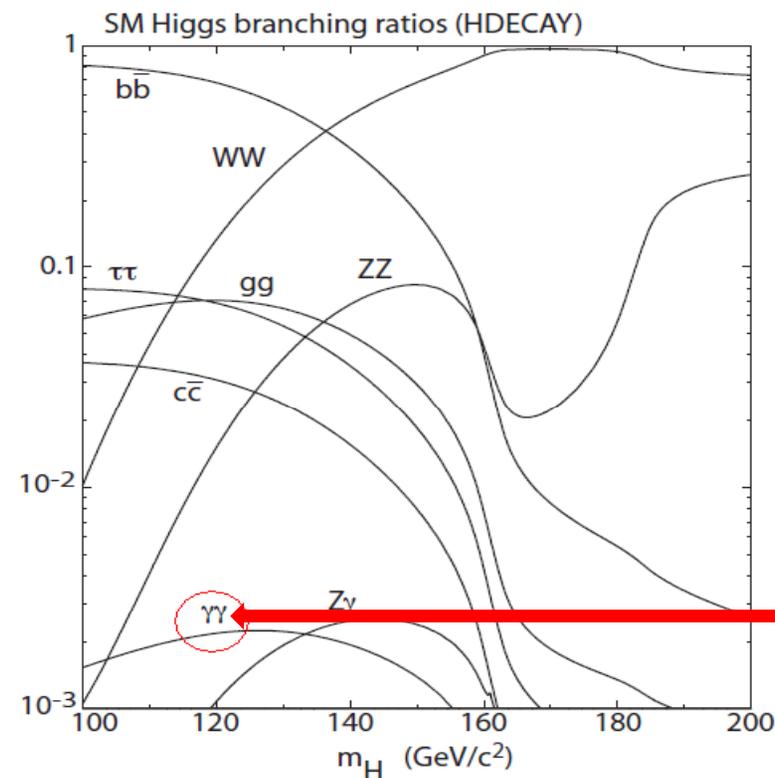
Tevatron Run II Preliminary, $L=0.9-4.2 \text{ fb}^{-1}$



Ricerca del bosone di Higgs a bassa massa a LHC

21

- Ricerca nel range di massa $80\text{GeV} < m_H < 1000\text{GeV}$
- Canali di produzione \longrightarrow gg , WW
- Canali di decadimento \longrightarrow



$H \rightarrow \gamma\gamma$

$H \rightarrow b\bar{b}$

$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$

$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l; H \rightarrow ZZ \rightarrow jj\nu\nu$

$H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj; H \rightarrow ZZ \rightarrow lljj$

NB : Dal momento che
 $N = L \times \epsilon \times B.R. \times \sigma$
allora, poiché a LHC la luminosità è molto più elevata rispetto al Tevatron, è possibile analizzare anche questo canale di decadimento.

Ricerca del bosone di Higgs a LHC nel canale $H \rightarrow \gamma\gamma$

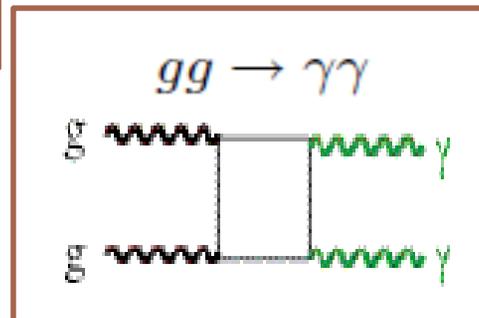
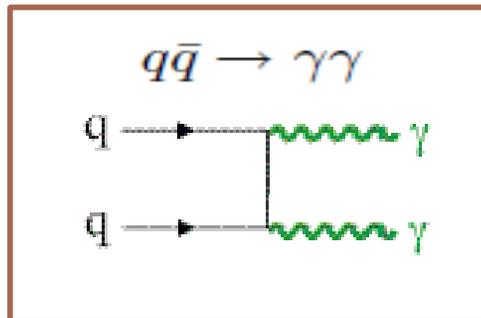
22

□ $100 \text{ GeV}/c^2 < m_H < 150 \text{ GeV}/c^2$

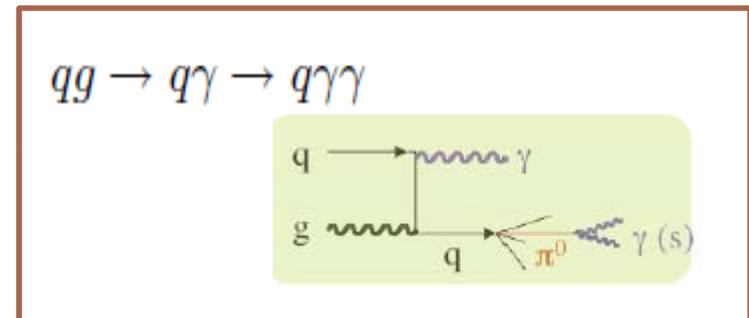
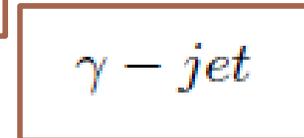
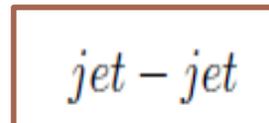
□ **Ricostruzione del segnale**  ci si aspetta di trovare due fotoni isolati di impulso trasverso maggiore di 25 e 40 GeV, in un intervallo di pseudorapidità < 2.4

 necessario un ottimo funzionamento dei calorimetri EM .

Background irriducibile



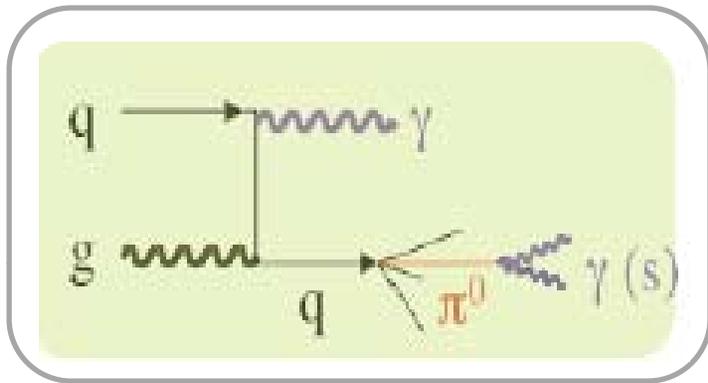
Background riducibile



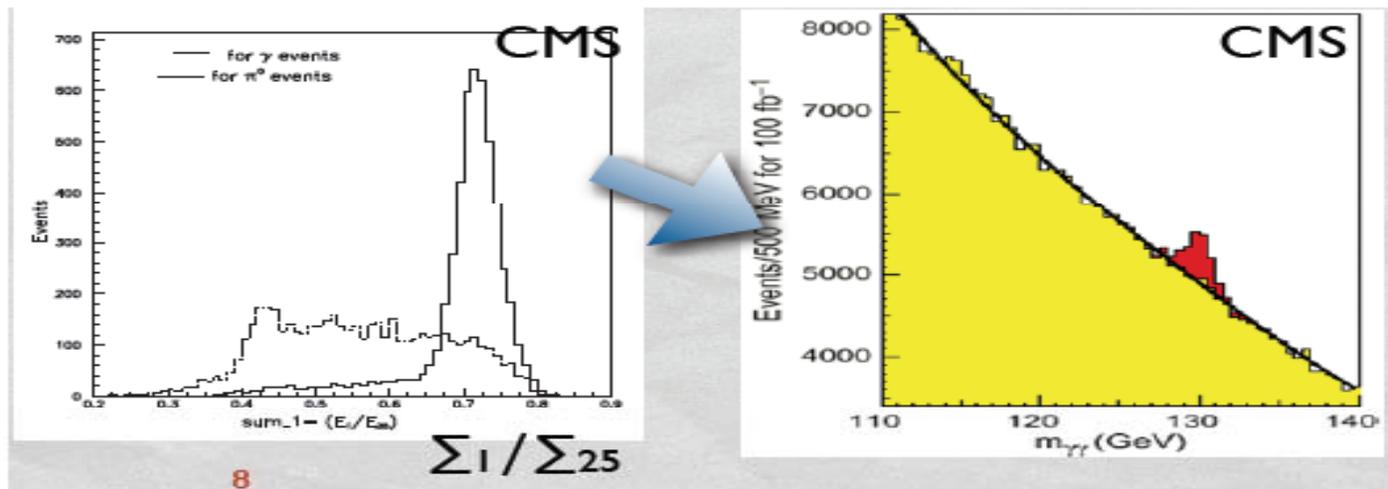
Esempio di background riducibile :

$$\gamma_{jet} \rightarrow \gamma \pi^0 \rightarrow \gamma - \gamma\gamma$$

23



Per distinguere il segnale da questo tipo di fondo sono utilizzate delle tecniche di analisi multivariata, che sfruttano le diverse distribuzioni trasversali/longitudinali di energia, rilasciata nei calorimetri elettromagnetici.



8

$\Sigma 1 / \Sigma 25$

Cosa ci si aspetta di osservare ad ATLAS ?

