

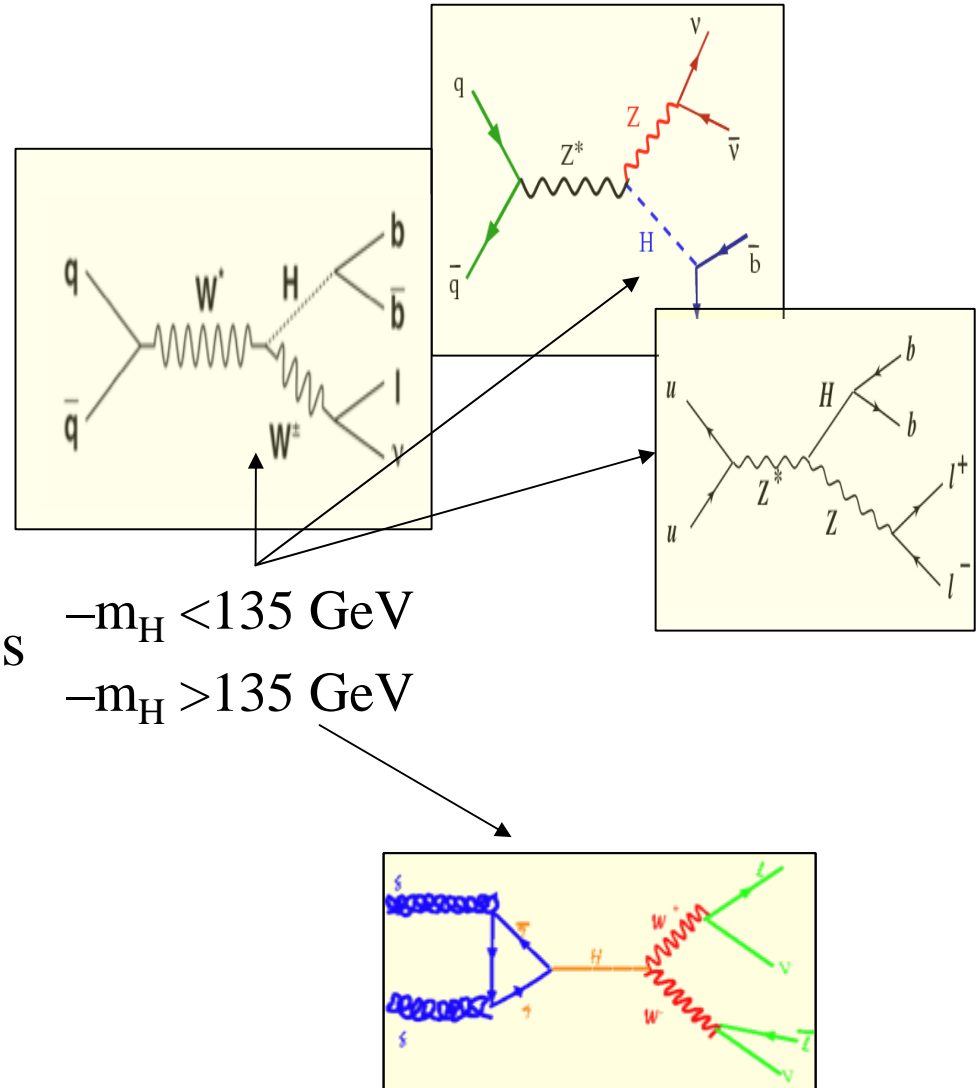


Ricerca del bosone di Higgs al Tevatron

Valerio Santini

Sommario

- Limiti diretti e indiretti
- Produzione e decadimento
- Reiezione dei fondi
 - B tagging
 - Reti neurali
 - Risoluzione in energia
- Ricerca del bosone di Higgs
 - $m_H < 135 \text{ GeV}$
 - $m_H > 135 \text{ GeV}$
- Combinazione CDF – D0
- Dove e come migliorare



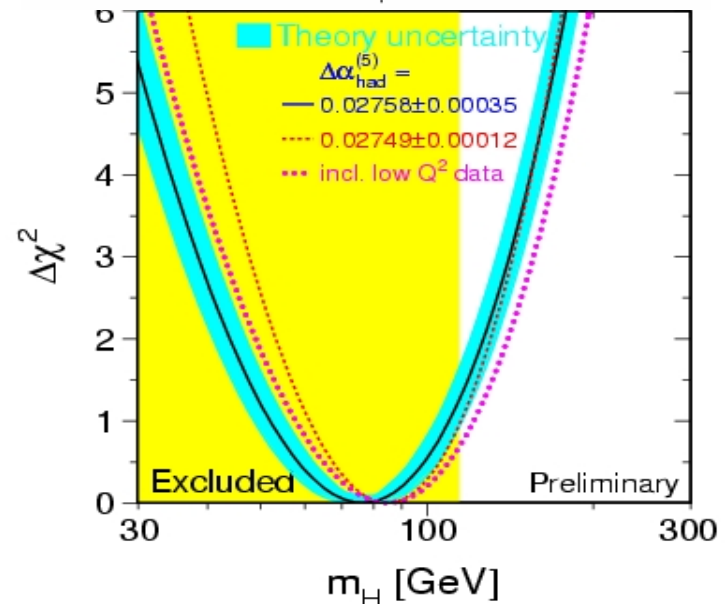
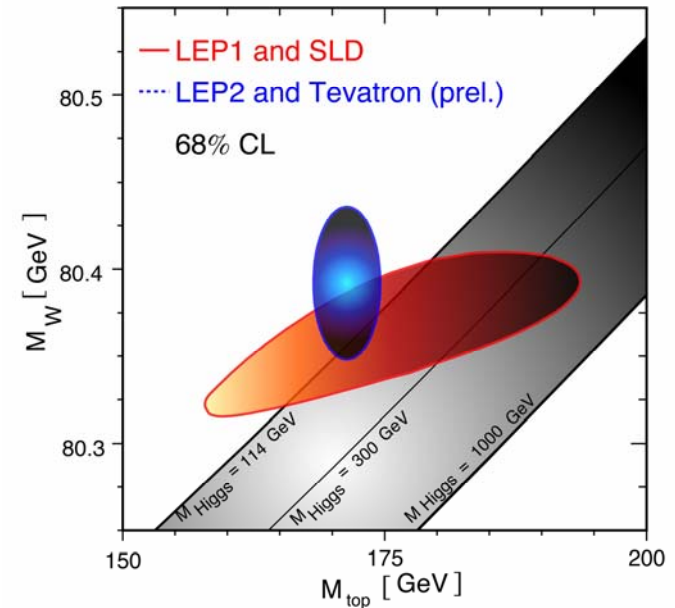
Limiti diretti e indiretti

–Limite diretto da LEP2:

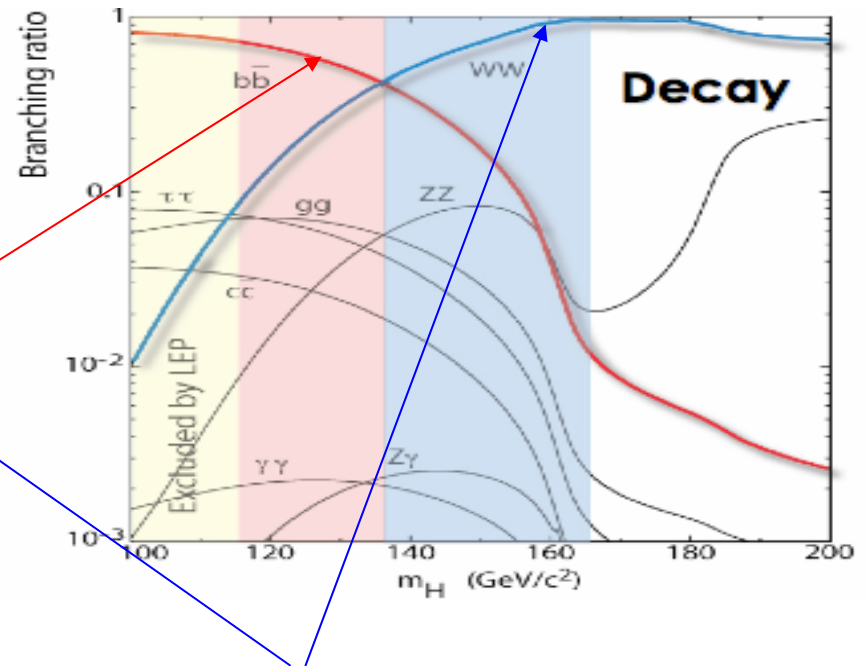
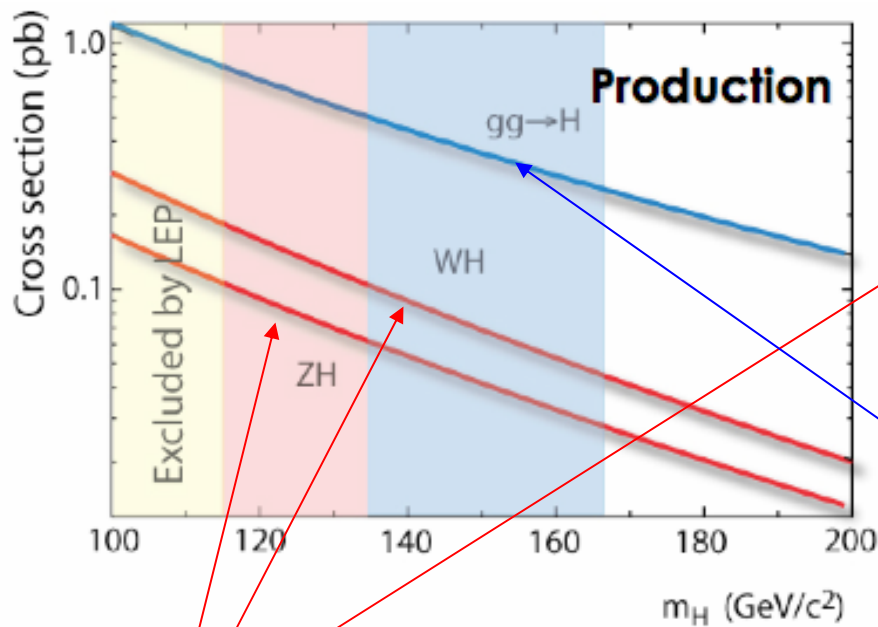
- $m_H > 114.4 \text{ GeV}$ @95%CL

–Misure indirette dal fit dei dati EW usando i nuovi valori per $M_{\text{top}} = 170.9 \pm 1.8 \text{ GeV}$ e $M_W = 80.398 \pm 0.025 \text{ GeV}$

- $m_H = 76^{+33}_{-24} \text{ GeV}$
- $m_H < 144 \text{ GeV}$ @ 95%CL



Produzione e decadimento



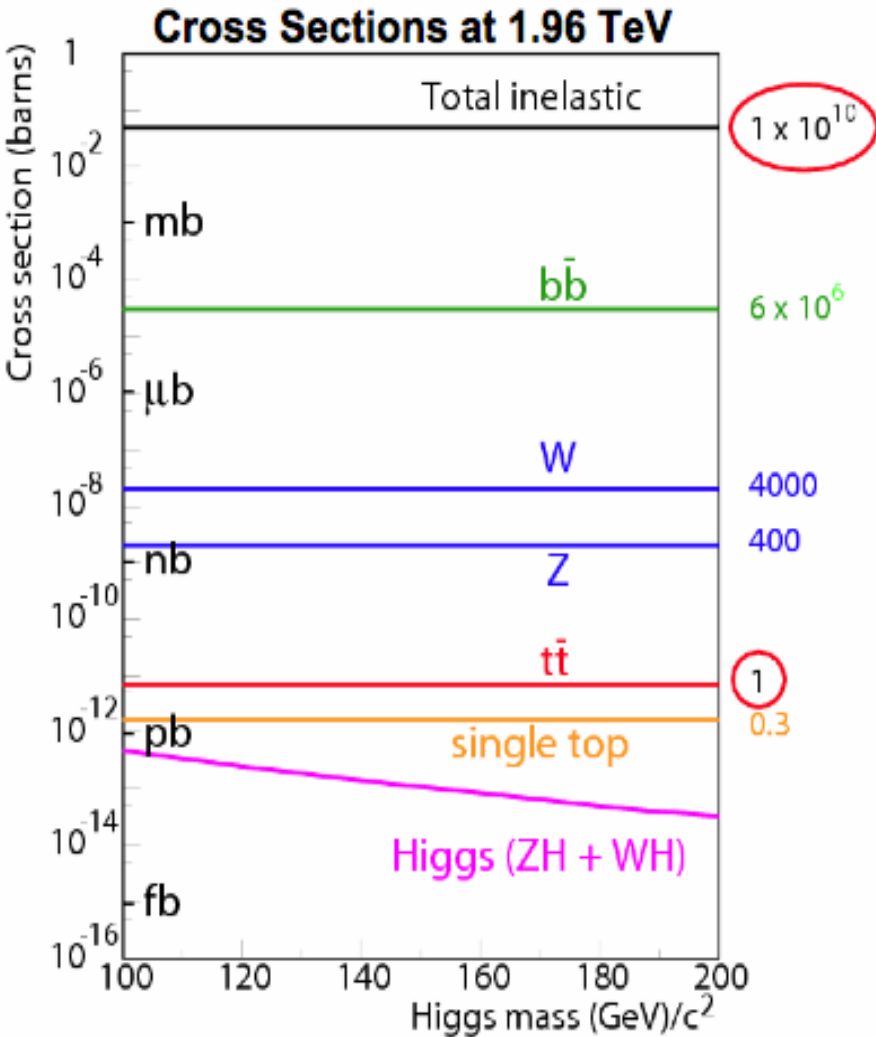
$M_H < 135$ GeV:

- produzione associata WH e ZH
- decadimento $H \rightarrow bb$

$M_H > 135$ GeV:

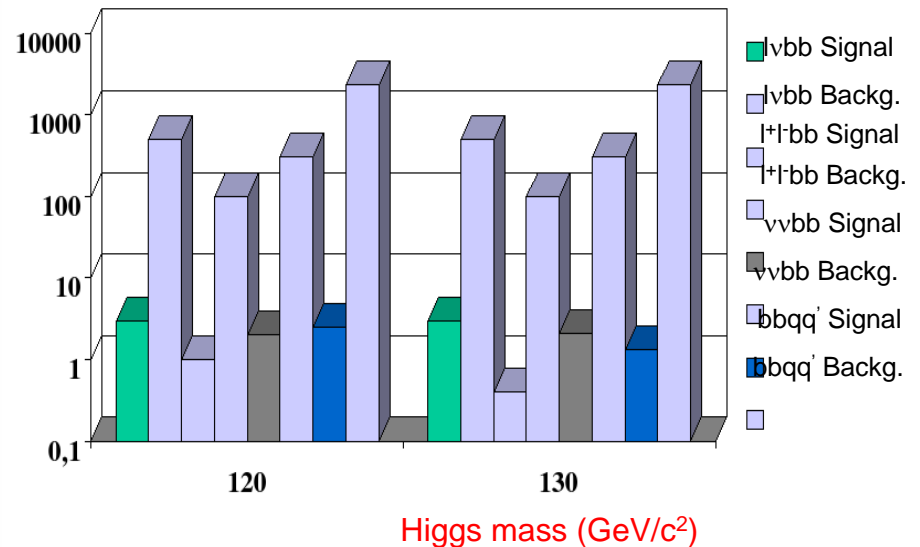
- produzione diretta $gg \rightarrow H$
- decadimento in WW^*

Fondi



La produzione diretta $gg \rightarrow H$ non può essere utilizzata a bassa massa perché il fondo è troppo elevato

Signal and background events in 1 fb^{-1}



Fondi

Tipici eventi in 1 fb^{-1}	ZH \star llbb	ZH \star $\blacksquare\blacksquare$ bb	WH \star l \blacksquare bb	H \star WW \star l \blacksquare l \blacksquare
Segnali prodotti	5	15	30	20
Segnali accettati	1	2	3	4
Background	100	300	500	300

Trovare (o escluderne la presenza) il bosone di Higgs al Tevatron **è possibile** se si riesce a:

- Massimizzare l'accettazione del segnale per ogni canale
- Ridurre il più possibile il background
- Accumulare una statistica sufficiente ($4\text{-}8 \text{ fb}^{-1}$ di luminosità integrata)

Tecnica del B-Tagging

Questo algoritmo sfrutta la lunga vita media del b e la grande massa per distinguere i jets prodotti da b-quark a quelli prodotti da quark leggeri.

b-quark: vertici secondari ✱ tracce con grande parametro di impatto

light-quark: tracce provenienti dal vertice primario ✱ parametro di impatto (entro la risoluzione) compatibile con zero

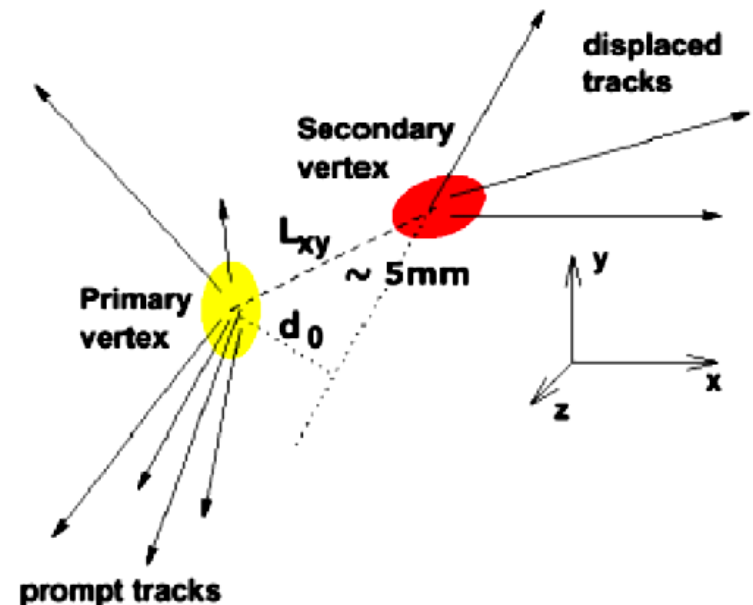
Tipici algoritmi usati in CDF/D0:

- ricerca diretta vertici secondari

- 40-50% efficient (tight, loose)
- 0.5-1% fake rate from light jets

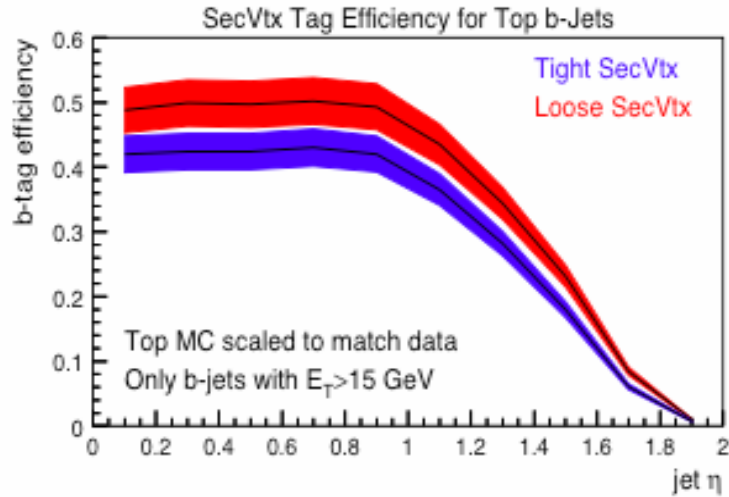
-utilizzo di reti neurali:

- Migliorano l'efficienza sui jet da b a parità di background
- Permettono un tagging continuo ✱ uso più efficiente delle informazioni, possibilità di misurare le frazioni di b/c/light quarks nei campioni

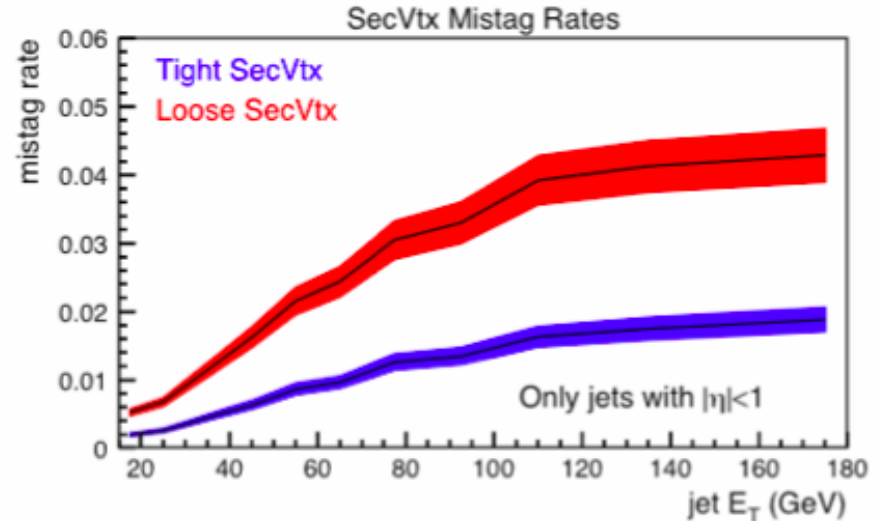


Tecnica del B-Tagging

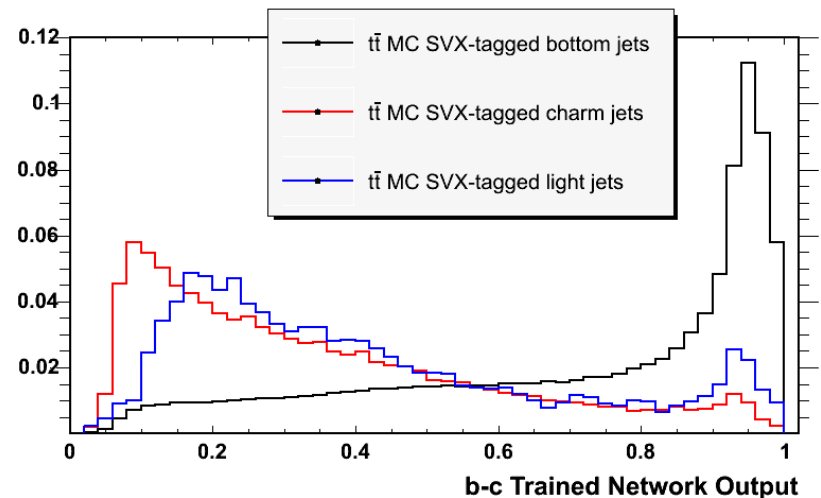
B-Tag Efficiency (Positive Tag)



Light quark mistag rate (Negative Tag)

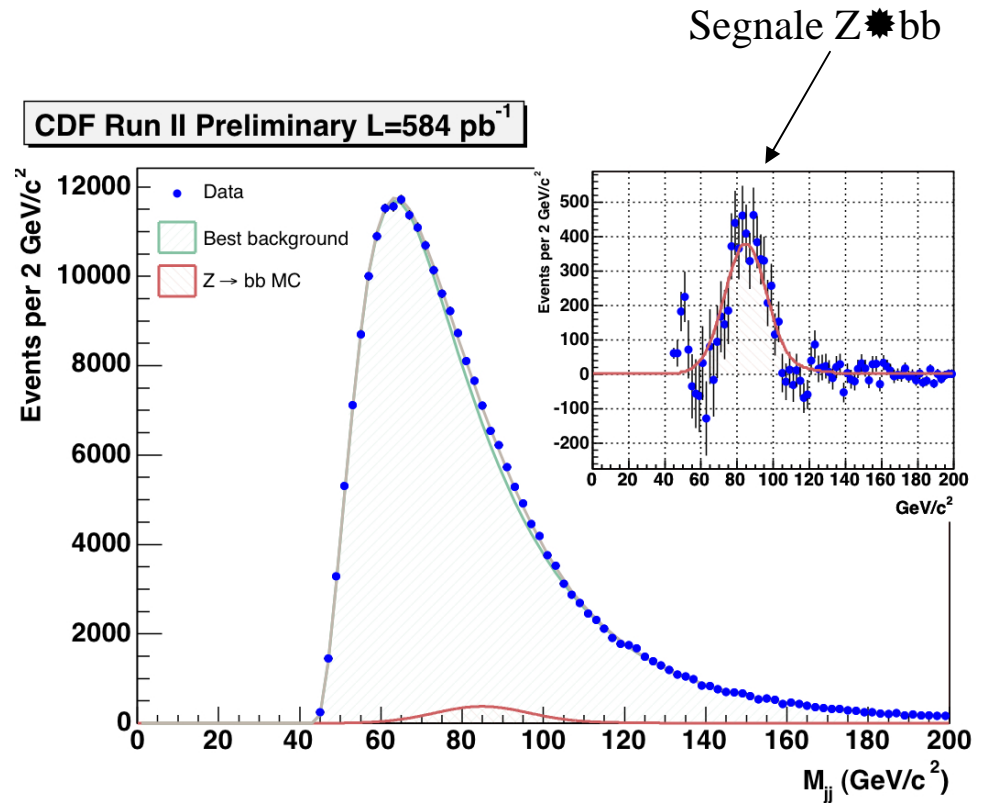


Possiamo migliorare la purezza del segnale utilizzando le **reti neurali**. Queste usano molti parametri tra cui: il numero di tracce, il loro impulso trasverso, la massa al vertice, la lunghezza di decadimento...



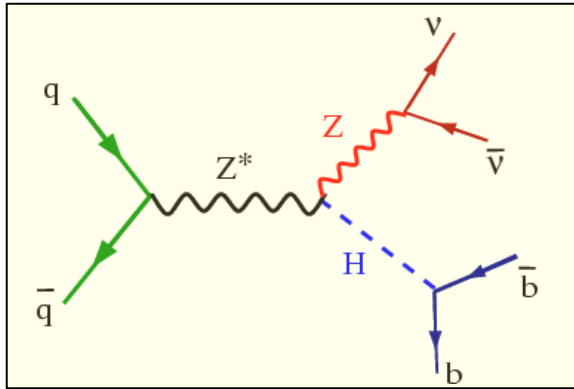
Risoluzione in energia

- Avere una buona risoluzione in energia significa che un eventuale segnale dovuto al bosone di Higgs risulta essere più piccato e quindi più semplice da estrarre dal fondo
- Una buona risoluzione energetica e' anche importante per ottimizzare la risoluzione sulla energia trasversa mancante: importante per separare segnale da fondo
- $Z \rightarrow bb$: campione utile per calibrare la risposta in energia



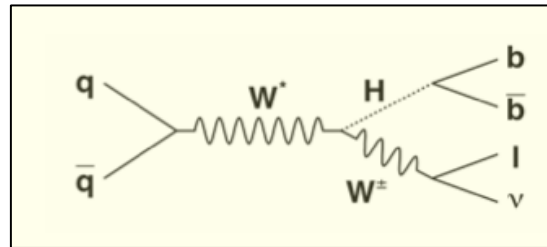
Ricerca Higgs per masse: $m_H < 135 \text{ GeV}/c^2$

$ZH \Rightarrow \nu \nu bb$



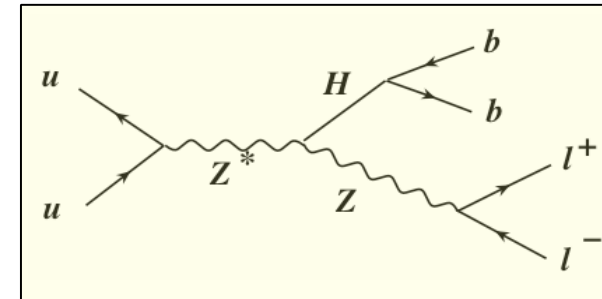
2 b jets $\sim 1/2 M_H$ each
 0 leptons
 Missing $E_T \sim 100 \text{ GeV}$

$WH \Rightarrow l\nu bb$



2 b jets $\sim 1/2 M_H$ each
 1 lepton $\sim 50 \text{ GeV}$ each
 Missing $E_T \sim 50 \text{ GeV}$
Highest production X-sec

$ZH \Rightarrow l+l- bb$



2 b jets $\sim 1/2 M_H$ each
 2 leptons $\sim 50 \text{ GeV}$ each
 Z mass constraint
Cleanest signal

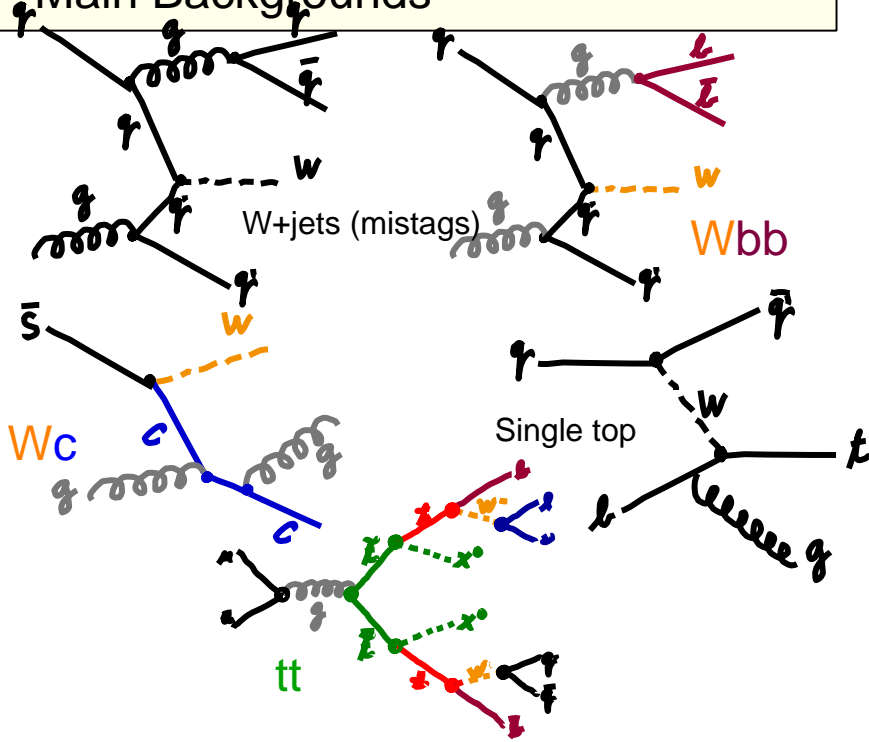
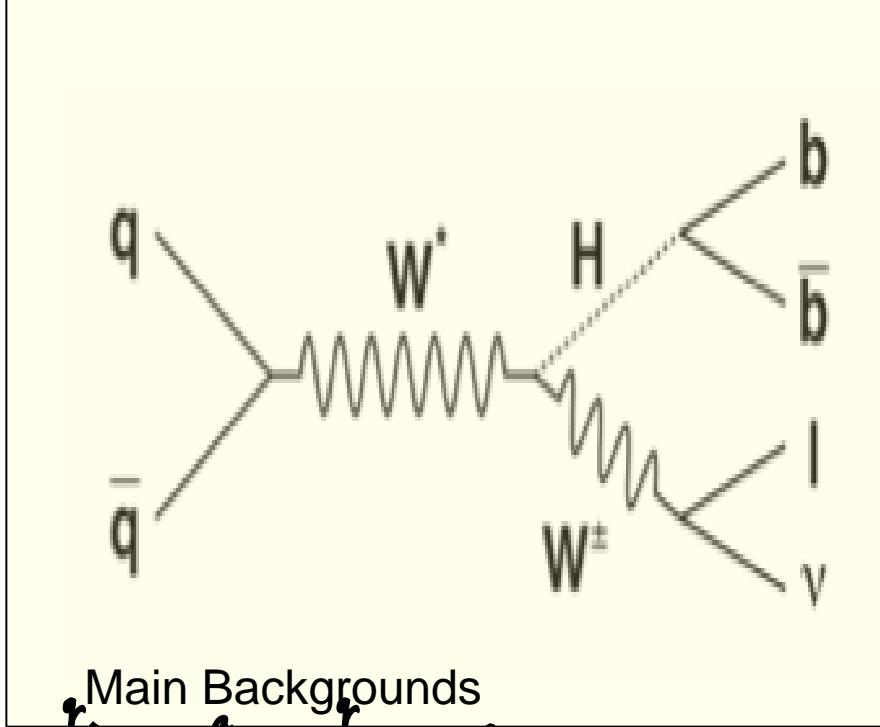
1 ■ bb

Caratteristiche:

- Un leptone con grande p_T
- Energia trasversa mancante
- Due jets con grande energia trasversa
- Uno o due b-tagged jets

Backgrounds

- W+jets (tagged light jet)
- W+bb/cc
- Single top and tt
- Others Dibosons, QCD..



Analisi basata sui “tagli”

- Richieste CDF

- Leptone isolato e/μ con $P_T > 20$ GeV

- Alta energia mancante $E_T > 20$ GeV

- Due jets

- Requisiti di “tagging”

- 1 b-tagged jet

- Vengono usate anche le reti neurali per ridurre i jet c e quelli leggeri

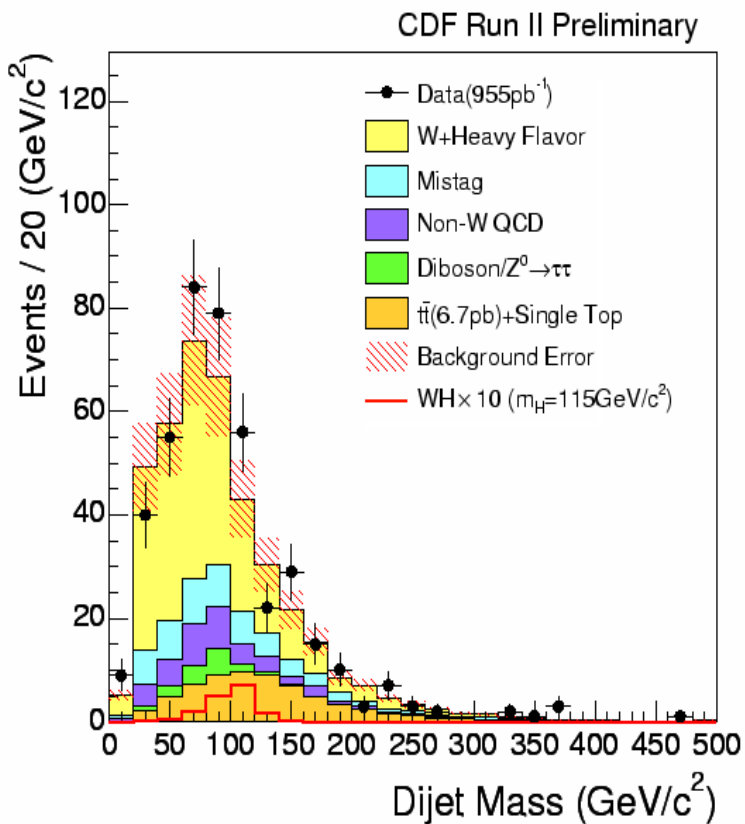
- 2 b tagged jets

- Nessuna richiesta dalle reti neurali

- Usare la massa invariante m_{bb} per estrarre i limiti di sezione d’urto

Analisi basata sui “tagli”

Single b-tagged w/NN

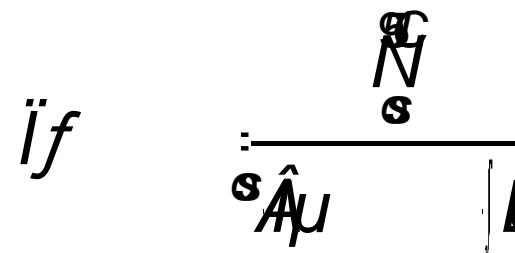
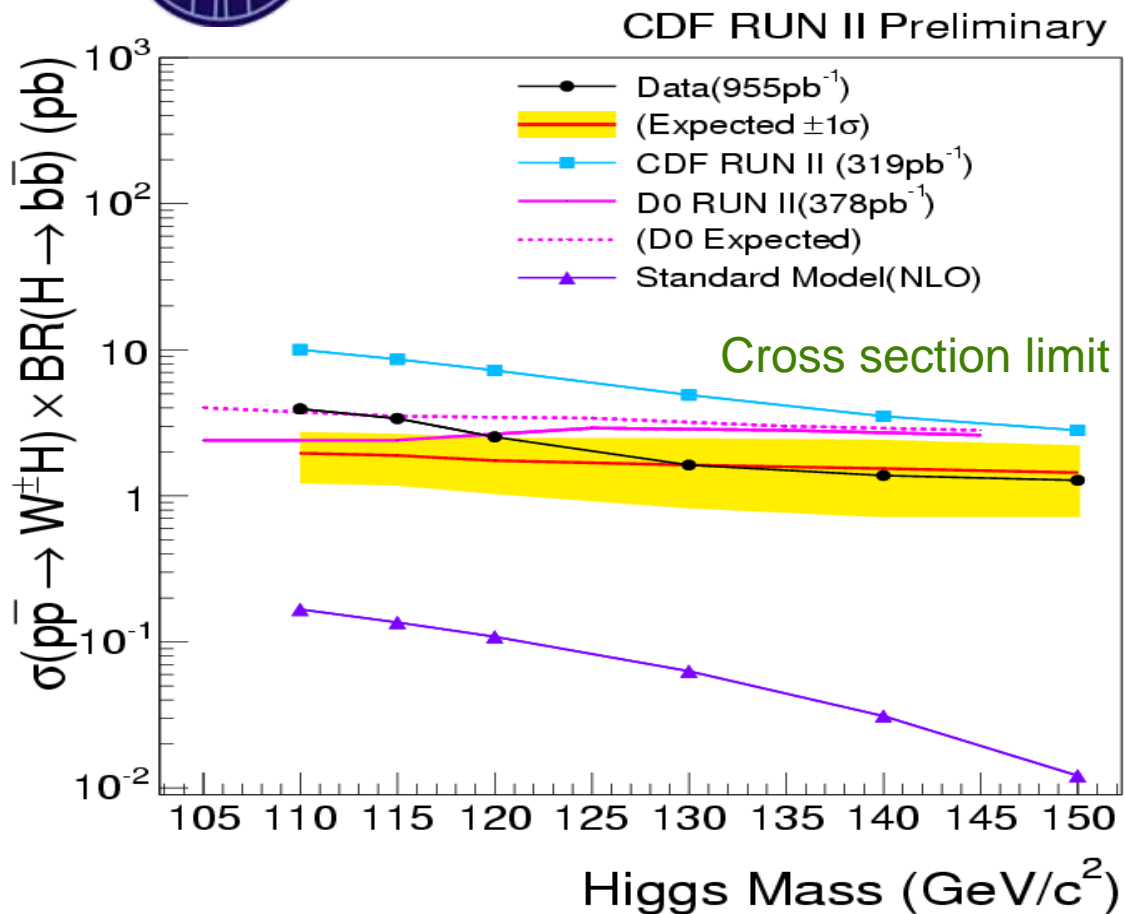


Jet Multiplicity	1jet	2jet	3jet	$\geq 4\text{jet}$
Observed Events(Before b -tagging)	94051	14604	2362	646
Mistag	139.7 ± 27.3	53.9 ± 10.7	15.7 ± 3.1	4.2 ± 0.8
$Wb\bar{b}$	306.9 ± 106.9	144.7 ± 49.4	30.0 ± 9.7	6.4 ± 2.5
$Wc\bar{c}$	63.1 ± 22.0	43.0 ± 14.7	8.7 ± 2.8	1.9 ± 0.8
Wc	185.7 ± 47.2	34.4 ± 9.0	3.4 ± 0.9	0.6 ± 0.2
$t\bar{t}$ (6.7pb)	6.9 ± 1.2	42.0 ± 6.6	84.9 ± 12.8	98.6 ± 14.3
Single Top	16.7 ± 1.8	23.5 ± 2.4	4.8 ± 0.5	0.8 ± 0.1
Diboson/ $Z^0 \rightarrow \tau\tau$	11.7 ± 2.2	14.2 ± 2.3	3.9 ± 0.9	1.0 ± 0.3
non-W QCD	84.2 ± 14.1	38.9 ± 6.2	12.1 ± 2.3	5.5 ± 1.2
Total Background	814.8 ± 140.7	394.4 ± 66.6	163.4 ± 18.7	118.9 ± 14.9
Observed Events(=1tag w/ NNtag)	856	421	177	139

Jet Multiplicity	2jet	3jet	$\geq 4\text{jet}$
Observed Events(Before b -tagging)	14604	2362	646
Mistag	3.5 ± 0.5	2.0 ± 0.3	1.2 ± 0.2
$Wb\bar{b}$	20.3 ± 7.0	5.7 ± 1.8	1.0 ± 0.4
$Wc\bar{c}$	3.3 ± 1.1	0.4 ± 0.1	0.1 ± 0.04
Wc	-	-	-
$t\bar{t}$ (6.7pb)	10.4 ± 2.3	29.5 ± 6.4	45.5 ± 9.9
Single Top	4.2 ± 0.7	1.4 ± 0.2	0.3 ± 0.1
Diboson/ $Z^0 \rightarrow \tau\tau$	1.2 ± 0.3	0.3 ± 0.1	0.1 ± 0.1
non-W QCD	1.4 ± 0.3	0.9 ± 0.2	0.3 ± 0.1
Total Background	44.2 ± 8.5	40.1 ± 6.8	48.6 ± 10.0
Observed Events($\geq 2\text{tag}$)	39	44	65



Analisi basata sui “tagli”: risultati



Risultati CDF :

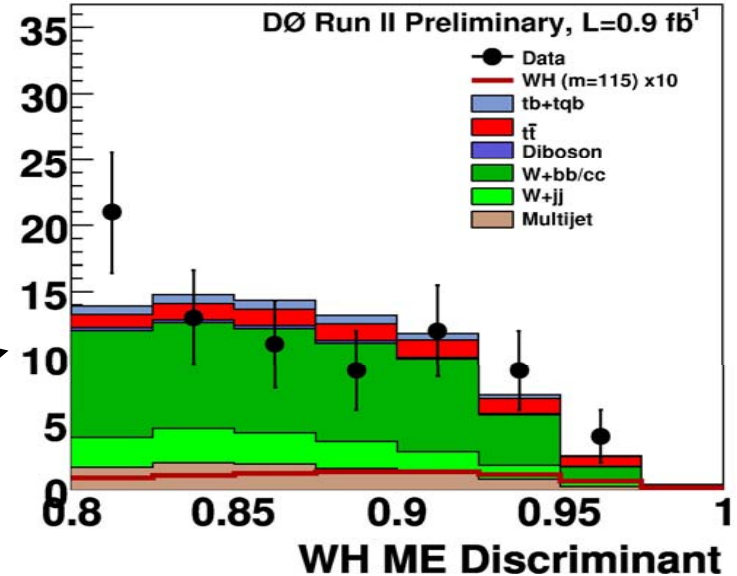
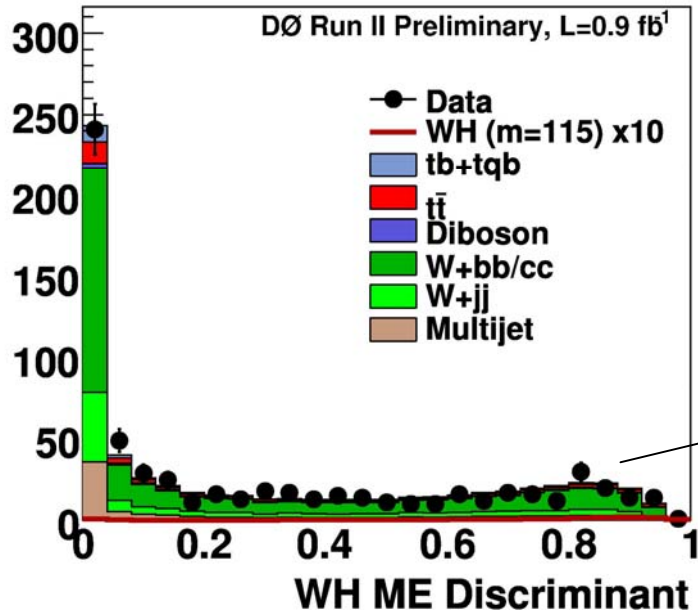
Expect 95% C.L limit ($m_H = 115$ GeV)

< 2.2 pb (< 17 volte sopra SM)

Limiti osservati:

< 3.4 pb (< 26 volte sopra SM)

Analisi con il metodo dell'elemento di matrice

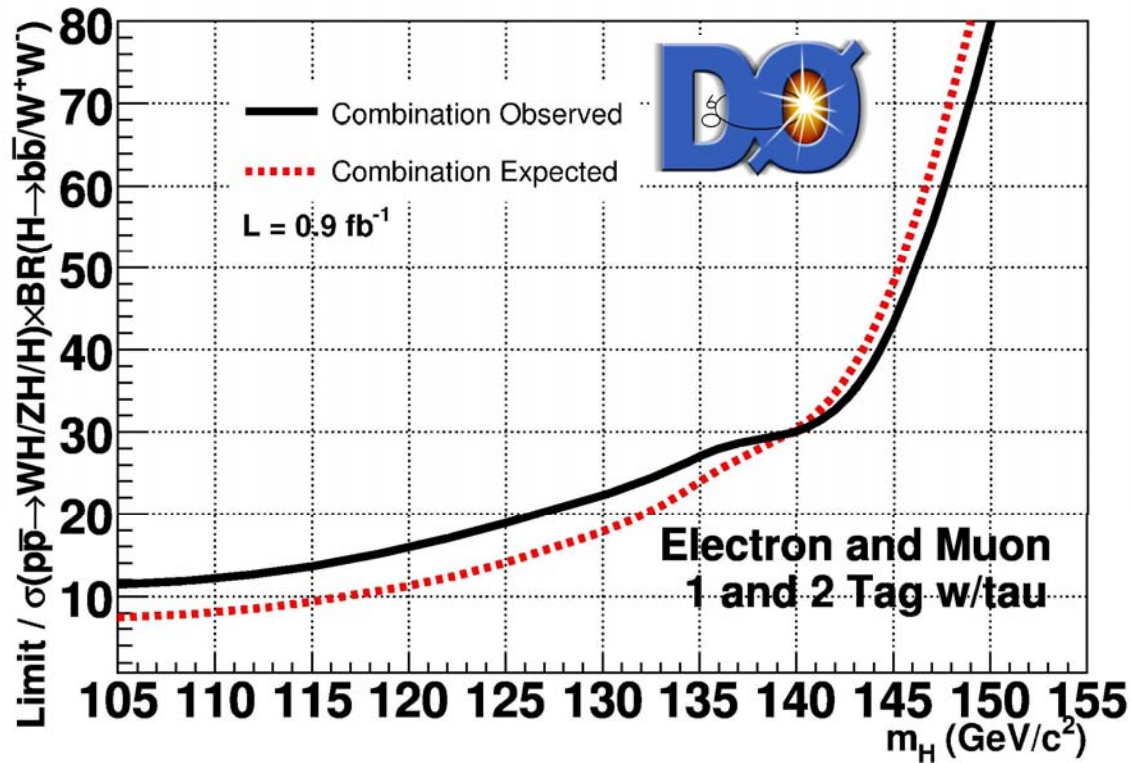


discriminante

$$\frac{P_{Higgs}(M_H)}{P_{Higgs}(M_H) + \sum_i f_{bkg,i} P_{bkg,i}}$$

- Queste probabilità sono calcolate attraverso simulazioni Monte Carlo
- I coefficienti f_i dipendono dalla massa dell'Higgs. Per il top e i dibosoni sono fissati ai loro valori aspettati, gli altri sono così vincolati

Analisi con il metodo dell'elemento di matrice: risultati



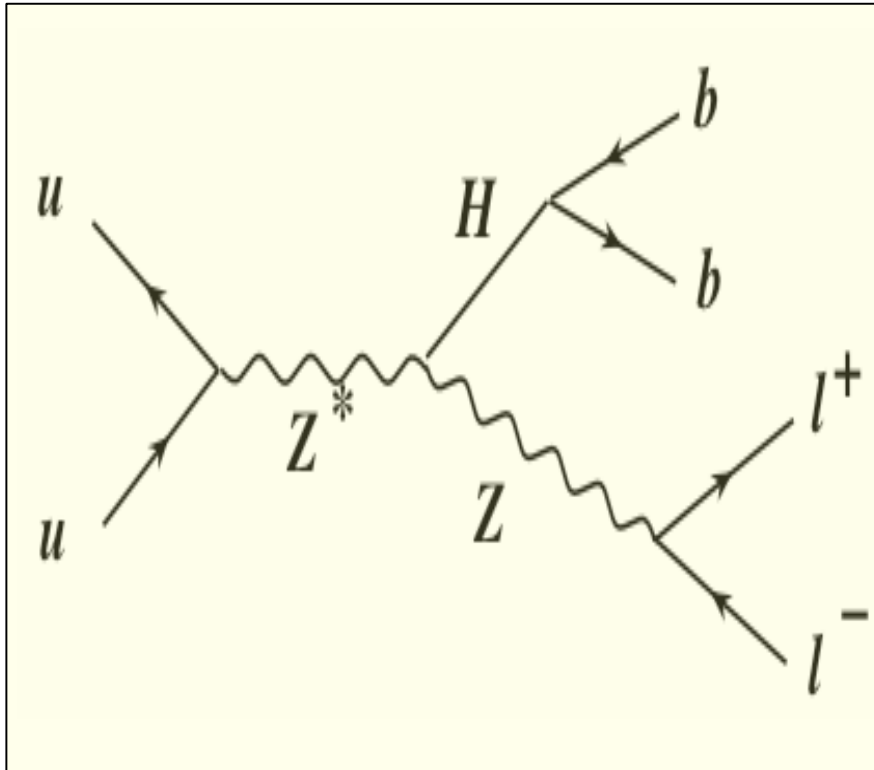
Expected 95 % C.L. upper limit

< 1.2 pb (9 times over SM)

Observed limit

< 1.7 pb (12 times over SM)

ZH \rightarrow l^+l^-bb



Caratteristiche:

- Due leptoni isolati con grande p_T
- Due jets con grande energia trasversa
- Uno o due b-tagged jets

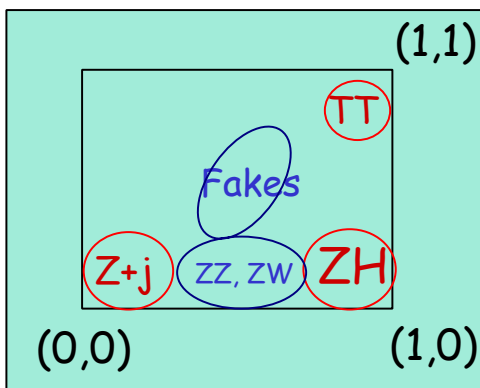
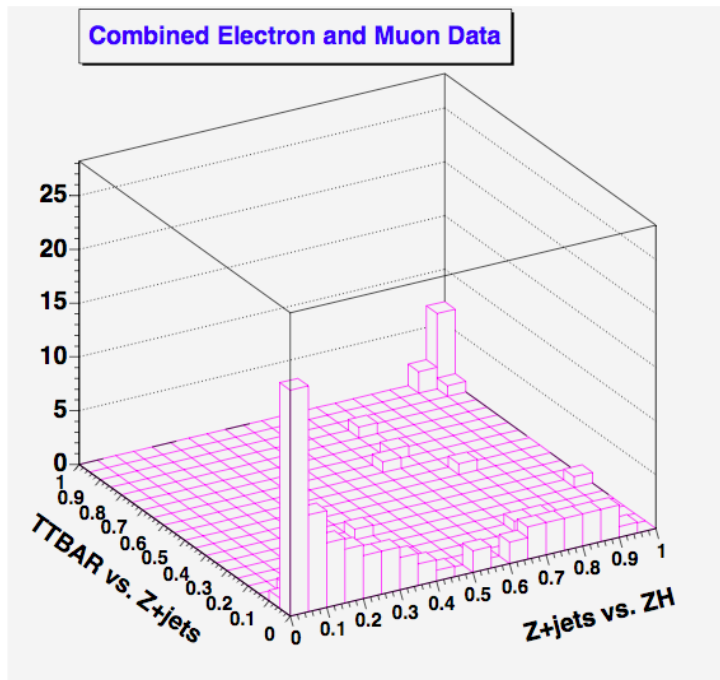
Backgrounds

- Z+jets (tagged light jet)
- Z+bb/Z+cc
- Top
- Others Dibosons, QCD..

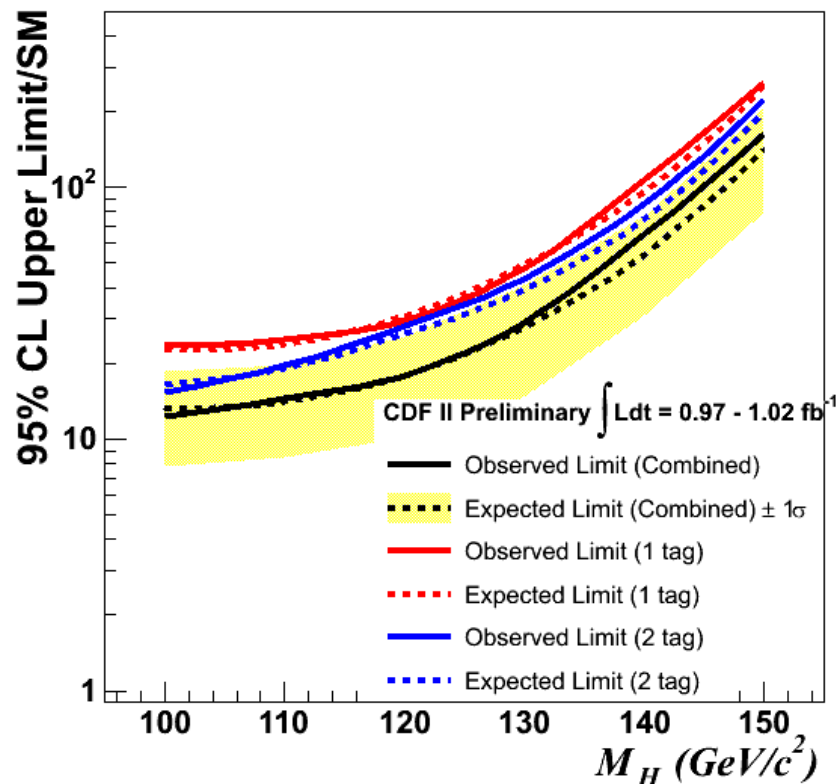


Analisi CDF 2006 con reti neurali 2-D

Risultati : $ee, \mu\mu$ combinati



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



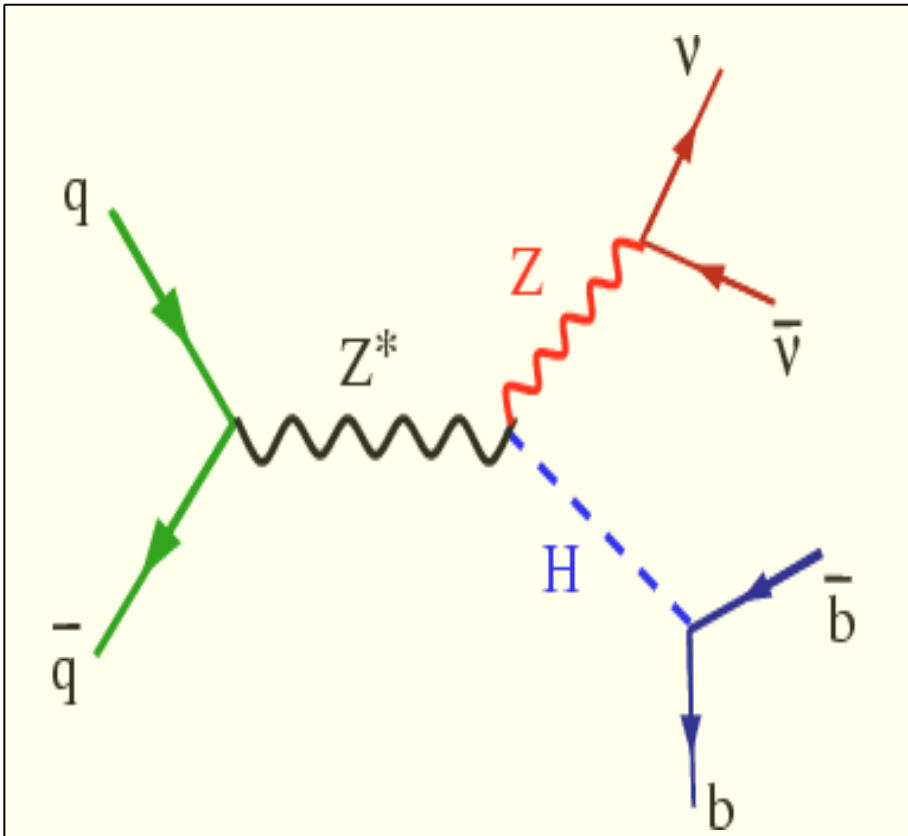
Risultati del fit sull'intera

distribuzione 2D $L = 1 \text{ fb}^{-1}$

$\sigma_{ZH} < 2.2 \text{ pb @ 95\% CL}$

$< 27 \text{ volte SM}$ ($M_H : 115 \text{ GeV}$)

ZH bb



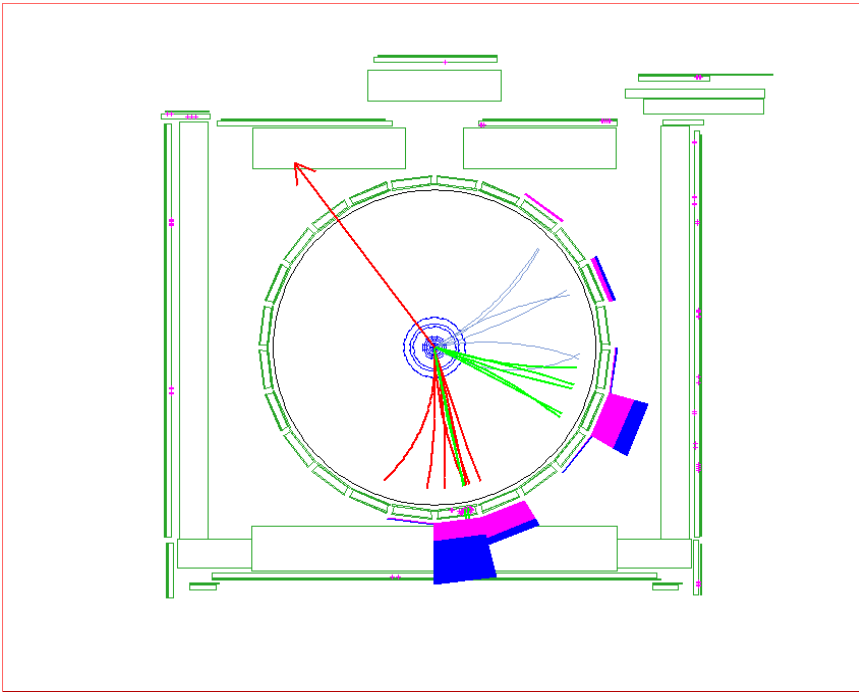
Caratteristiche:

- Due jets con grande energia trasversa
- Alta energia trasversa mancante
- Uno o due b-tagged jets

Backgrounds

- Z+jets (tagged light jet)
- Z+bb/cc
- Single top and tt
- Others Dibosons, QCD..

ZH bb : risultati



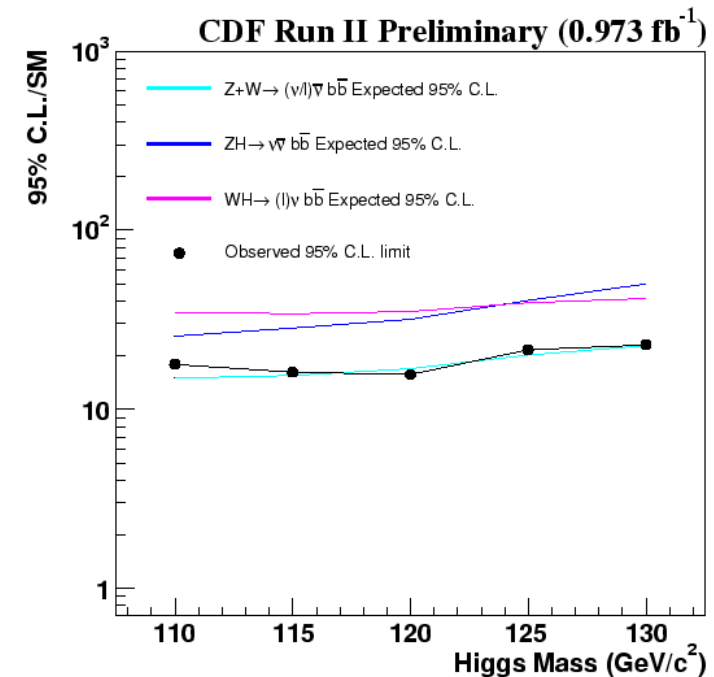
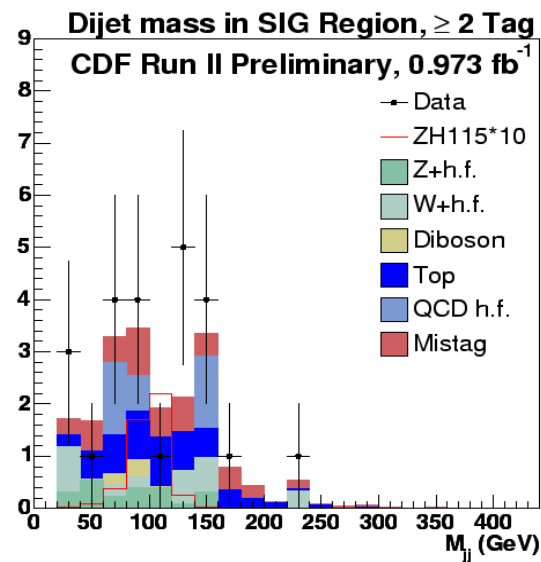
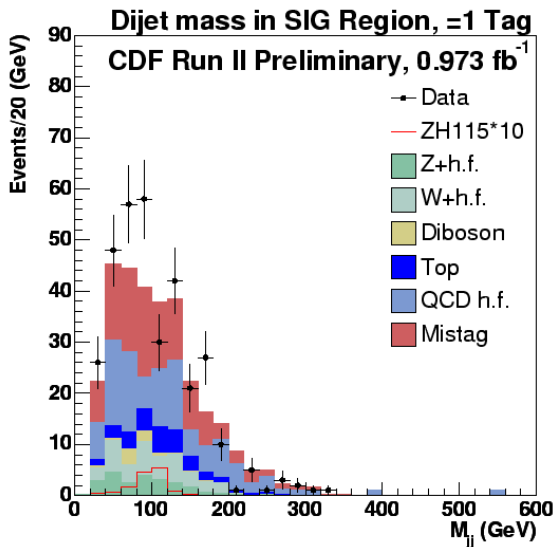
Double Tagged Candidate Event

Jet Et1 = 100.3 GeV - TAGGED

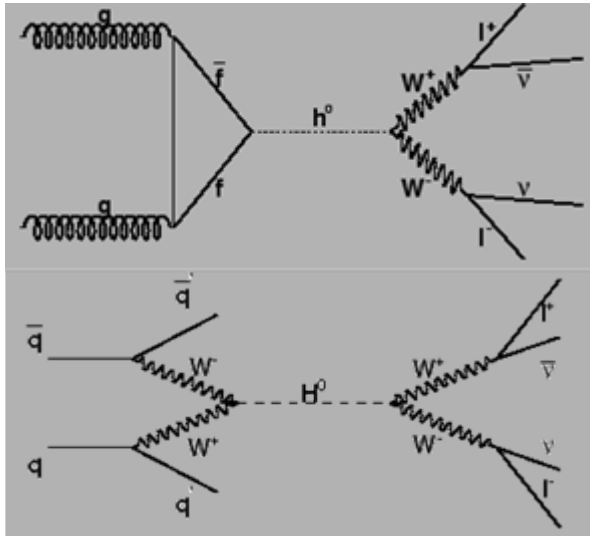
Jet Et2 = 54.7 GeV - TAGGED

Missing Et = 144.8 GeV

Dijet mass = 82.1 GeV



gg \star H \star WW* ($m_H > 135$ GeV)

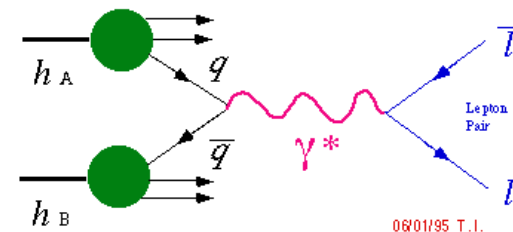
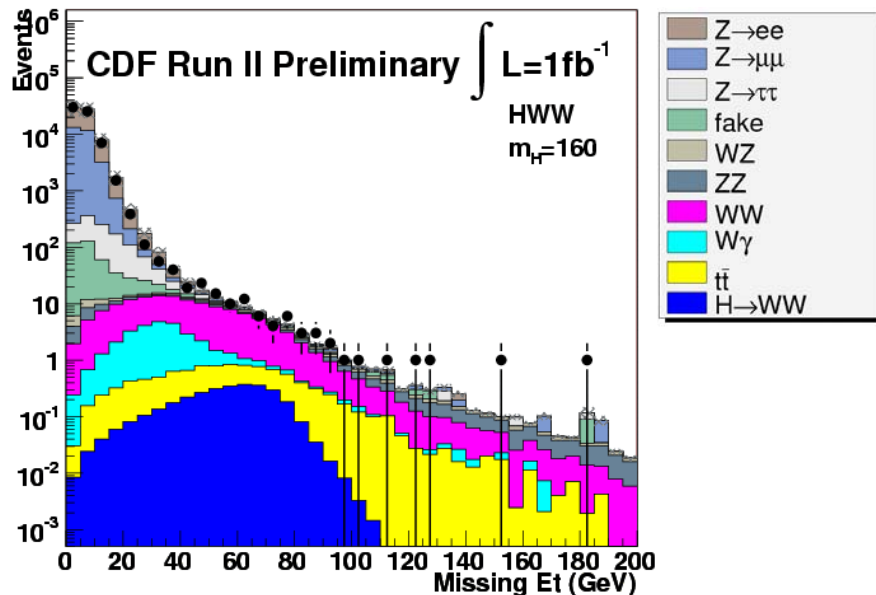


Richieste di base:

- Due leptoni **isolati** con grande impulso trasverso $E_t > 20$ GeV
- Devono avere segno opposto
- Nessun jet
- Missing $E_t > M_H/4$

Backgrounds

- WW
- Drell-Yan
- Single top
- WZ, ZZ, $W\gamma_\circ$, $Z\gamma_\circ$

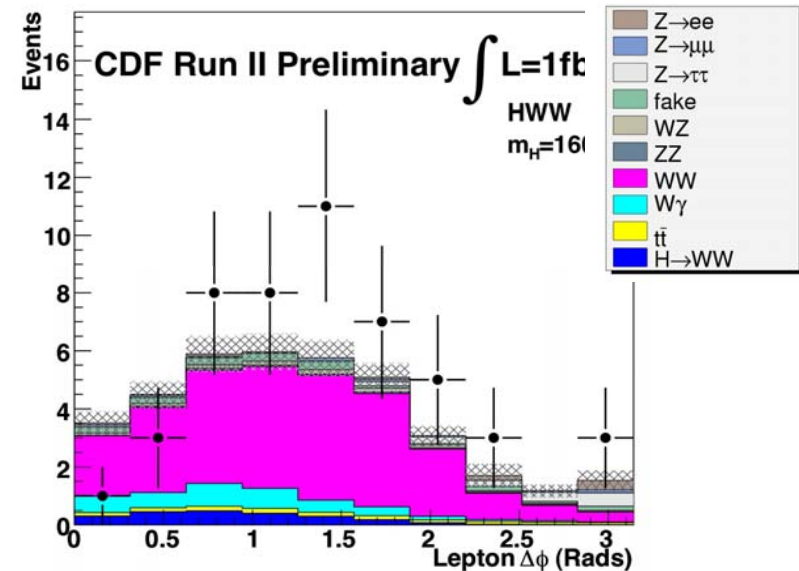
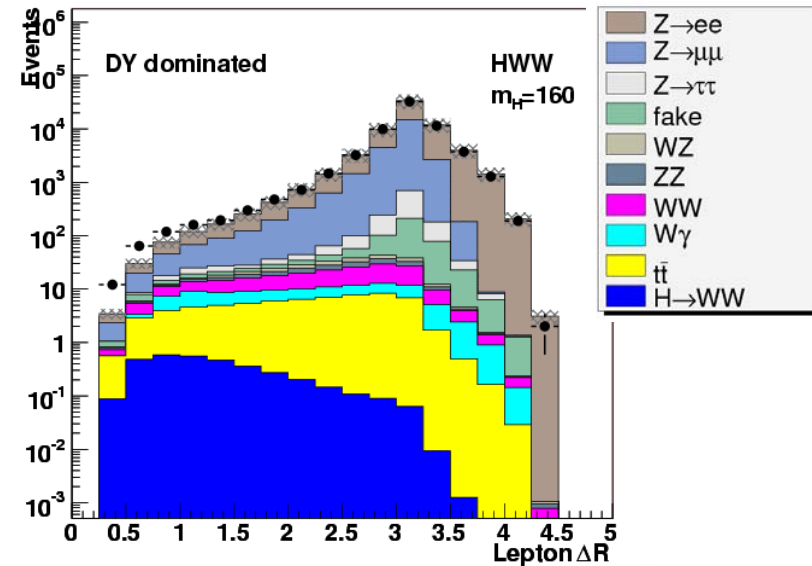
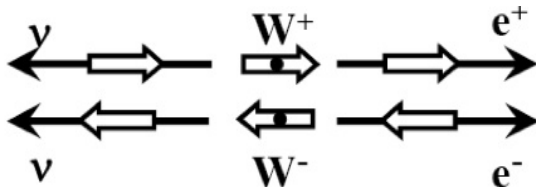


08/01/95 T.I.

gg \rightarrow H \rightarrow WW* ($m_H > 135$ GeV)



- Tagli cinematici per estrarre il segnale dal fondo
 - Strategia:
 - Poiché l'Higgs è una particella scalare i W avranno spin opposto. I leptoni carichi a causa della loro elicità opposta preferiscono la stessa direzione
 - Uso dell'angolo di apertura tra i leptoni $\Delta\Phi_{ll}$ per distinguere il fondo WW
 - Estrarre i limiti di sezione d'urto dalla distribuzione $\Delta\Phi_{ll}$



Analisi CDF metodo dei “tagli”

- Utilizzo di due reti neurali con 12 variabili in input
 - ✓ Una per ridurre il fondo dovuto a eventi D-Y
 - ✓ L'altra per separare il fondo dovuto a WW

CDF results

Expected 95% C.L. Limits ($m_H = 160$ GeV)

< 5 times over SM

Observed

< 5.6 times over

SM

Analisi CDF metodo del ME

discriminante:
$$\frac{P_{Higgs}(M_H)}{P_{Higgs}(M_H) + \sum_i f_{bkg,i} P_{bkg,i}}$$

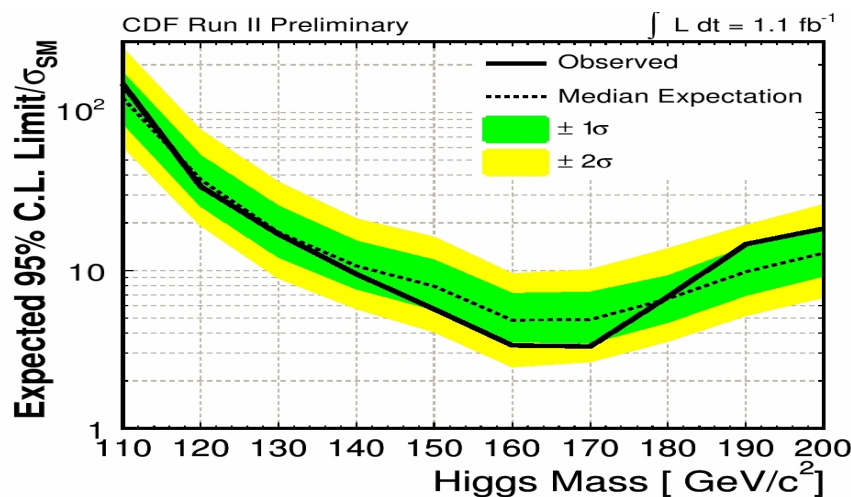
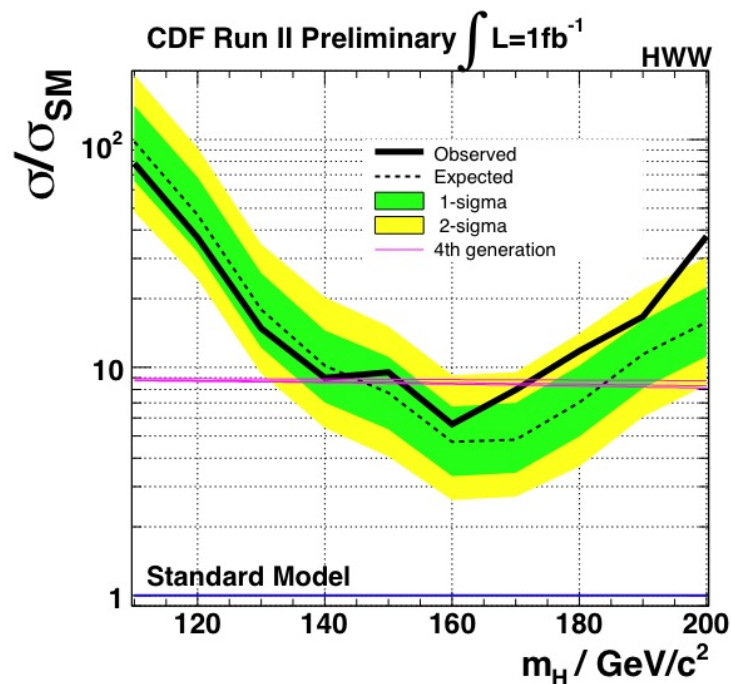
CDF results

Expected 95% C.L. Limits ($m_H = 160$ GeV)

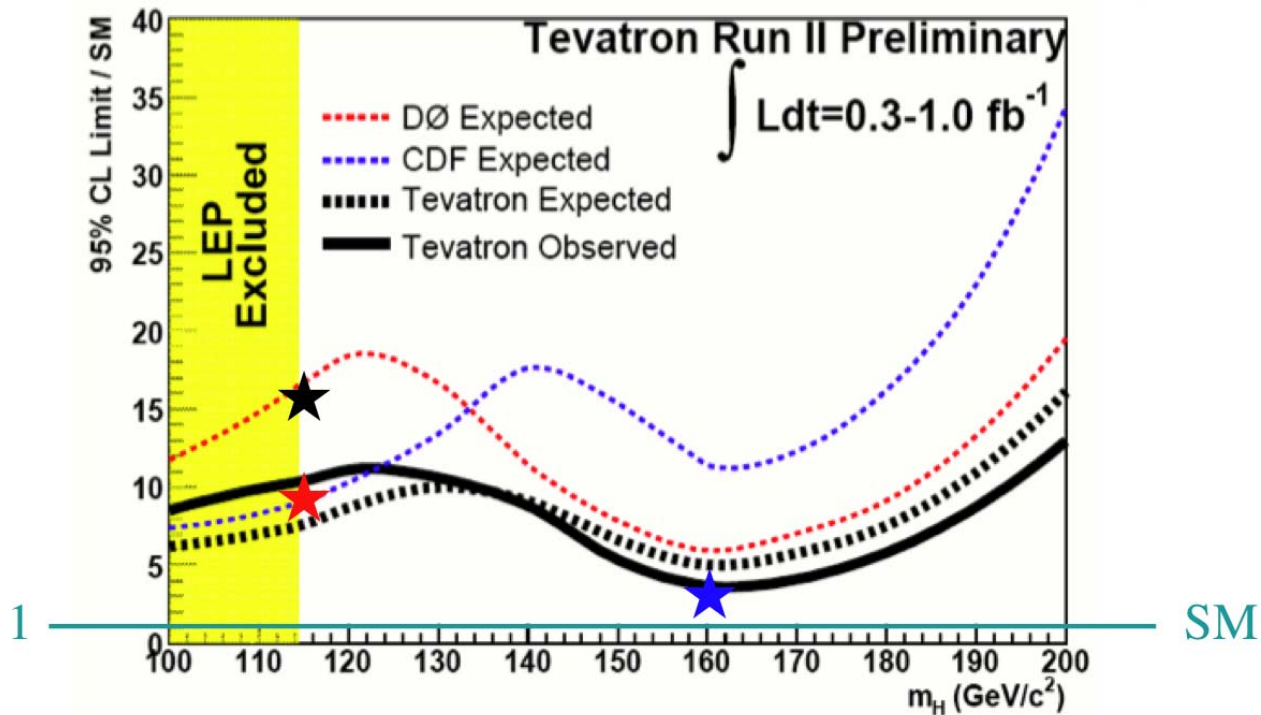
< 5 times over SM

Observed

< 3.5 times over SM



Combinazione CDF – D0



- I limiti sopra non includono:
 - Nuovi risultati CDF $ZH \rightarrow llbb$ ★ (miglioramento di un fattore 1.3)
 - Nuovi risultati CDF $H \rightarrow WW$ ★ (miglioramento di un fattore 1.8)
 - Nuovi risultati D0 WH ★ (miglioramento di un fattore 5)
- Il primo limite combinato del Tevatron è stato pubblicato la scorsa estate
- Ci si aspettano altri miglioramenti dovuti a queste nuove misure

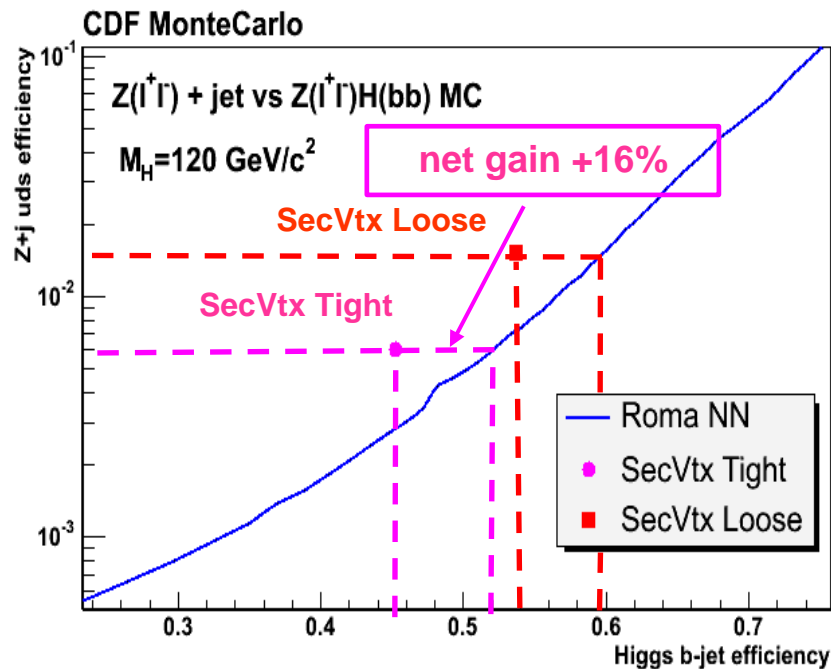
Dove e come si può migliorare

- Nuovi risultati stanno migliorando più velocemente della luminosità
- Lavorare intensamente sul miglioramento dell'analisi dati
 - Aumentare l'accettazione dei leptoni
 - Migliorare la risoluzione dei jets
 - Migliorare il b-tagging
 - Usare sofisticati metodi di analisi (Matrix Element, NN, Boosted Decision Trees, etc)

Improvement	WH→ $l\nu bb$	ZH→ $\nu\nu bb$	ZH→ $llbb$
Mass resolution	1.7	1.7	1.7
Continuous b-tag (NN)	1.5	1.5	1.5
Forward b-tag	1.1	1.1	1.1
Forward leptons	1.3	1.0	1.6
Track-only leptons	1.4	1.0	1.6
NN Selection	1.75	1.75	1.0
WH signal in ZH	1.0	2.7	1.0
Product of above	8.9	13.3	7.2
CDF+DØ combination	2.0	2.0	2.0
All combined	17.8	26.6	14.4

Nuovi Algoritmi di B-Tagging: Roma-Tagger

- Increased *per-jet efficiency* at same background rate than SecVtx:
+16% (relative) for Z+j compared to ZH(120) MC



Referenze bibliografiche

1. Rocio Vilar - SM Higgs searches at Tevatron
2. Ben Kilminster – Searches for the standard model Higgs at the Tevatron
3. A. Abulancia et al. – Search for a neutral Higgs boson decaying to a W boson pair in ppbar collisions at $\sqrt{s}=1.96\text{ TeV}$
4. D. Benjamin et al. - Search for the Contribution of $H \rightarrow WW^*$ to the cross section for high transverse momentum dileptons in 1fb-1 of Run II data
5. CDF note 8774 – Search for the $H \rightarrow WW^*$ production with matrix element methods in ppbar collisions at $\sqrt{s}=1.96\text{ TeV}$
6. CDF Collaboration – Search for the standard model Higgs boson production in association with W^\pm boson at CDF with 1 fb⁻¹
7. A. Abulancia et al. – Search for $H \rightarrow bb$ produced in association with W bosons in ppbar collision at $\sqrt{s}=1.96\text{ TeV}$