

A visualization of a particle collision, likely from a particle detector like ATLAS or CMS. It shows a central point where multiple tracks of particles (represented by yellow and orange lines) radiate outwards. The background is dark with a grid of light blue squares, suggesting a detector's geometry or a data visualization of particle tracks.

Ricerca del Bosone di Higgs ad alta massa

Presentazione : *Silvia Minosse*

Tutor : Prof. *Stefano Giagu*

Corso di Fisica Nucleare e Subnucleare II

Prof. *Carlo Dionisi*

A.A 2008/2009

Introduzione

Ricerca dell'Higgs ad alta massa a **Tevatron** nel canale di decadimento

$$H \rightarrow WW^* \rightarrow l^+ l^- \nu \bar{\nu}$$

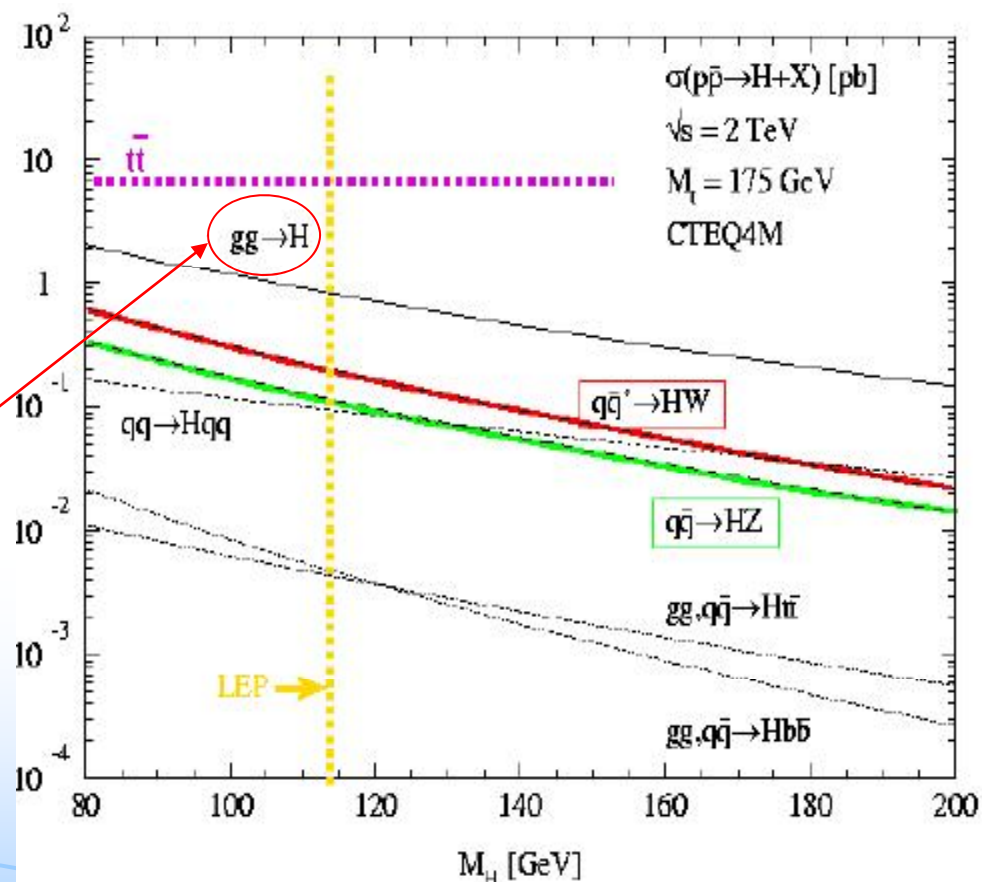
Prospettive di ricerca ad alta massa a **LHC** nel canale di decadimento

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$$

Quali sono i modi in cui l'Higgs viene prodotto nelle collisioni adroniche?

Questi processi sono previsti dalla teoria e le probabilità sono calcolate dai fisici teorici.

Il processo più probabile è quello di creare un Higgs dalla gluon fusion, subito dopo quelli in cui l'Higgs è accompagnato da un W o Z.



Sezione d'urto dei vari decadimenti in funzione della massa del Bosone di Higgs.

Quali sono i suoi prodotti di decadimento?

$$m_H < 135 \text{ GeV} / c^2$$

è favorito il decadimento

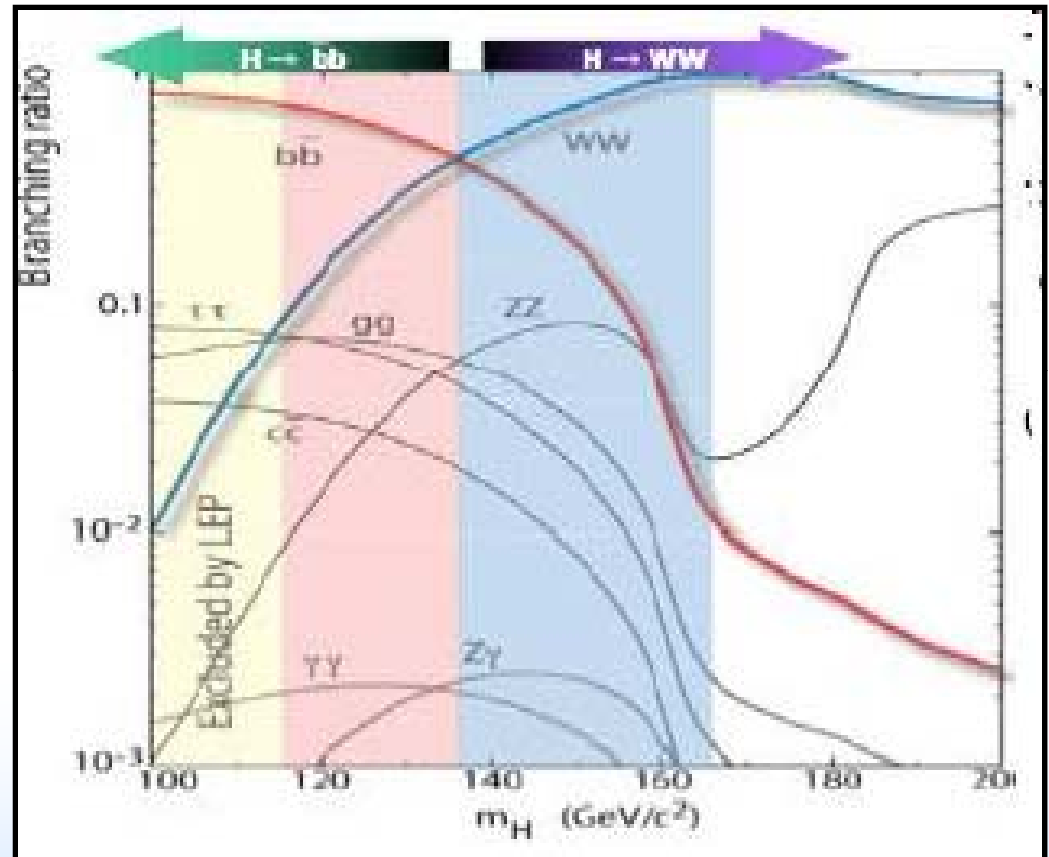
$$H \rightarrow b\bar{b}$$

$$m_H > 135 \text{ GeV} / c^2$$

è favorito il decadimento

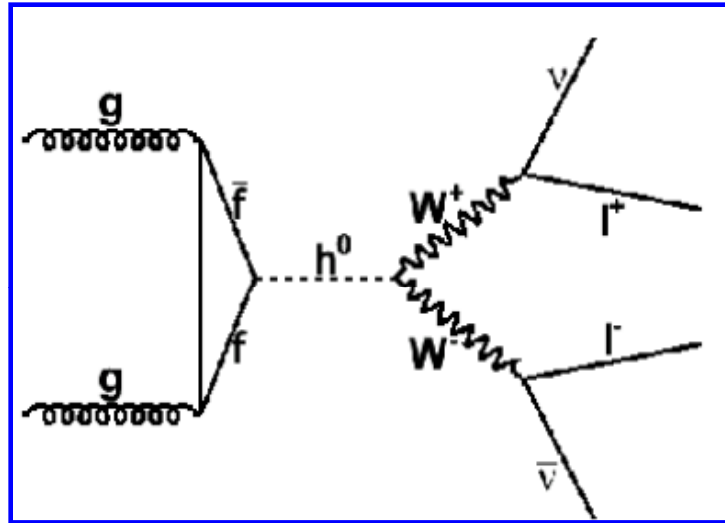
$$H \rightarrow WW$$

$$gg \rightarrow H \rightarrow WW^* \rightarrow l^+ l^- \nu \bar{\nu}$$



Probabilità di ogni decadimento
in funzione della massa dell' Higgs

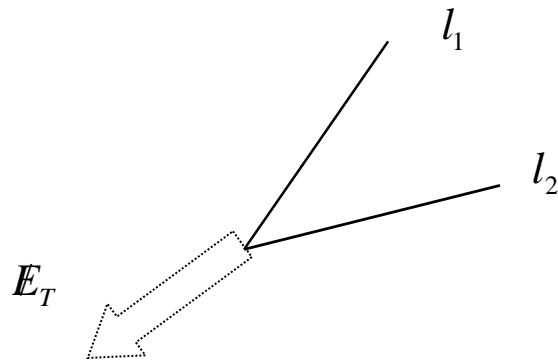
Canale di decadimento: $gg \rightarrow H \rightarrow WW^* \rightarrow l^+ l^- \nu \bar{\nu}$



- Ricercato a Tevatron nell'esperimento CDF
- Collisione $p\bar{p}$ con $\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$
- Luminosità integrata 3.6 fb^{-1}

Segnale

$$gg \rightarrow H \rightarrow WW^* \rightarrow l^+ l^- \nu \bar{\nu}$$

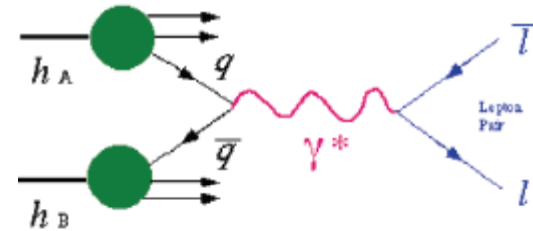


- 2 leptoni isolati di segno opposto

$$e^+ e^-, \mu^+ \mu^-, e^\pm \mu^\mp$$

- Energia mancante (neutrini)

Fondo



- *Drell – Yan*
- $WZ \rightarrow lll \nu$
- $WW \rightarrow ll \nu \bar{\nu}$
- $t\bar{t} \rightarrow b\bar{b} ll \nu \bar{\nu}$
- $W\gamma$
- $W + jet$
- $ZZ \rightarrow ll \nu \nu$
- *QCD*
- Raggi cosmici

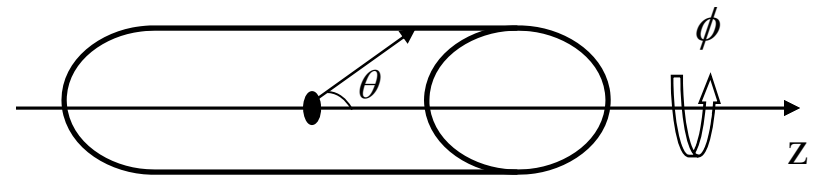
Breve descrizione del detector

- La geometria del detector è descritta da :

ϕ angolo azimutale

$\eta = -\ln(\tan \theta / 2)$ pseudorapidità

θ angolo polare di una particella rispetto all'asse del fascio di protoni.



- CDF è costituito da:

tracciatore

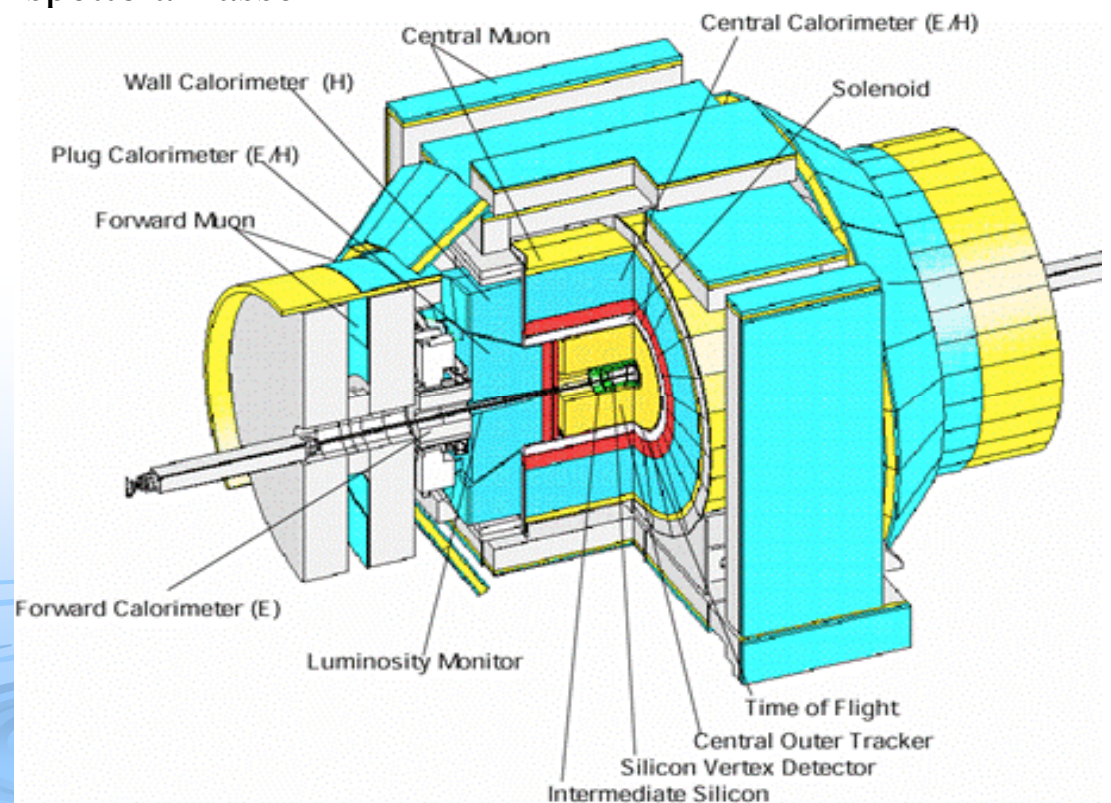
rivelatore al silicio

COT camera a deriva ($B = 1.4 \text{ T}$)

calorimetro elettromagnetico

calorimetro adronico

camera a deriva per muoni

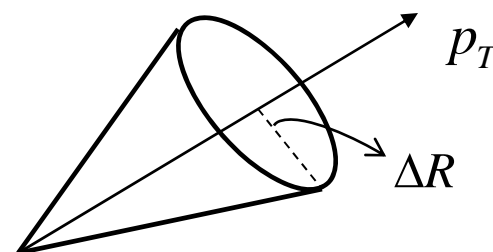


Identificazione dei leptoni e dei neutrini

I **leptoni** devono essere isolati in modo tale che :

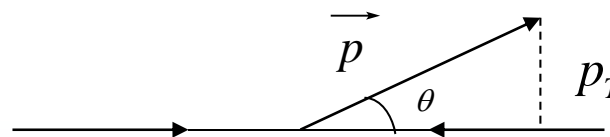
$$\sum E_T^{tower, i} < 10\% E_T^e$$

$$\sum p_T < 10\% p_T^\mu$$



all'interno del cono $\Delta R = \sqrt{(\Delta\eta)^2 + (\Delta\theta)^2} < 0.4$ intorno alla direzione del leptone

$$\begin{cases} E_T^{tower} = E \sin \theta \\ p_T = p \sin \theta \end{cases}$$



Per identificare la presenza dei **neutrini** nel decadimento del Bosone di Higgs usiamo

l'energia trasversa mancante $E_T = \left| \sum_i E_T \hat{n}_{T,i} \right|$

dove $\hat{n}_{T,i}$ è la componente trasversa del versore che va dal punto d'interazione alla torre i del calorimetro.

Preselezione degli eventi di segnale

- I candidati di Higgs $ll\nu\bar{\nu}$ sono selezionati attraverso due leptoni di segno opposto

$$M_{l^+l^-} > 16\text{GeV} / c^2$$

- Almeno un leptone deve soddisfare il trigger e avere :

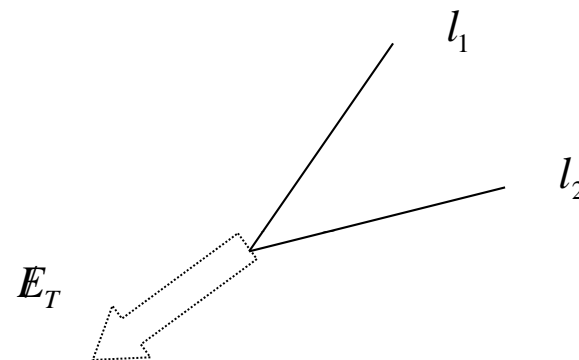
$$E_T > 20\text{GeV} \quad \text{per elettroni}$$

$$p_T > 20\text{GeV} / c \quad \text{per muoni}$$

- Il secondo leptone, per aumentare l'accettazione cinematica deve avere :

$$E_T > 10\text{GeV} \quad \text{per elettroni}$$

$$p_T > 10\text{GeV} / c \quad \text{per muoni}$$



Problema : separare gli eventi di segnale da quelli di fondo

Riduzione dei fondi: tagli cinematici

- **Drell-Yan** in cui l'energia mancante è dovuta a code di risoluzione. Si richiede :

$$E_{Tspec} > 25 \text{ GeV} \quad \text{per eventi a due elettroni o due muoni}$$

$$E_{Tspec} > 15 \text{ GeV} \quad \text{per eventi elettrone-muone}$$

E_{Tspec} è definita come :

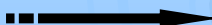
$$E_{Tspec} = \begin{cases} E_T & \text{se } \Delta\phi(E_T, \text{nearest} - \text{leptone} - \text{or} - \text{jet}) > \frac{\pi}{2} \\ E_T \sin(\Delta\phi(E_T, \text{nearest} - \text{leptone} - \text{or} - \text{jet})) & \text{se } \Delta\phi(E_T, \text{nearest} - \text{leptone} - \text{or} - \text{jet}) < \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

- **$t\bar{t} \rightarrow b\bar{b}l\bar{l}\nu\bar{\nu}$** si richiede

che i candidati abbiano meno di 2 jet con $p_T > 15 \text{ GeV} / c$ e $|\eta| < 2.5$

- **$WZ \rightarrow ll\nu$** e **$ZZ \rightarrow ll\nu\nu$** si richiedono:

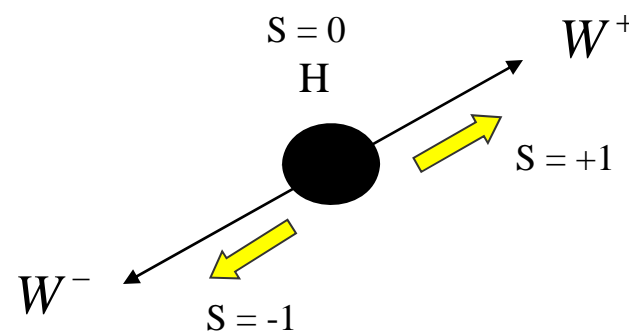
due leptoni esatti per ricostruire la massa invariante del bosone Z

- **$W\gamma$** e **$W + jet$** in cui un fotone o un jet è scambiato con un leptone
 isolamento dei leptoni all'interno del cono.

Riduzione dei fondi : correlazione di spin

- L'Higgs è una particella scalare $\longrightarrow S = 0$

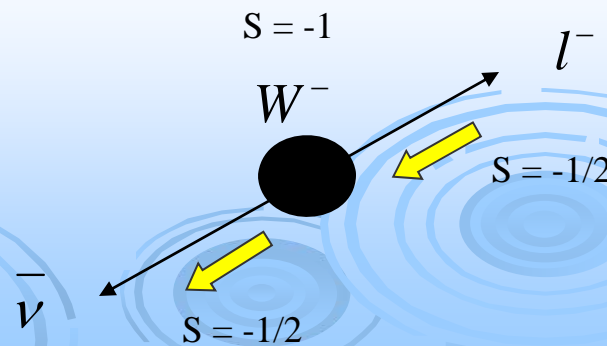
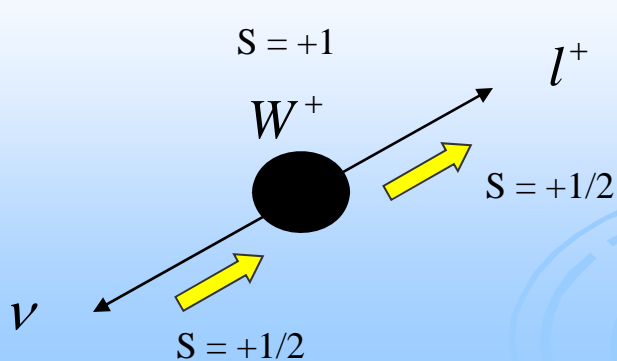
$$H \rightarrow WW$$



$\square \longrightarrow$ I due bosoni W avranno spin opposto

- I leptoni carichi, a causa della loro elicità opposta, tendono ad avere la stessa direzione

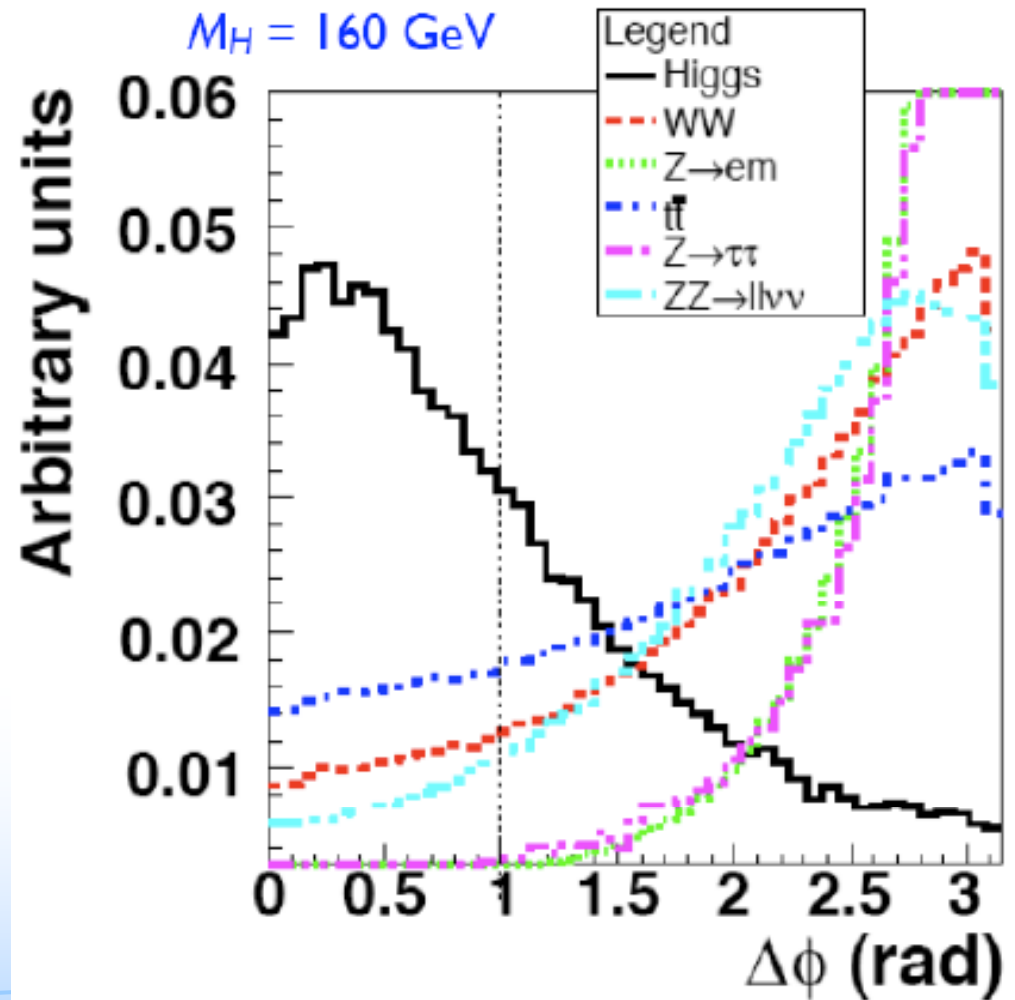
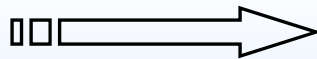
$$H \rightarrow WW \rightarrow l^+ l^- \nu \bar{\nu}$$



Segnale e fondo

Grazie ai tagli cinematici è stato possibile separare il segnale dal fondo.

Usando l'apertura dell'angolo $\Delta\phi$ tra i leptoni, questi sono stati distinti da quelli provenienti dal fondo WW



Simulazione eventi

(Data modeling)

L' accettazione geometrica e cinematica per gli eventi: $WW, WZ, ZZ, W\gamma, Drell - Yan, t\bar{t}$ e per tutti gli eventi di segnale è basata su **simulazioni**.

- Monte Carlo : per le collisioni
- GEANT3_based : per la risposta del detector
- MC@NLO : per generare processi WW (S e B)
- PYTHIA per generare: $WZ, ZZ, W\gamma, Drell - Yan, t\bar{t}$
- CTEQ5L : per la funzione di distribuzione dei partoni

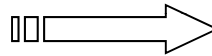
Per verificare l' affidabilità di queste simulazioni sono previste delle regioni di controllo **CROSS-CHECKS**, basate sui dati per testare :

- efficienza di identificazione dei leptoni
- efficienza dei trigger
- efficienza nel rilevare i fotoni e i jet
- modellizzazione di E_T

Analisi dati

Per discriminare eventi di segnale e di fondo vengono usati dei

Classificatori Statistici Multivariati



condensano un set multidimensionale e correlato di variabili di input in un'unica grandezza scalare (output del classificatore).
Algoritmo di regressione :

$$R^n \rightarrow R$$

I classificatori statistici multivariati possono essere:

- **Lineari** (ignorano possibili correlazioni tra variabili)
- **Non Lineari**

Rapporto di verosimiglianza

(Likelihood Ratio)

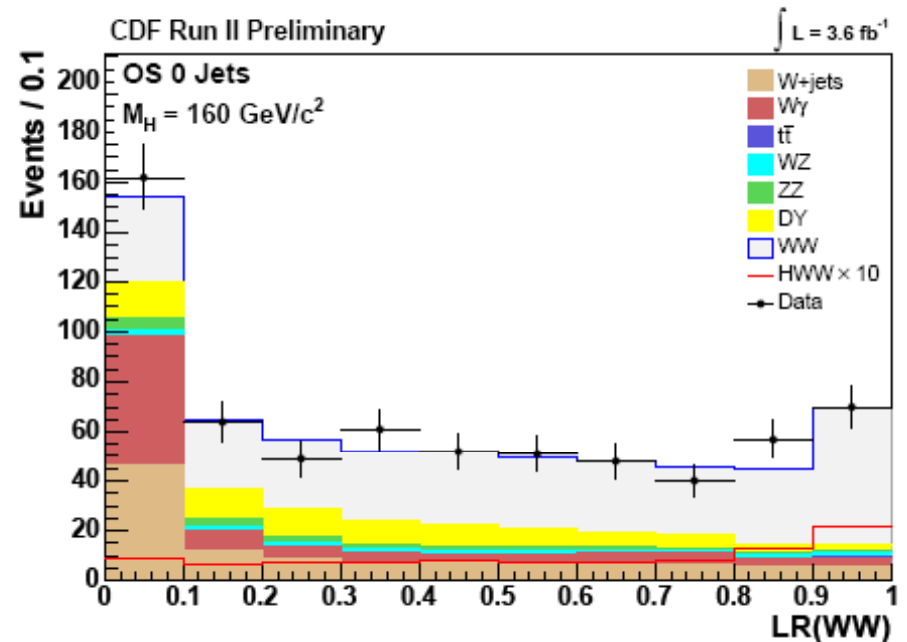
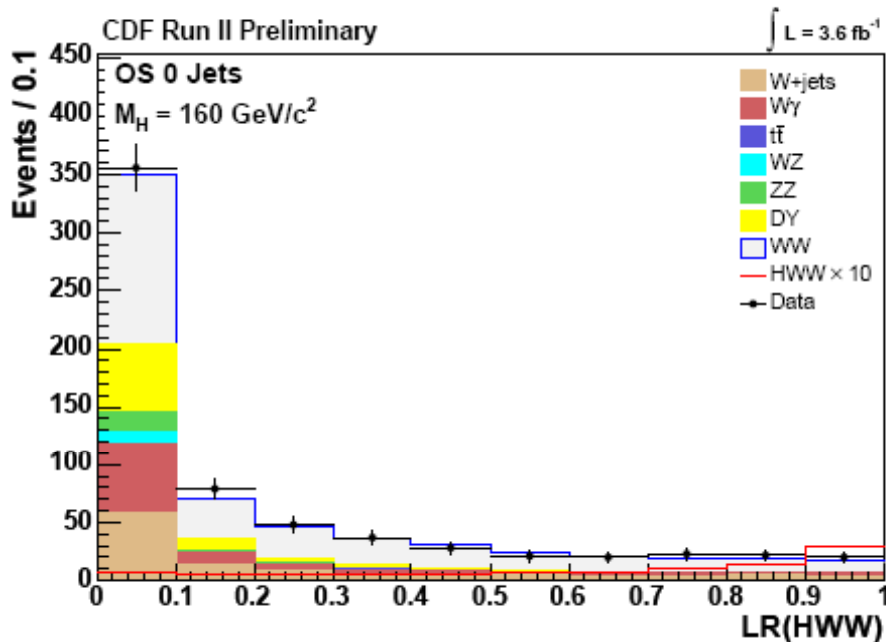
Classificatore multivariato lineare che stima LR.

$$LR(x_j) \equiv \frac{P_{Higgs}(x_j)}{P_{Higgs}(x_j) + \sum_i k_i P_i(x_j)} \quad 0 < LR(x_j) < 1$$

Informazioni cinematiche

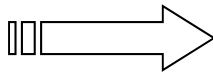
Frazione attesa per i fondi

$$\sum k_i = 1$$



Rete Neurale

(Neural Network)



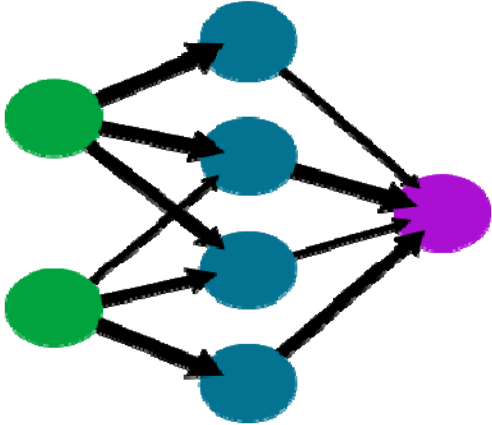
Neuro Bayes

La struttura della rete neurale è :

3 layers → Nodi in input , nodi nascosti, 1 output

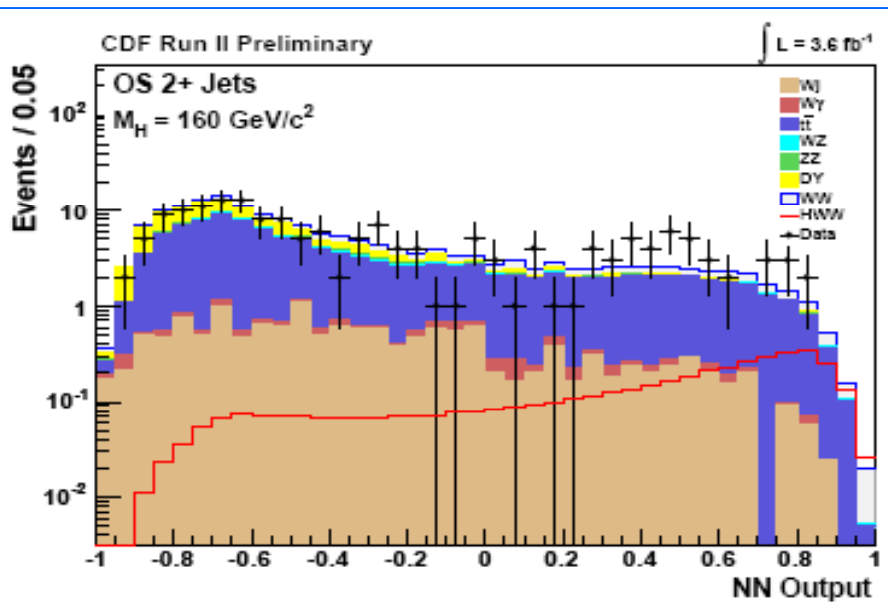
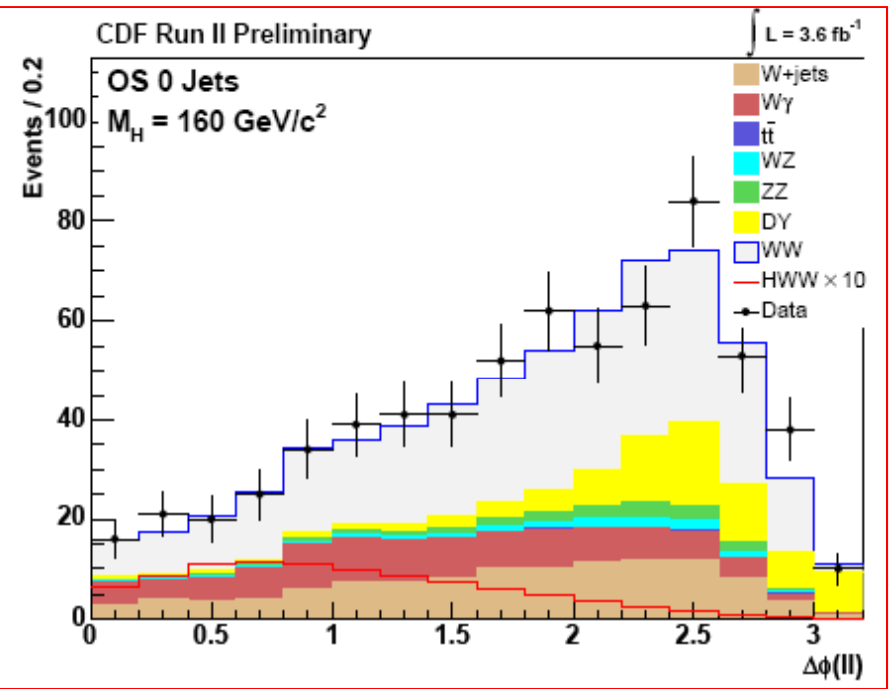
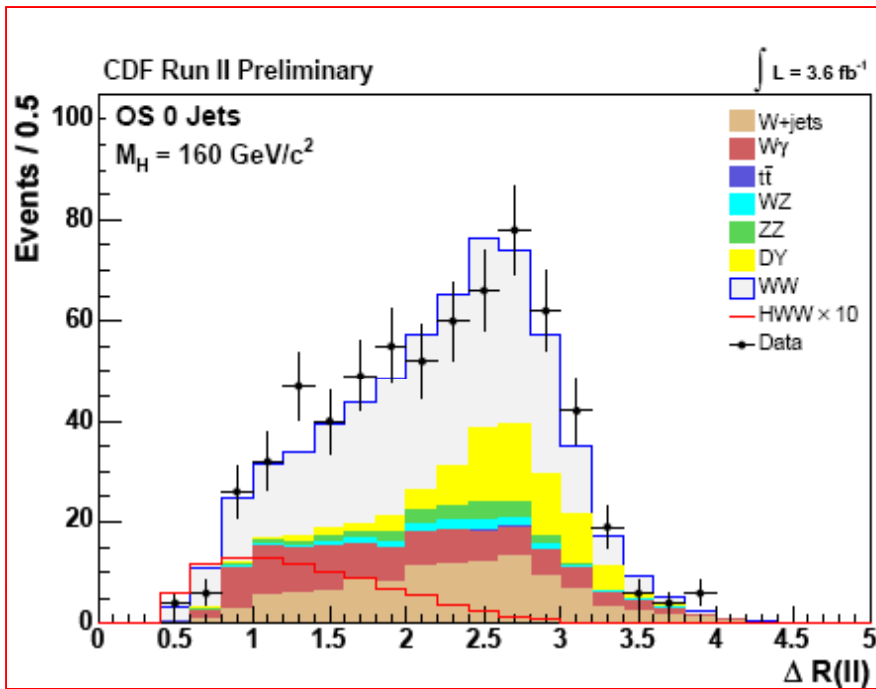
Il numero di questi nodi varia a seconda dell'analisi di uno o più jet o particelle delle stesso segno.

Semplice rete neurale
strato di Ingresso strato nascosto strato di uscita



Variabili di input →

Variable	Meaning
LRHWW	Likelihood ratio - $H \rightarrow WW$
LRWW	LR - WW production
LRZZ	LR - ZZ production
LRWg	LR - $W\gamma$
LRWj	LR - W +jets
dimass	Dilepton invariant mass
Met	Missing Transverse Energy
dPhiLeptons	$\Delta\phi$ between the leptons
dRLeptons	ΔR between the leptons
MetDelPhi	$\Delta\phi$ between the \vec{E}_T and nearest lepton or jet
MetSpec	$E_{Tspec} = E_T$ if $\Delta\phi(\vec{E}_T, l \text{ or } j) > \frac{\pi}{2}$ $E_{Tspec} = E_T \sin(\Delta\phi(\vec{E}_T, l \text{ or } j))$ if $\Delta\phi(\vec{E}_T, l \text{ or } j) < \frac{\pi}{2}$



Distribuzione delle variabili in input in
in una rete neurale con eventi con 0 jet
nello stato finale:

ΔR tra i leptoni,

$\Delta\phi$ tra i leptoni.

Distribuzione della rete neurale con eventi
con 0 jet nello stato finale.

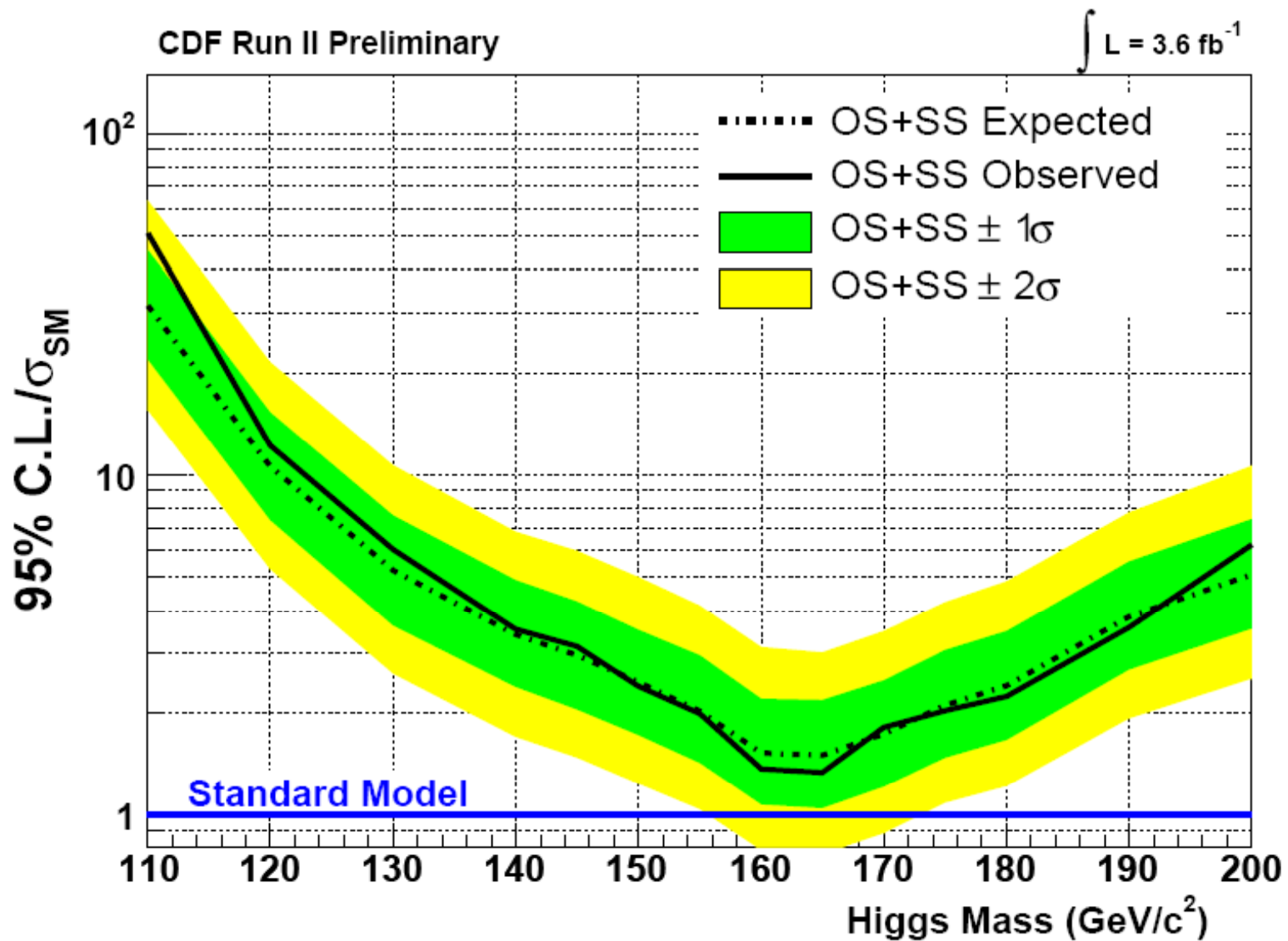
Valori attesi e osservati per gli eventi di segnale e di fondo

Gli eventi di fondo e di segnale sono stati ricavati dalle simulazioni.
I dati sono quelli veri.

$M_H = 160 \text{ GeV}/c^2$	
$t\bar{t}$	1.35 ± 0.21
DY	80 ± 18
WW	318 ± 35
WZ	14 ± 1.9
ZZ	20.7 ± 2.8
W+jets	113 ± 27
$W\gamma$	92 ± 25
Total Background	637 ± 67
$gg \rightarrow H$	9.5 ± 1.4
Total Signal	9.5 ± 1.4
Data	654

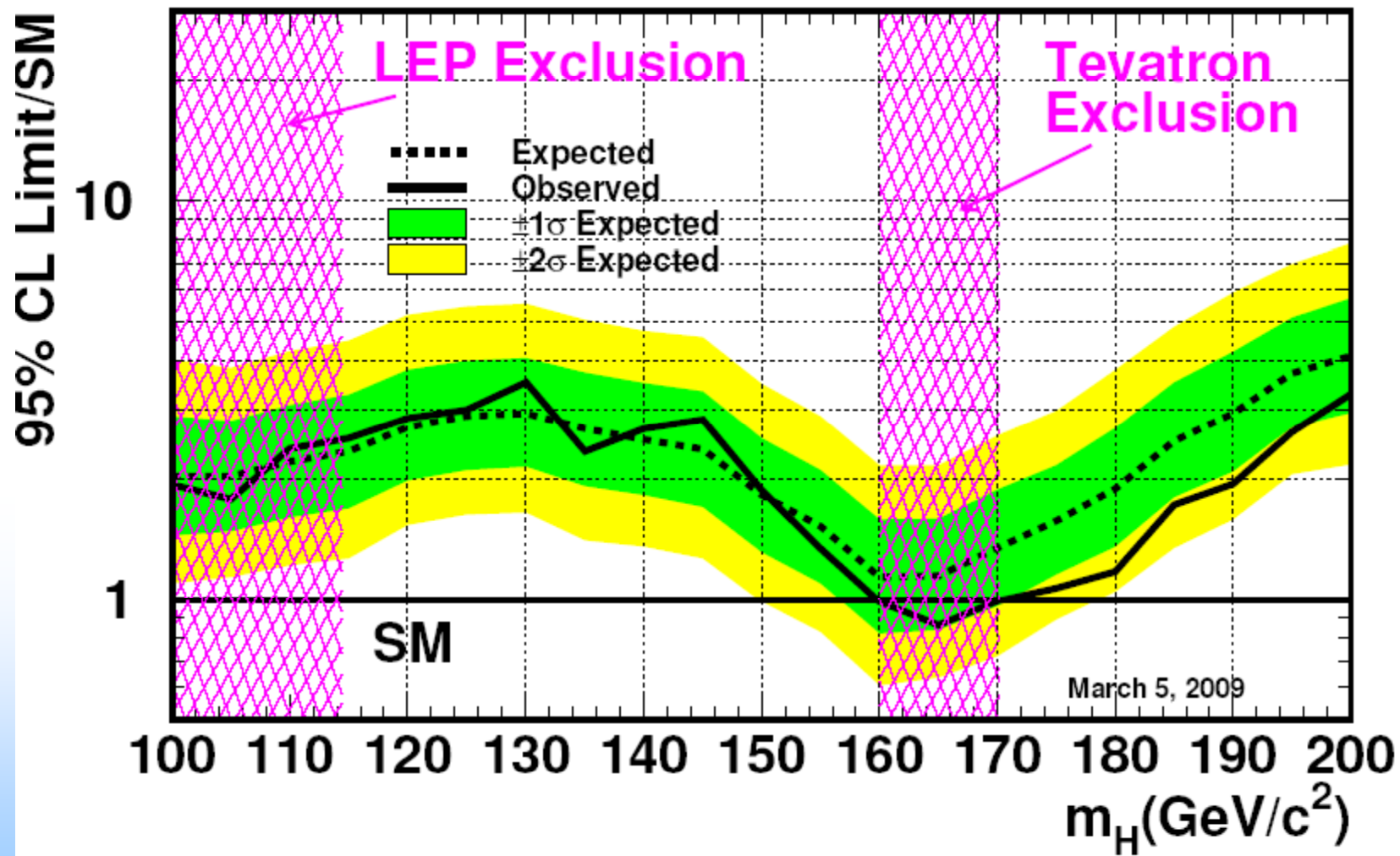
$M_H = 160 \text{ GeV}/c^2$	
$t\bar{t}$	34.9 ± 5.5
DY	85 ± 27
WW	85.3 ± 9.1
WZ	14.5 ± 2.0
ZZ	5.48 ± 0.75
W+jets	40 ± 10
$W\gamma$	13.2 ± 4.0
Total Background	278 ± 35
$gg \rightarrow H$	4.70 ± 0.72
WH	0.66 ± 0.09
ZH	0.24 ± 0.03
VBF	0.38 ± 0.06
Total Signal	5.98 ± 0.78
Data	262

Risultati CDF

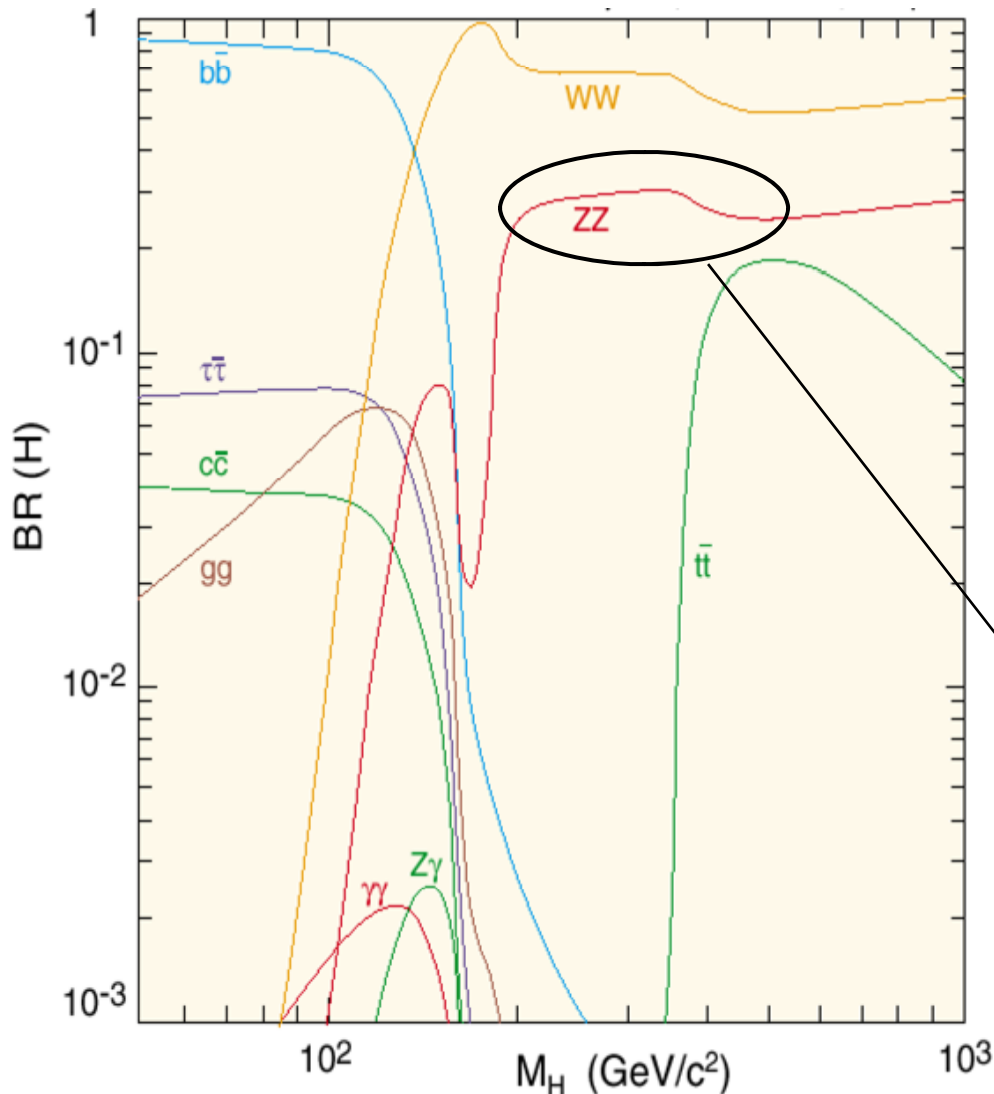


Risultati Tevatron

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



Prospettive a LHC



Non esiste una singola analisi che copre tutto il range plausibile $114 GeV - 1 TeV$

- Higgs “leggero” ($m_H < 150 GeV$)

$H \rightarrow bb$

$H \rightarrow \gamma\gamma$

- Higgs “medio” ($m_H \approx 2m_Z$)

$H \rightarrow WW$

$H \rightarrow ZZ^*$

- Higgs “pesante” ($m_H > 2m_Z$)

$H \rightarrow ZZ$

Canale di decadimento : $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$

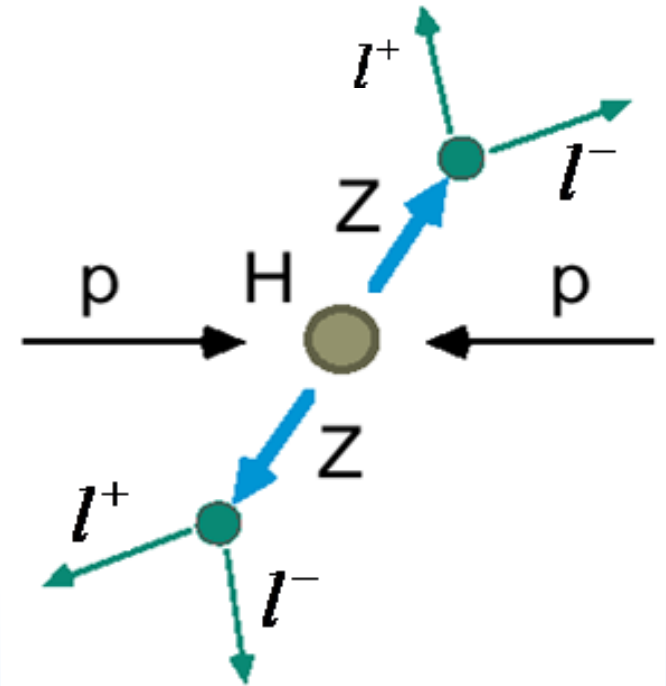
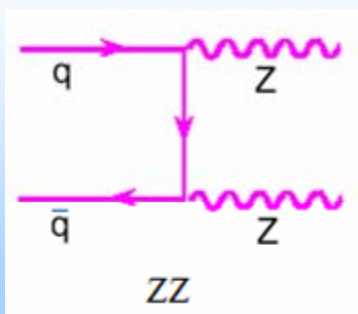
(alta massa, canale più attendibile)

Segnatura sperimentale:

- 4 leptoni riconosciuti nel range $|\eta| < 2.5$
- 2 leptoni con $p_T > 20 GeV$
- 2 leptoni con $p_T > 7 GeV$

Fondo principale :

$$Z(\gamma^*)Z(\gamma^*) \rightarrow 4l$$

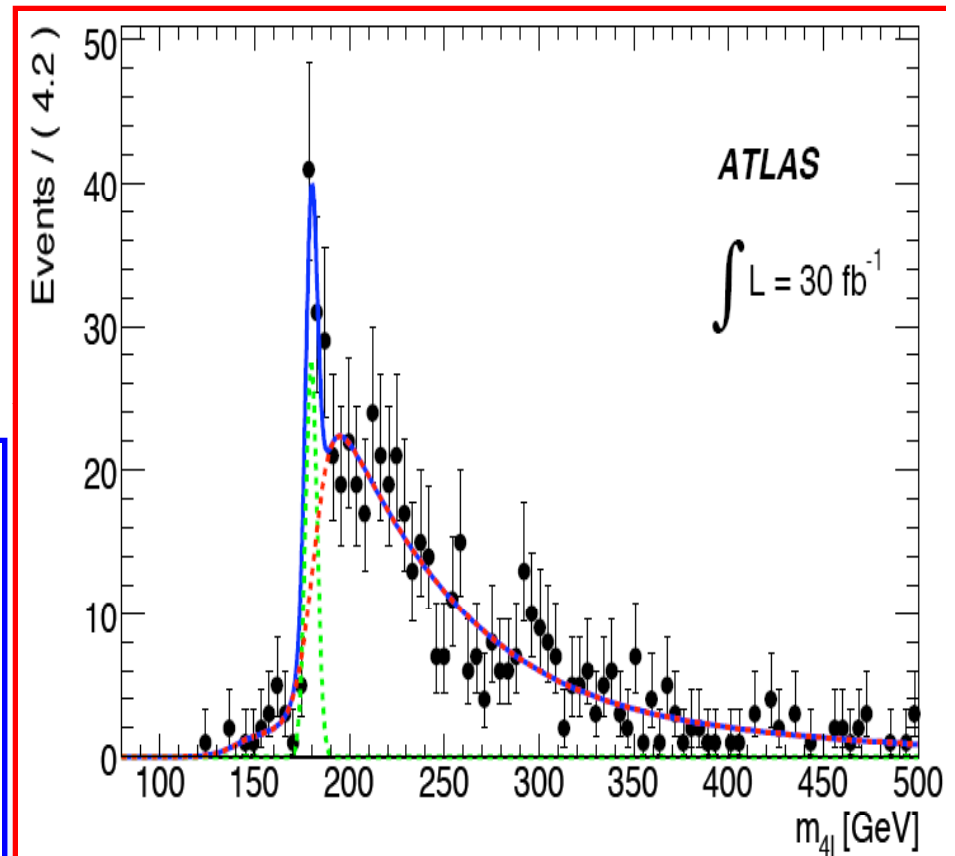
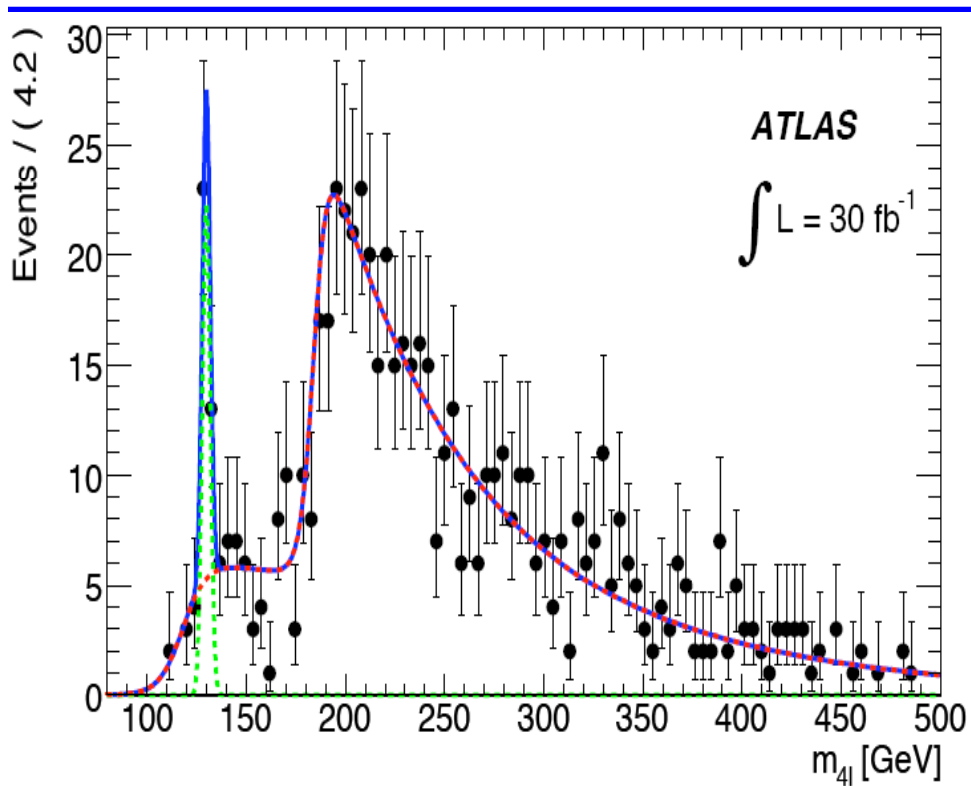


Possibili tagli:

- p_T dei leptoni
- massa invariante dei 2 leptoni
- massa invariante dei 4 leptoni
- variabili angolari

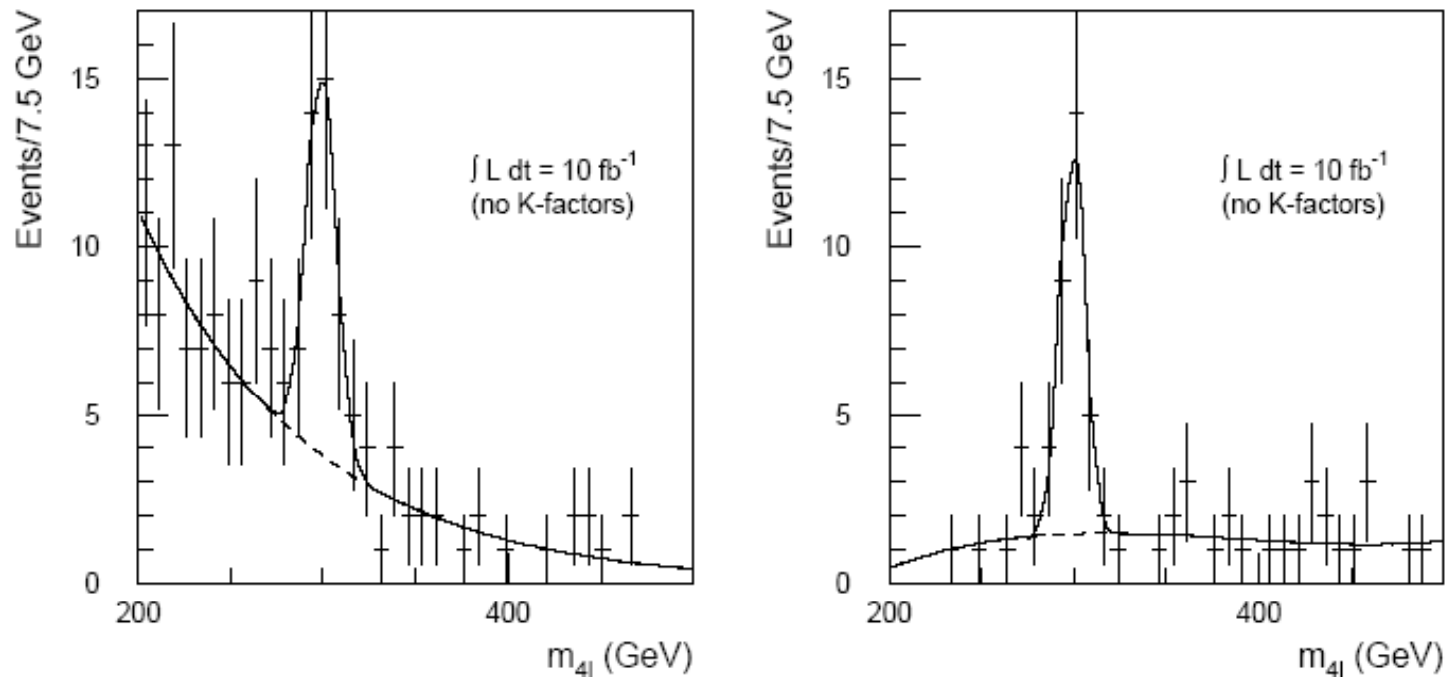
Segnali aspettati a LHC : ATLAS

Massa dell' Higgs a 180 GeV →



← Massa dell' Higgs a 130 GeV

Segnali aspettati a LHC : ATLAS



Segnali aspettati per il canale $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ per $m_H = 300 \text{ GeV}$ e una luminosità integrata di 10 fb^{-1} . A destra senza taglio del p_T^{\max} e a sinistra con il taglio $p_T^{\max}(Z_1 Z_2)$

I bosoni Z sono prodotti dal decadimento di un oggetto pesante, è possibile così porre una certa soglia sull'impulso trasverso.

Segnali aspettati a LHC : ATLAS

