

~~Results on High PT Physics at the Tevatron~~

Higgs...a Tevatron Story

Giorgio Chiarelli
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Sezione di Pisa



Incontri di Fisica delle Alte Energie

Perugia, 27-29 Aprile 2011

La ricerca dell'Higgs al Tevatron

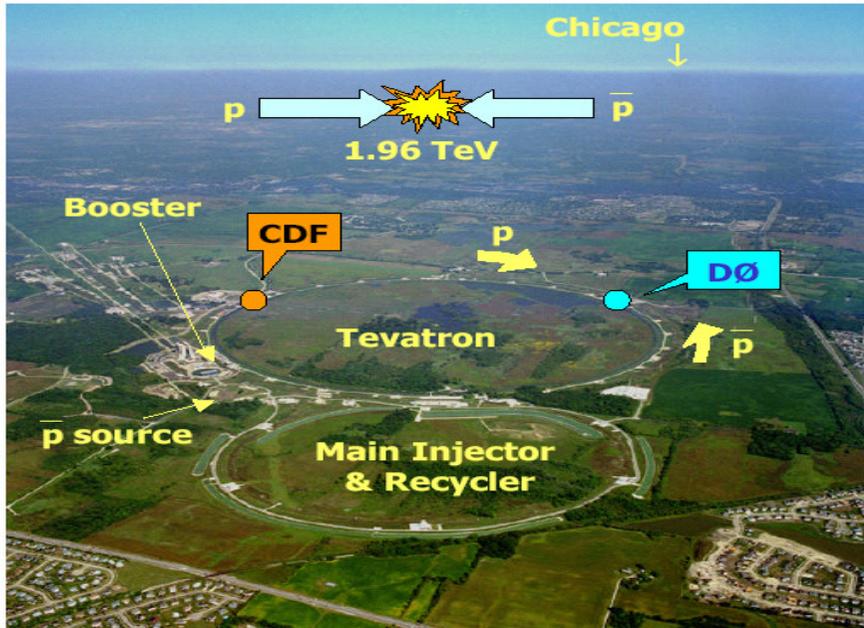
Per via diretta ed indiretta

- ☞ Quest'ultima a lungo privilegiata poiché ottenuta attraverso M_{top} ed M_W

Ricerca diretta:

- ☞ Viene da lontano..
 - ⇒ Preistoria (per pochi sognatori)
- ☞ Storia
 - ⇒ Ricerca nel periodo 2000-2004
 - Il Run 2:
 - Quando nessuno ci credeva e molti (anche in casa) pensavano solo alla fisica del B
- ☞ Il presente
 - ⇒ Dal 2005 in poi: posizione aggressiva
 - Limiti a grande massa

Tevatron



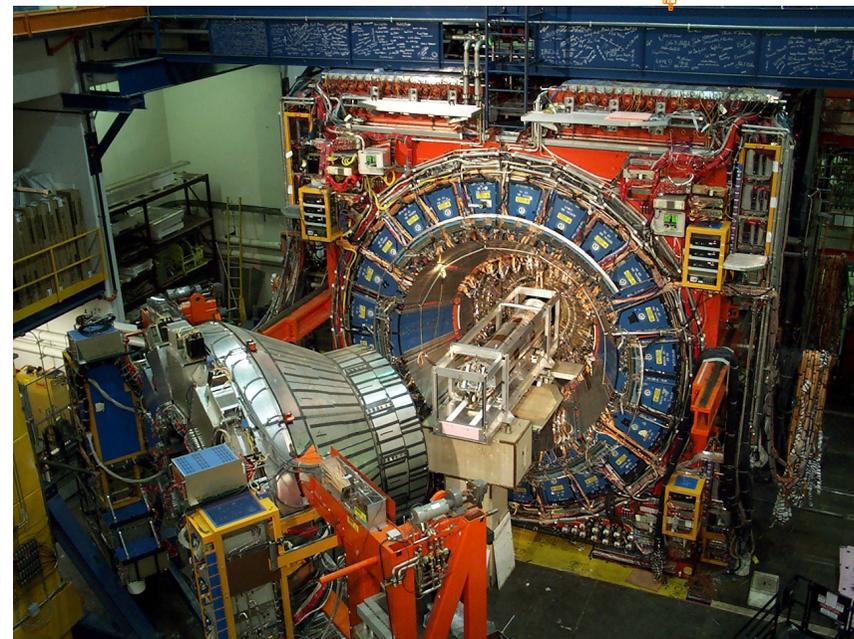
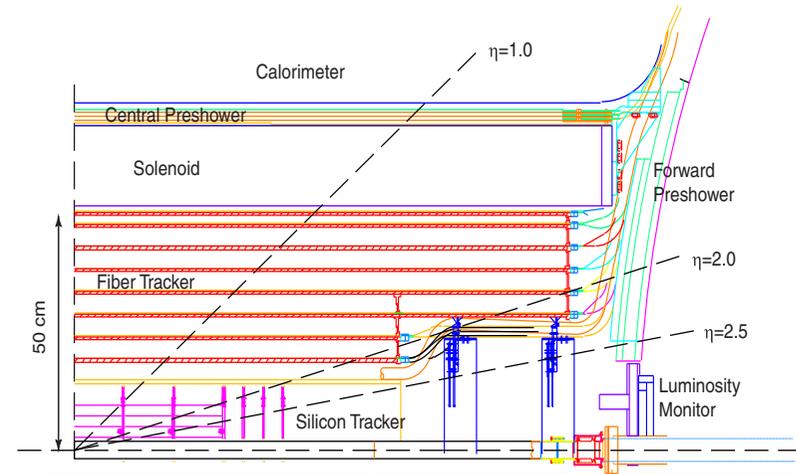
$\sqrt{s}=1.96 \text{ TeV}$

- ☞ protons on antiprotons
 - ⇒ Bunch crossing every 396 ns
- ☞ 6.28 Km circumference
- ☞ 2 detectors (CDF and DØ)

First p-pbar collision on
October 13, 1985

- ☞ Run II started in 2001

Collider Detector at Fermilab
DØ → collision point

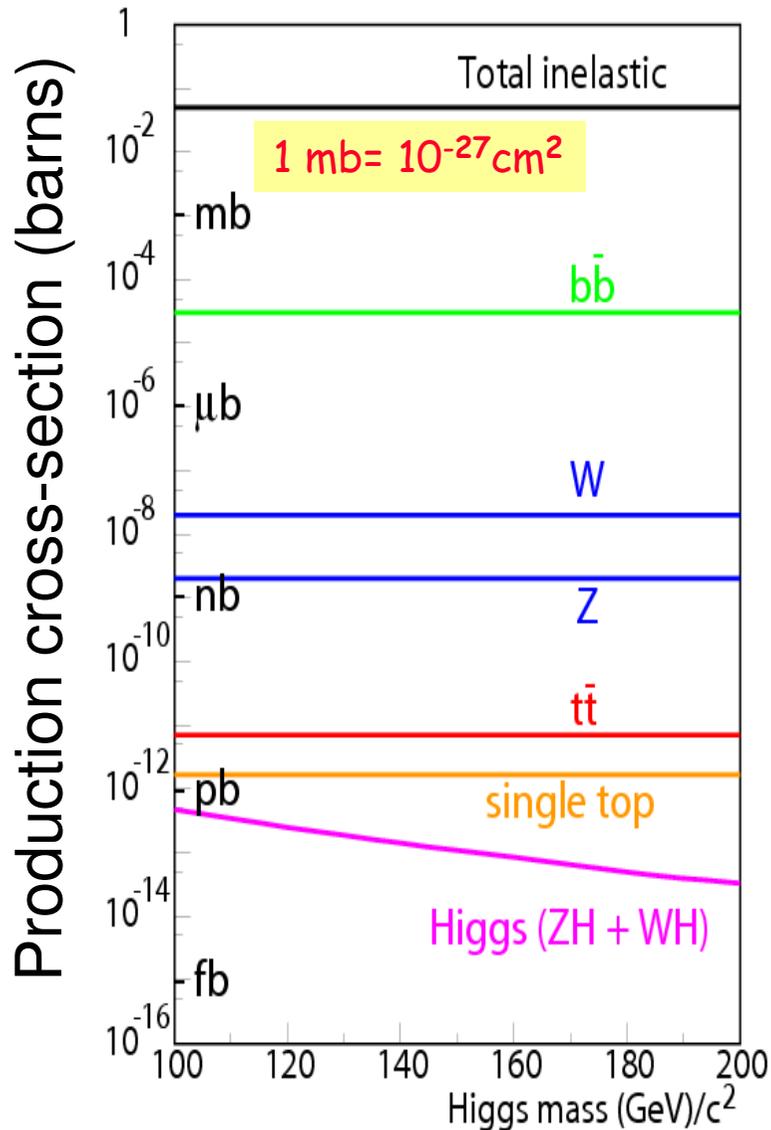




L'ambiente



Present (Tevatron)



In 1 fb⁻¹

1×10^{11}

6×10^6

6×10^5

14,000

5,000

100 ~

10

typically today we run at $L = 3.7 \times 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$... means

☞ several interactions per crossing

⇒ Tough life

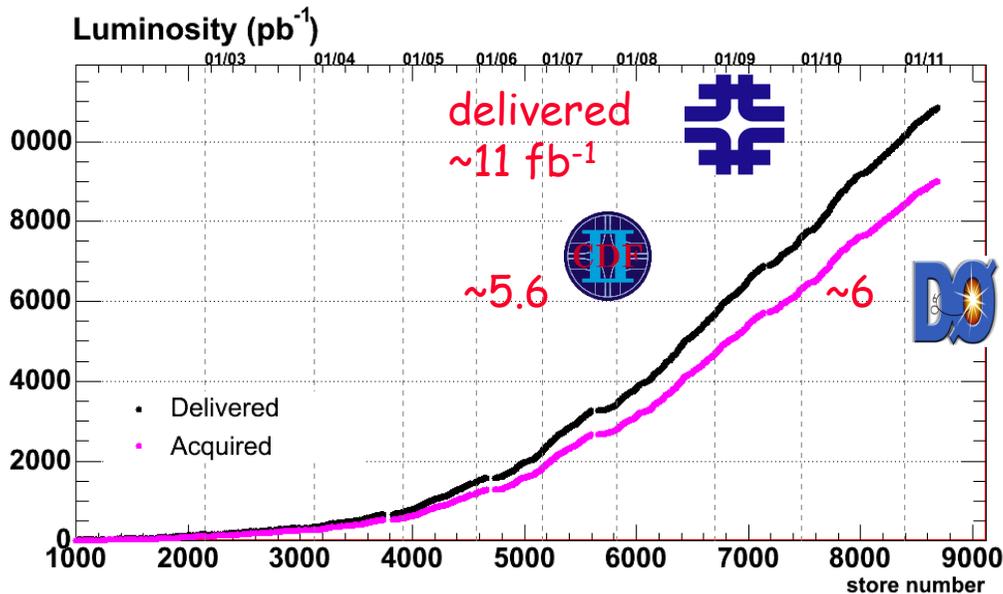
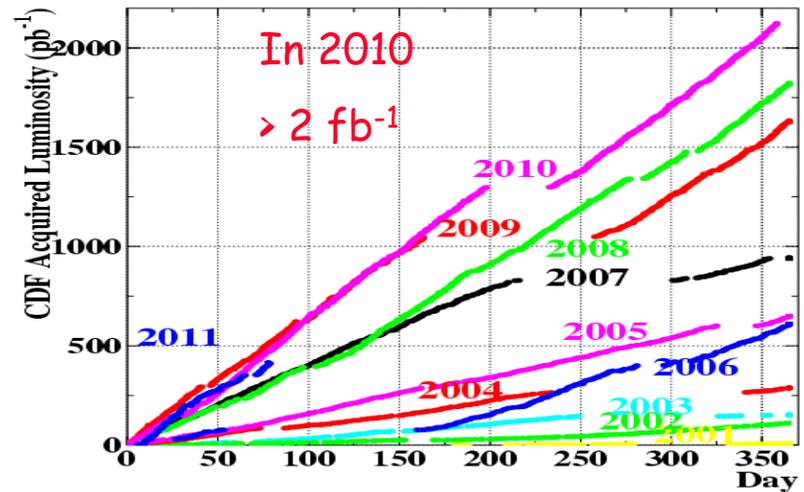
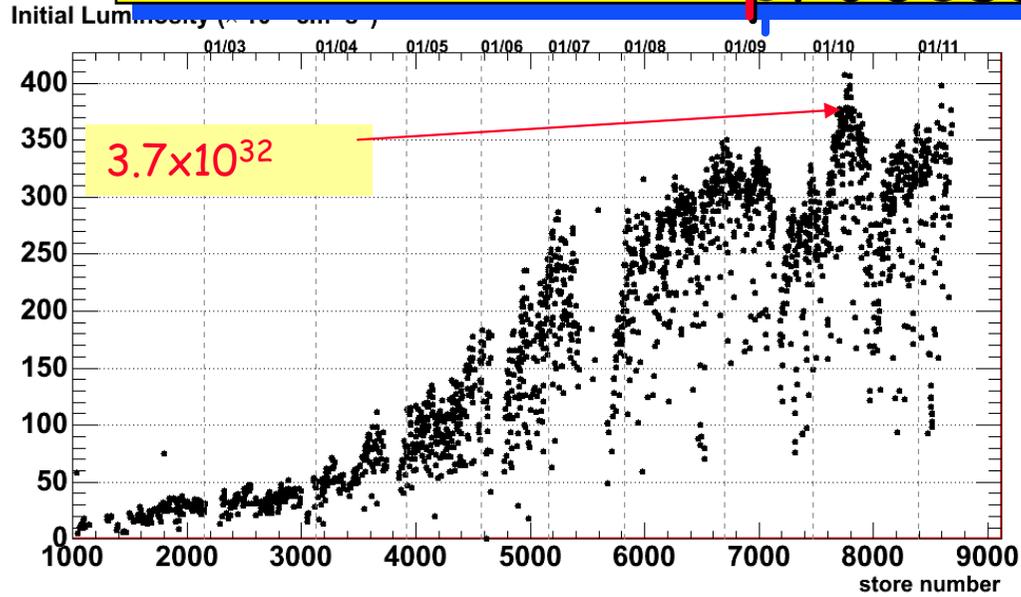
☞ ...we can go down in the ladder on the left and study rare processes $O(10^{-12})$ inelastic

⇒ Provided that our triggers can select the needle in the haystack

Questa slide l'ho presentata varie volte...

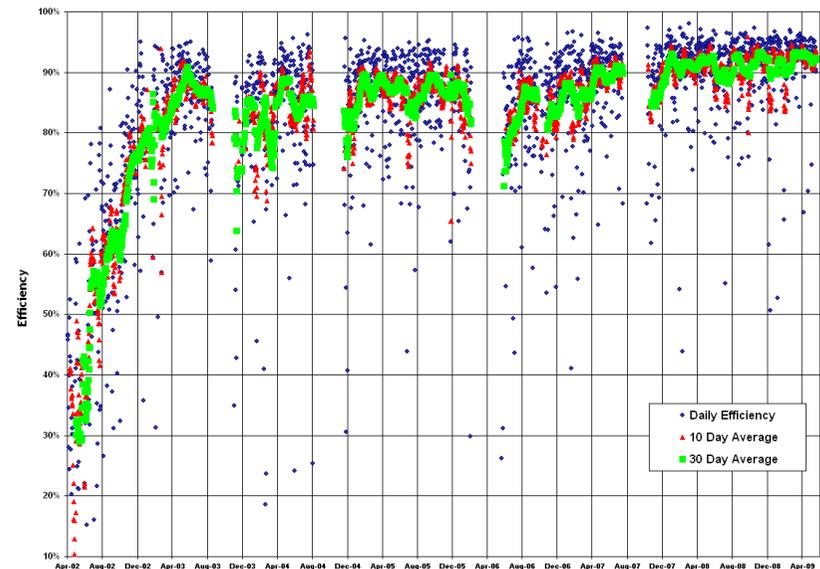
Siamo scesi via via nella scala...ci manca solo l'ultimo step!

Data un'energia, Ldt è la chiave per i processi rari



Daily Data Taking Efficiency

19 April 2002 - 7 June 2009

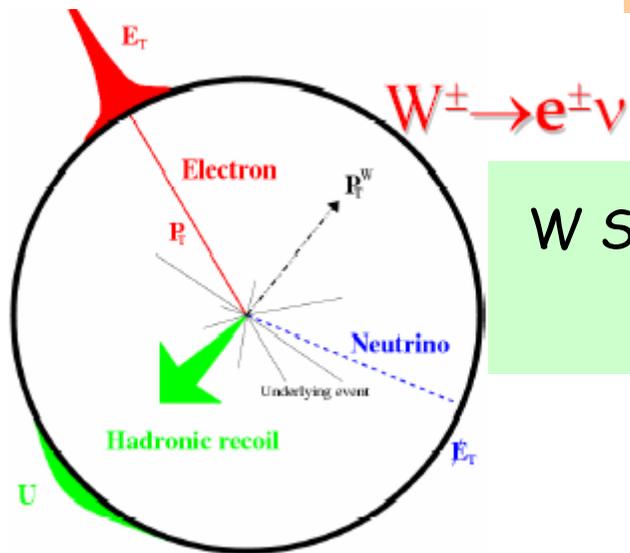


Identificazione di W/Z

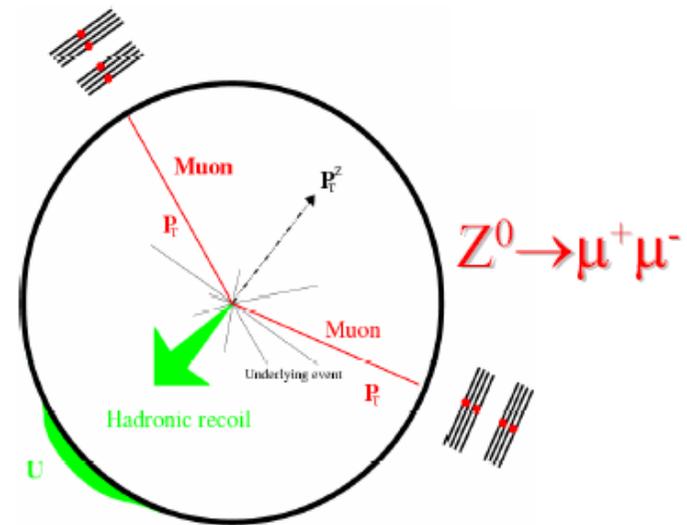
Electron:
EM Calorimeters
High P_T (Track)
Isolated

Muons:
Muon Detectors
High P_T
Isolated

Neutrinos:
Large Missing Energy
Only Transverse (\cancel{E}_T or Met)

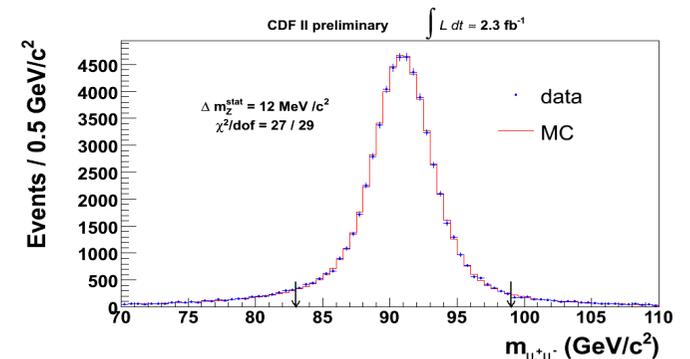
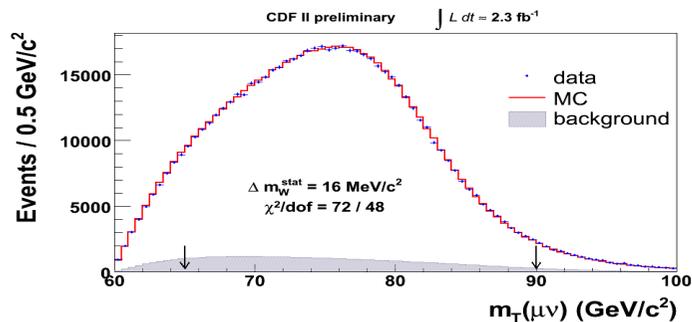


W Signature: Isolated
Lepton and \cancel{E}_T



Z Signature: Two Isolated Leptons (diff charge)

$$m_T = \sqrt{2p_T^e p_T^\nu (1 - \cos(\phi_e - \phi_\nu))}$$





Massa del W al Tevatron



Insieme ad M_{top} è connessa a M_{Higgs}



↳ Obiettivo del Tevatron:

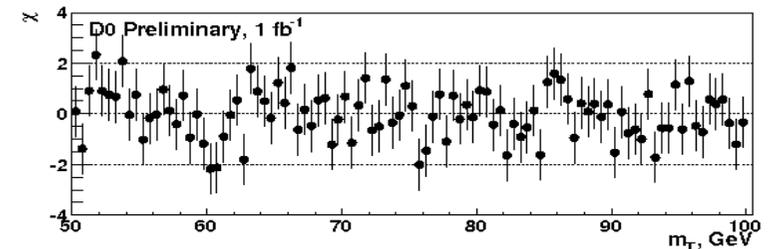
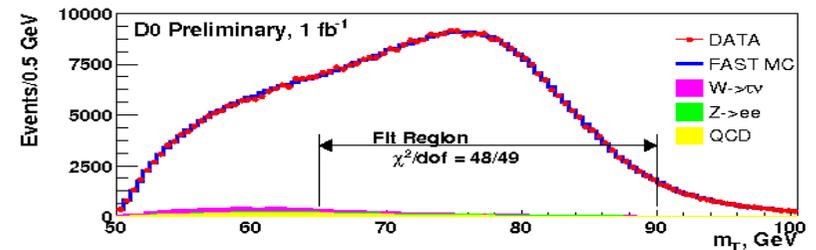
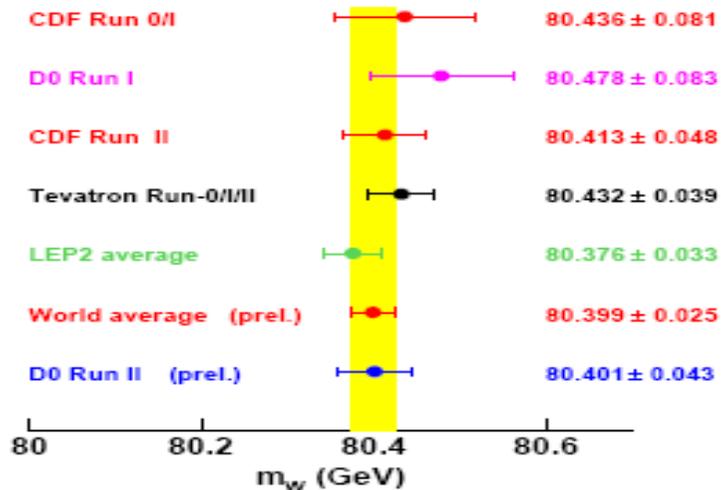
⇒ Battere il record di LEP (33 MeV)

→ Background sotto controllo

→ Systematiche ridotte

↳ Misura delicata e può prendere più tempo del previsto. Ad oggi:

D0 recent measurement with 1 fb^{-1} : $M_W = 80.401 \pm 0.021(\text{stat}) \pm 0.038(\text{syst})$
Single best measurement!



Stati finali t - $t\bar{b}$

Dileptoni ($ee, \mu\mu, e\mu$)

☞ BR = 5%

☞ 2 Leptoni high- P_T + 2 b-jets + grande missing- E_T

Leptoni (e or μ) + jets

☞ BR = 30%

☞ single lepton + 4 jets (2 da b's) + missing- E_T

All-hadronic

☞ BR = 44%

☞ 6 jets, no missing- E_T

$\tau_{had} + X$

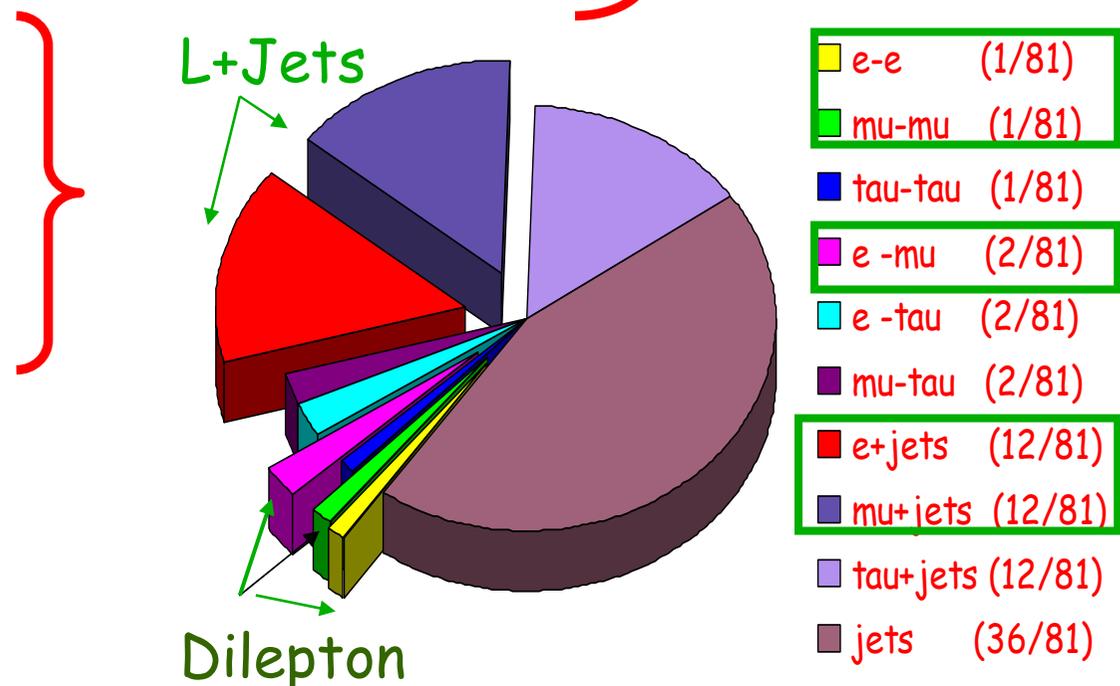
☞ BR = 21%

Canali più favorevoli

Backgrounds sono una sfida, ma misure possibili

L+Jets

Dilepton



M_{top} ... presente e futuro

Misura di M_{top} : al Tevatron, LHC:

- ☞ Ricostruzione cinematica, fit a distribuzioni di massa invariante
- ☞ Le misure più accurate nel canale lepton + jets

Precisione sperimentale per M_{top} :

- ☞ Misura \leftrightarrow comparazione dati e Monte Carlo
- ☞ Si misura la massa che è implementata nel MC
 - \Rightarrow la massa misurata non è completamente model-independent

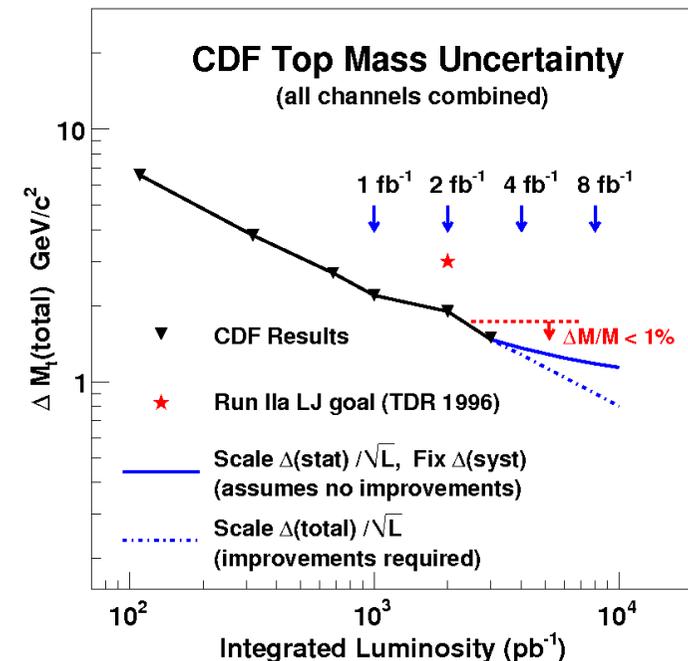
Situazione al Tevatron:

- ☞ $\delta M_{\text{top}} = 1.1 \text{ GeV}$ (Tevatron oggi)

Proiezioni a LHC:

- ☞ $\delta M_{\text{top}} < 1 \text{ GeV}$ with 10 fb^{-1}

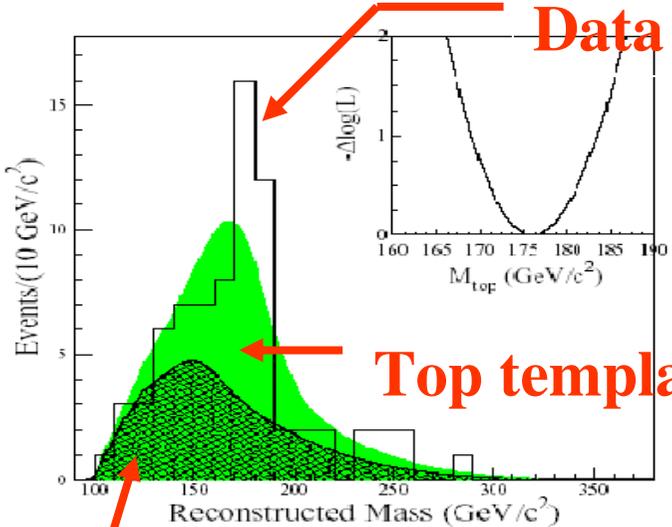
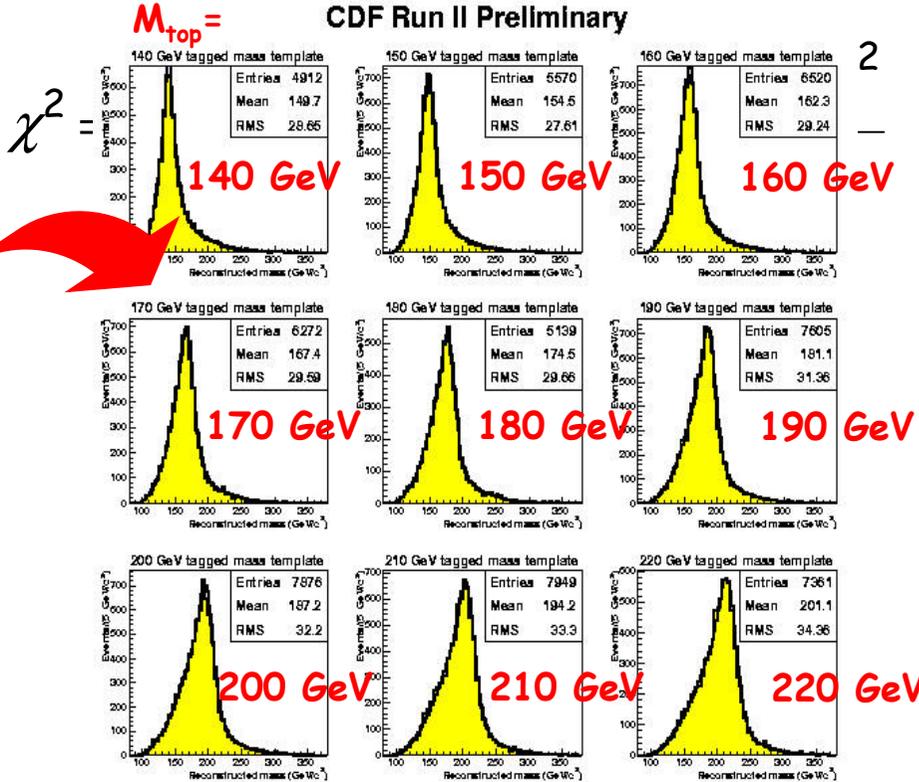
\rightarrow Ce la faremo a scendere per primi sotto al limite simbolico del GeV?



Top Mass with Template Method

Evaluate event-by-event best "reconstructed mass", M_{rec} , by using observed kinematics of $t\bar{t}$ event (e.g.: χ^2 fitter)

Create "templates", i.e. MC predictions for M_{rec} using different true masses, M_{top} .



Measure top mass with likelihood fit of data M_{rec} to signal + background template.

Background template

Riduzione della sistematica

Nel campione $W+4$ jets 2 dal decadimento adronico del W

- ☞ Calibrazione della JES in situ!
- ☞ Riduzione della sistematica con l'incremento della statistica:

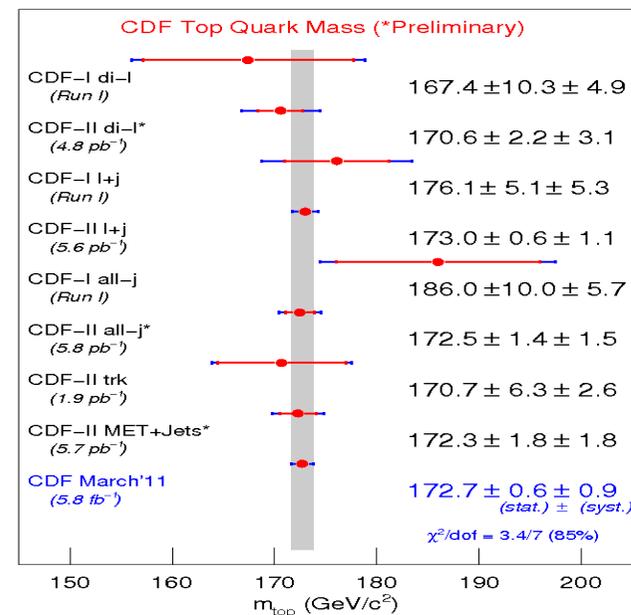
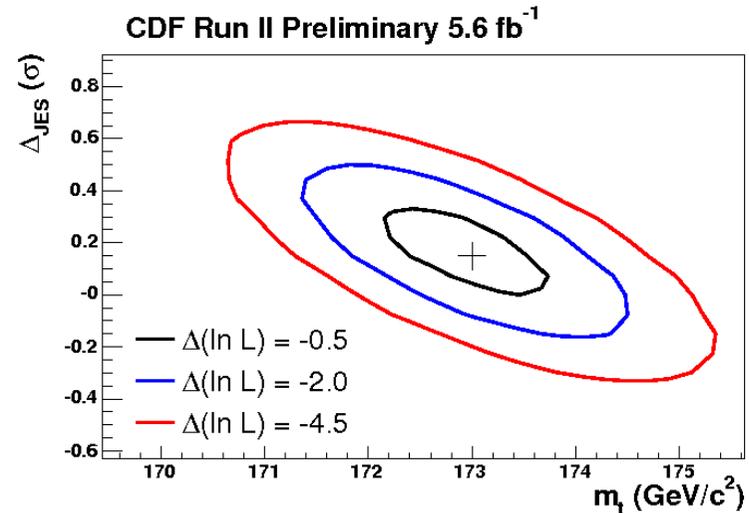
Esempio:

$L+jets$ (5.6 fb^{-1}):

Stat+JES = $0.9 \text{ GeV}/c^2$

Syst = $0.9 \text{ GeV}/c^2$

Si sfruttano anche strumenti provenienti da analisi MV per permettere un migliore S/B

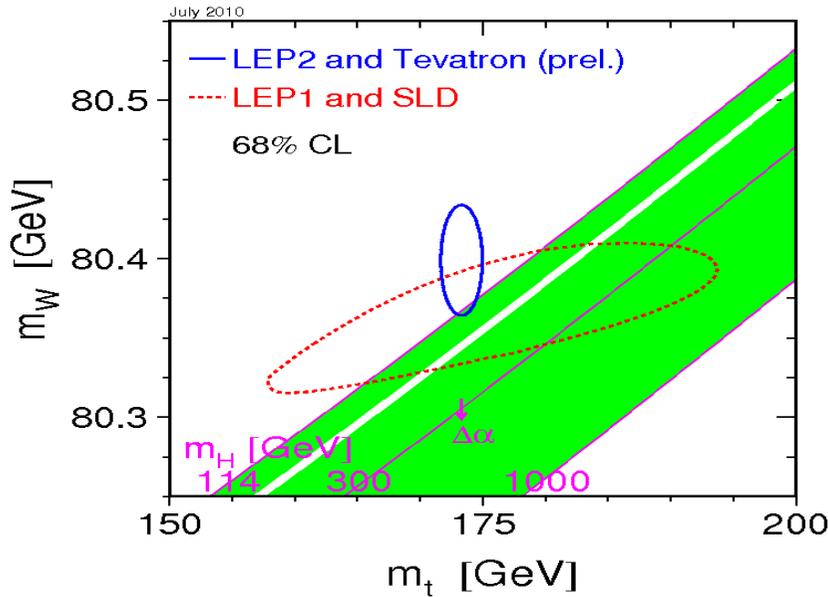




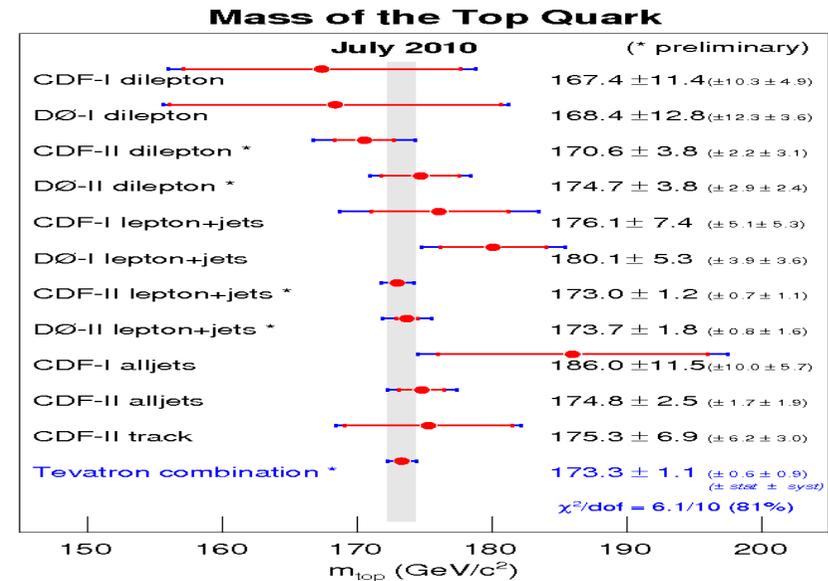
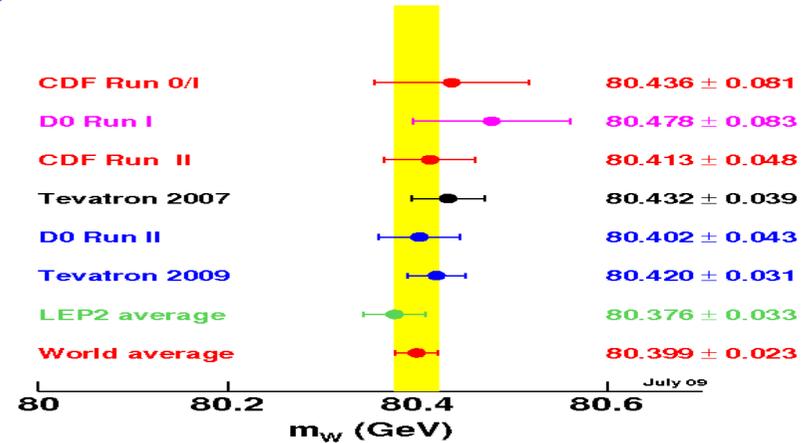
Higgs indiretto!

Tevatron misura M_{top} meglio dello 0.6%

Tevatron combined (5.6 fb⁻¹):
 $173.3 \pm 0.6(\text{stat}) \pm 0.9(\text{syst}) \text{ GeV}/c^2$
 (stat+syst=1.1 GeV/c²)



Insieme ai fit EWK:
 $M_H < 158 \text{ GeV}/c^2$ at 95 % CL



È tempo di osservazioni

Le misure (indirette) EWK "preferiscono" un Higgs di bassa massa

☞ LEP lo esclude (al 95% CL) sino a 114. (circa)

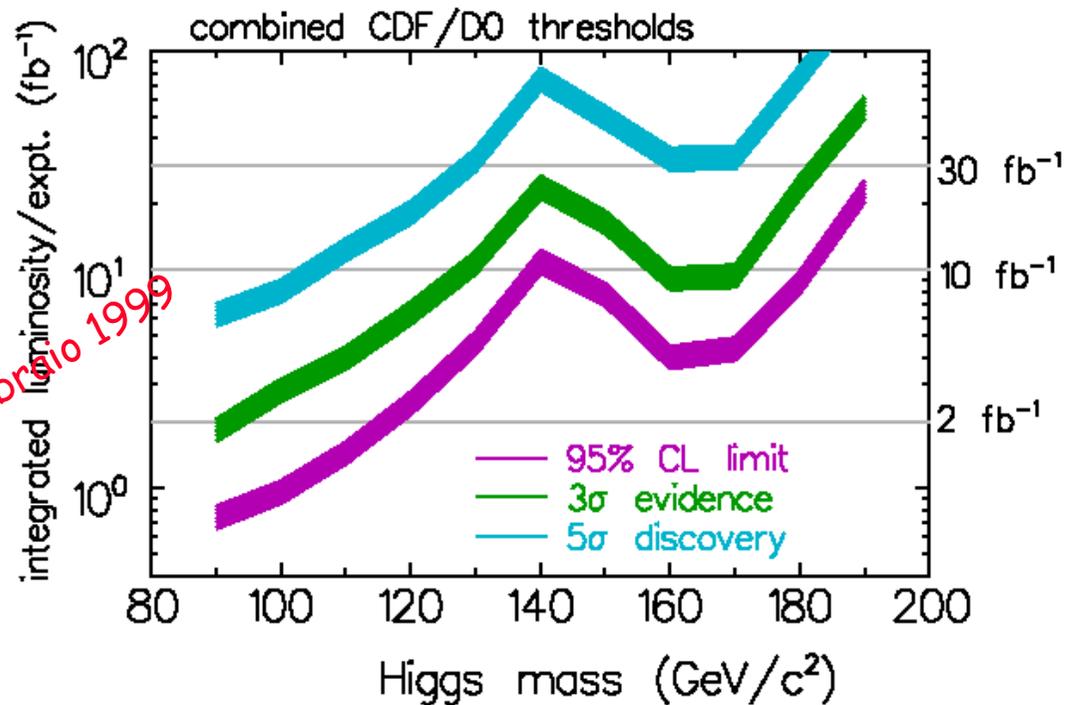
☞ Cosa si puo' fare al Tevatron?

Higgs results at CDF

- **Published results in:**
 - ⇒ F. Abe et al. PRL 81, 5748 (1998) (WH)
- **New analysis on ZH (Z-->vv, ll)**
 - ⇒ combined result with previous one on WH
 - ⇒ nothing special, there is no Higgs
- **Analysis (almost complete) on WH(W-->jj)**
 - ↳ quite interesting both as an exercise and for non-SM Higgs
 - ICHEP 98
- **Where is the BIG limit of all these analyses?**
 - ↳ NO HIGGS trigger in Run 1!!!
 - Sociological comment: most of the people involved coming from the top group, i.e. top data set(s) and techniques used (this time speaking also for myself)

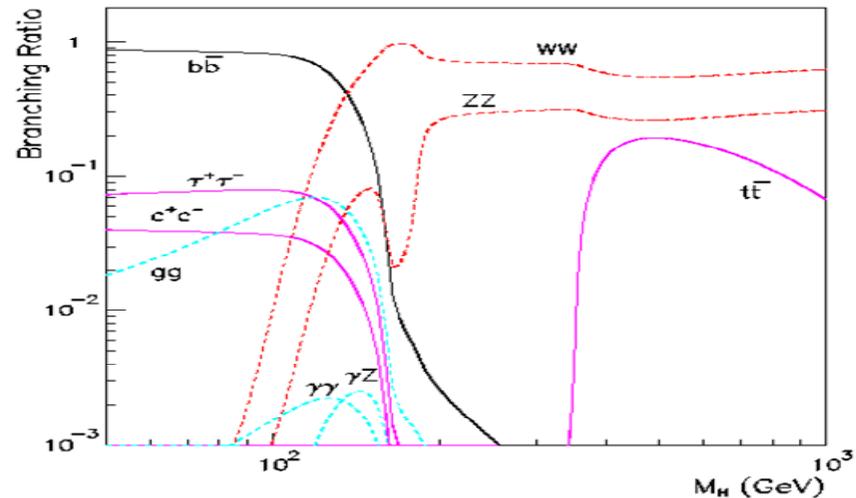
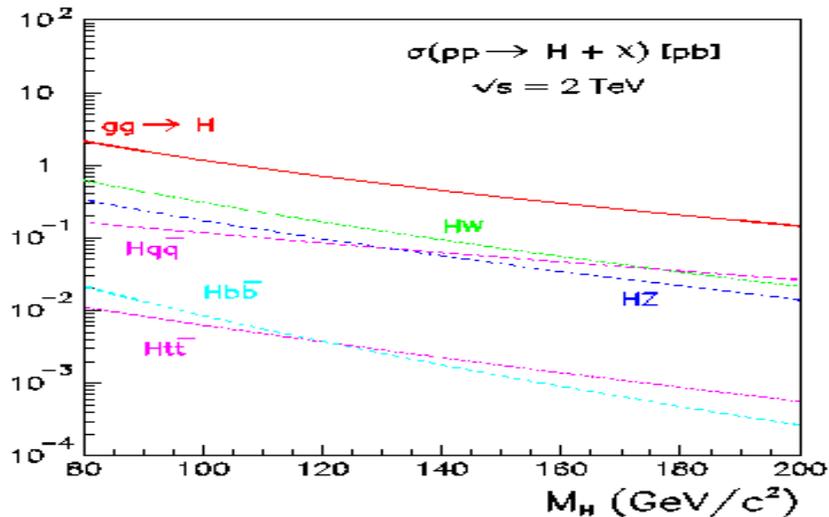
Giorgio Chiarelli, 17 febbraio 1999

NaLep, Castel dell'Ovo, febbraio 1999



Segnale-I

Al Tevatron l'Higgs è prodotto in (relativa) abbondanza attraverso $gg \rightarrow H$



Sfortunatamente, per $M_H < 135$ il canale di decadimento dominante è in $2b$ (seguiti da $2t$)

Modeste possibilità di raccogliere il segnale a livello di trigger ed enormi difficoltà a battere il fondo di produzione QCD di $2b$ jet

Ci soccorre la produzione associata ZH, WH

Diminuisce la σ ma trigger (e selezione) facile

$W \rightarrow l\nu (Z \rightarrow ll) + H \rightarrow b\bar{b}$

Segnale-II

Nella zona a bassa massa ($M_H < 135$)

- ☞ $BF(H \rightarrow 2b) \approx 80\%$
- ☞ Concentrandosi su $Z/W+H(H \rightarrow bb)$:
 - ⇒ Trigger sui leptoni (carichi o neutri)
 - ⇒ $Z \rightarrow ll, \nu\nu$; $W \rightarrow l(e/\mu)\nu$
 - canali con il τ in progress..
 - ⇒ Si cerca il segnale nel campione $V+2jets$

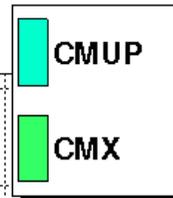
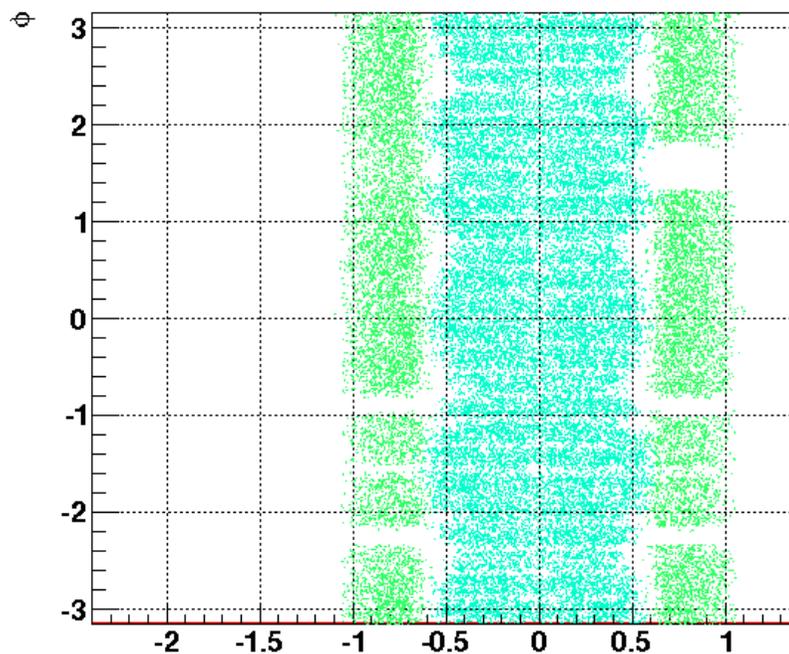
Per grandi masse

- ☞ $H \rightarrow WW \rightarrow 4l$
 - ⇒ $WW \rightarrow l\nu l\nu$; $WH \rightarrow WWW$
 - Sezione d'urto piccola
 - Aumentare l'accettazione offline dei leptoni
 - Usare vari triggers per raccogliere i pochi Higgs prodotti
 - ⇒ Osservazione storica: D0 è stato il primo a sfruttarla, CDF ha dovuto allargare (e largamente reinventare) la propria definizione di muone per ovviare ai buchi nell'accettazione

Accettanza: CDF

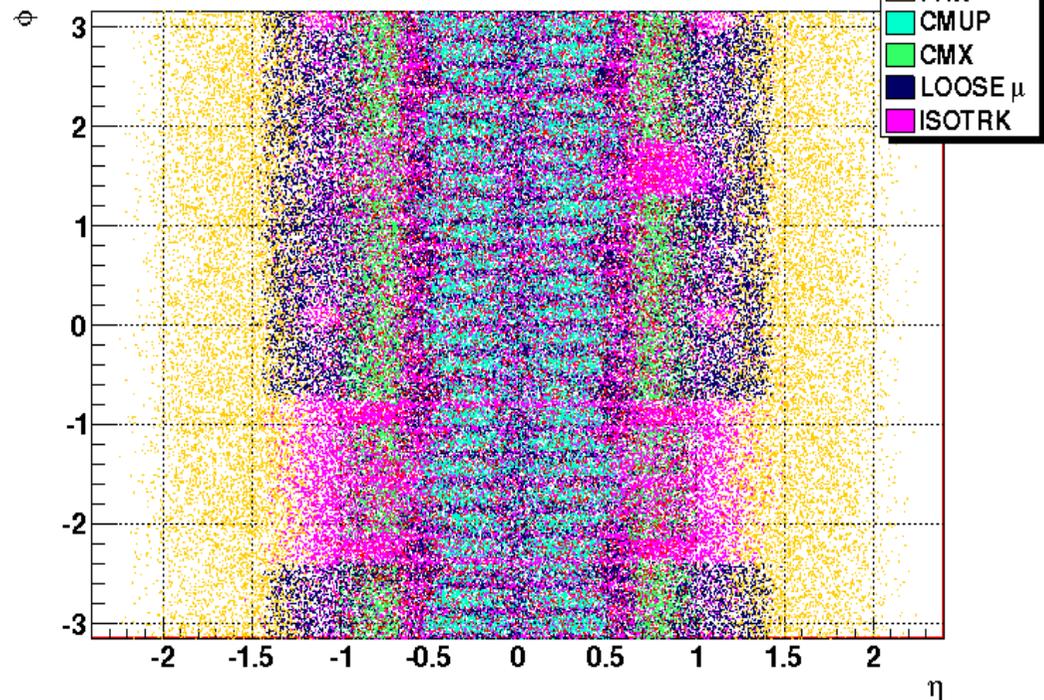
Nel canale a grande massa l'accettanza è la chiave di volta (2 leptoni carichi):

Identified Trigger Muons Scatter Plot



A sx: situazione circa 2003-2004

Identified Leptons Scatter Plot



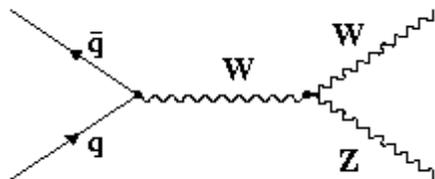
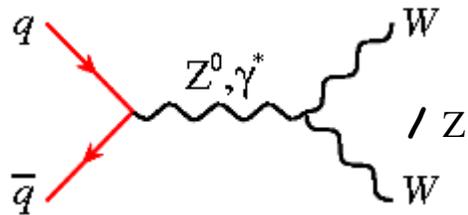
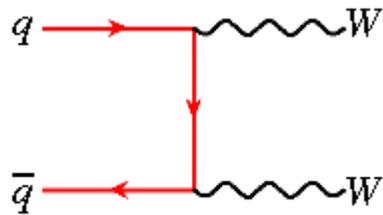
Mai dire mai!

Oggi →

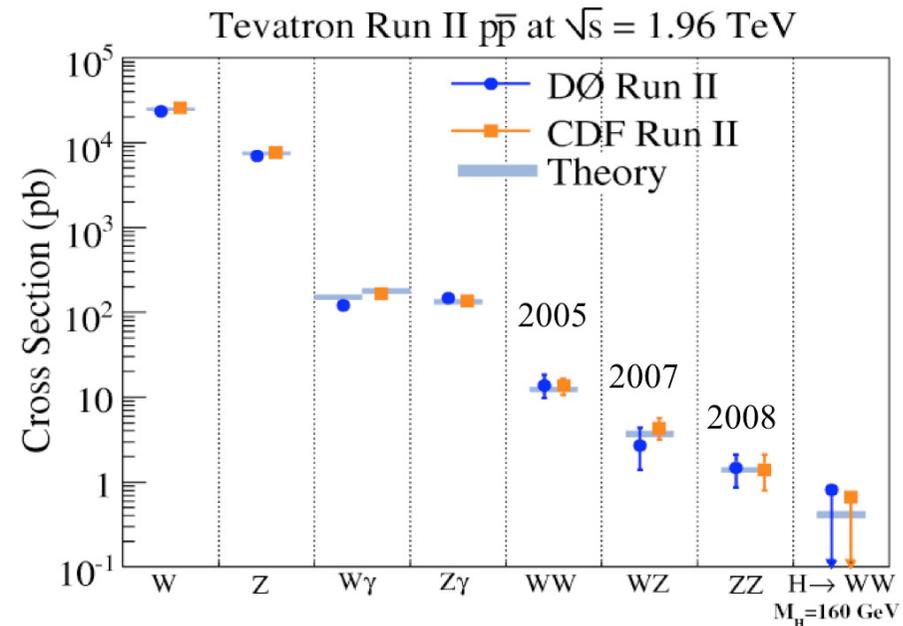
Dibosoni nei canali leptonici

$WZ, ZZ, WW, W\gamma, Z\gamma$

- ☞ Possibilità di contributi BSM: Trilinear Gauge Couplings
- ☞ Background per le ricerche dell' Higgs



Sezione d'urto infinitesime



☞ Alcuni canali hanno un S/B molto piccolo

⇒ Non funziona il "counting experiment"

→ Sfruttiamo analisi MV per isolare/evidenziare il segnale



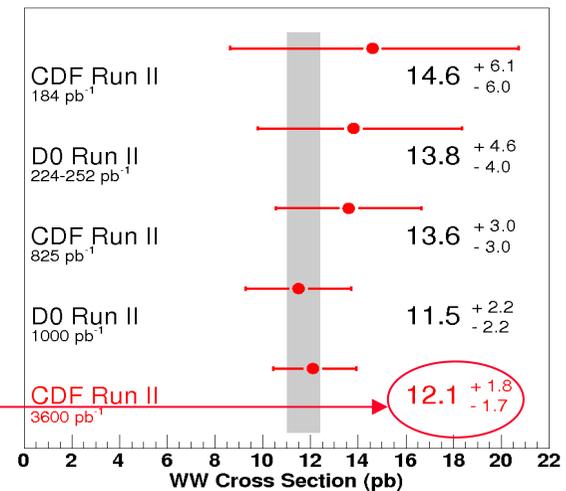
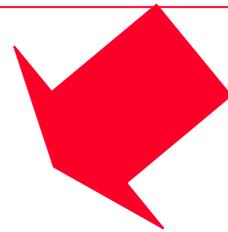
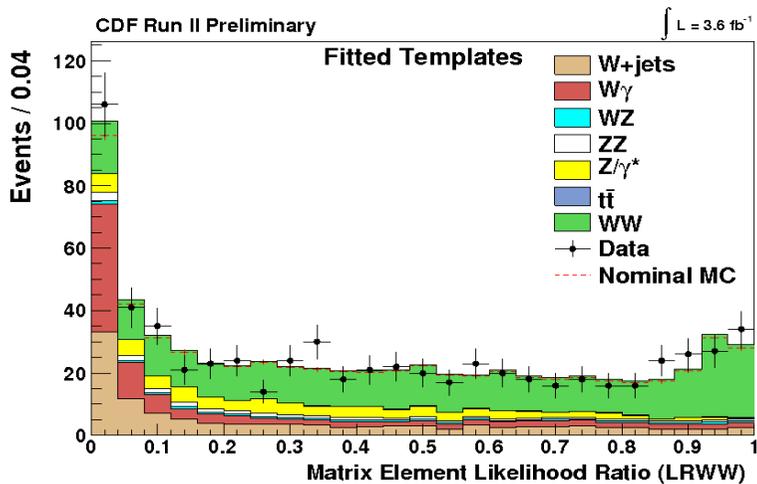
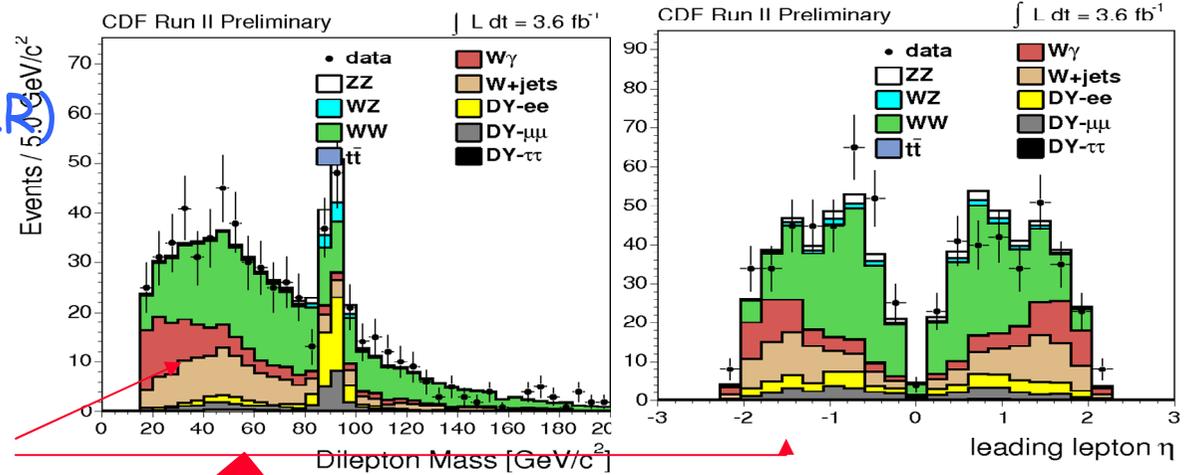
EWK- Diboson



☞ WW:

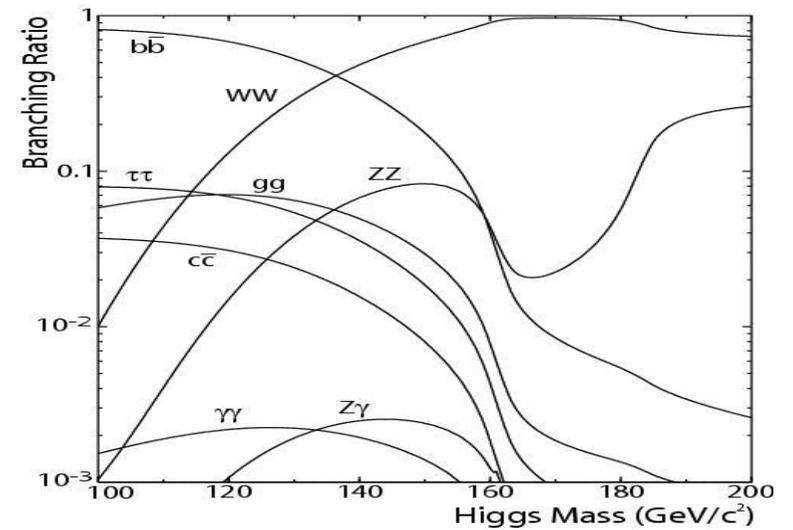
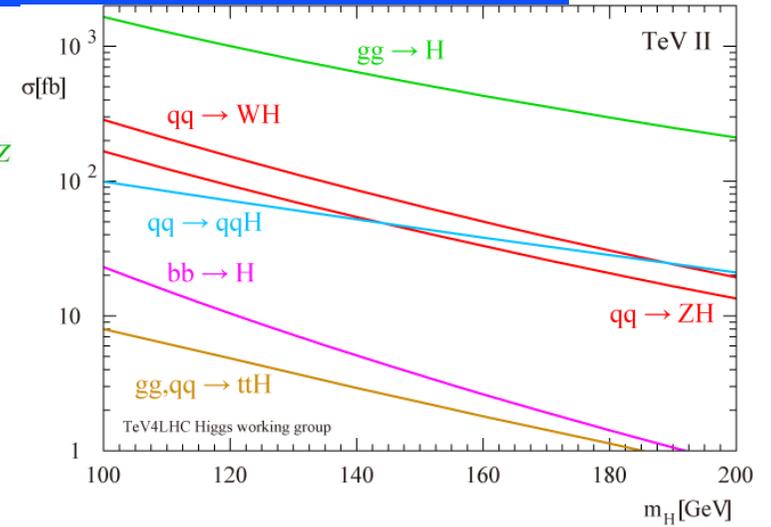
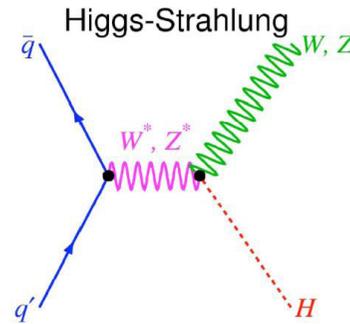
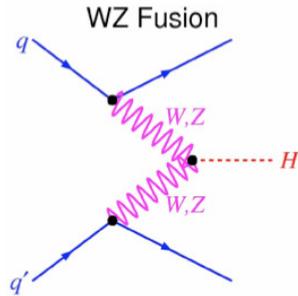
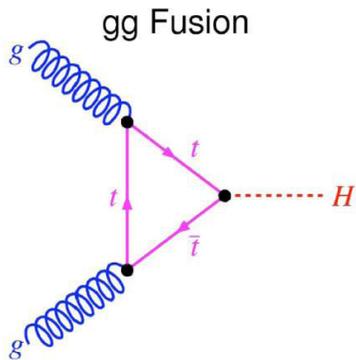
⇒ CDF con 3.6 fb^{-1}

⇒ Use di tecniche multivariate (ME LR) in $WW \rightarrow ll\nu\nu$



Produzione e decadimento

Ecco



I fondi

La zona per $M_H > 130$ GeV piuttosto pulita

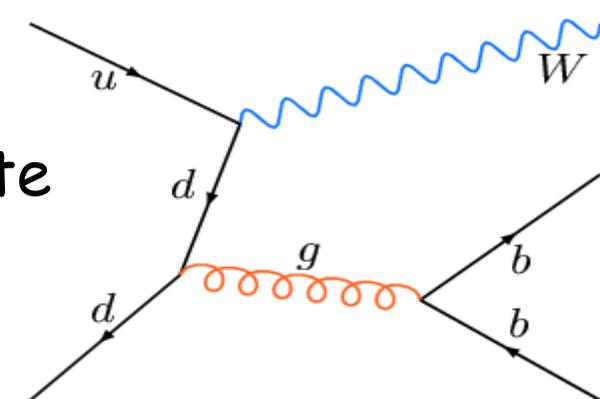
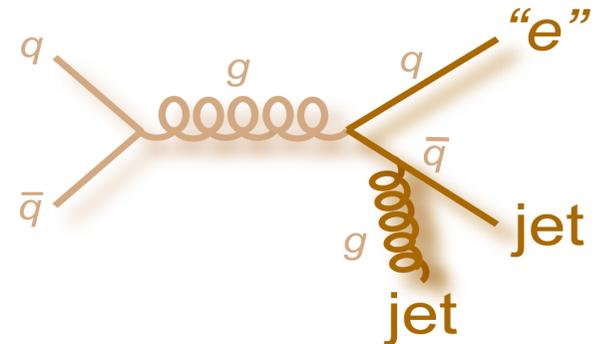
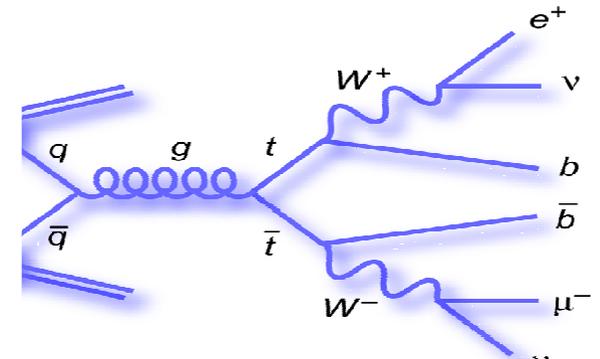
☞ Produzione ttbar, Diboson, DY

La zona a bassa massa

☞ Contributi variegati:

- ⇒ Multijet (uso del b-tagging)
- ⇒ W+jets (W+cc/bb sopravvive)
- ⇒ EWK (WZ/WW)
- ⇒ Ttbar
- ⇒ Single top

☞ È stato necessario sviluppare strategie indirizzate individualmente a ciascuno dei fondi in gioco



Produzione H+W/Z

Trigger su uno (o due) leptoni, ricerca offline

- ☞ WH ha una topologia W+2jets
 - ⇒ $W \rightarrow e/\mu + \nu$
- ☞ Identica WW/WZ \rightarrow W+2jets
 - ⇒ Simile ad alcune topologie del single top
 - Fondo insidioso da eventi multijet
- ☞ ZH risente della sezione d'urto piccola
 - ⇒ Si sfruttano tutti i canali $Z \rightarrow (ee, \mu\mu, \nu\nu)$

Un obiettivo intermedio:

- ☞ Misurare WW/WZ \rightarrow W+cc/bb
 - ⇒ Processo noto e benchmark rispetto ad una scoperta
 - ⇒ Calibrazione dei MC e dei calcoli teorici

Comprendere il fondo $W+2j$

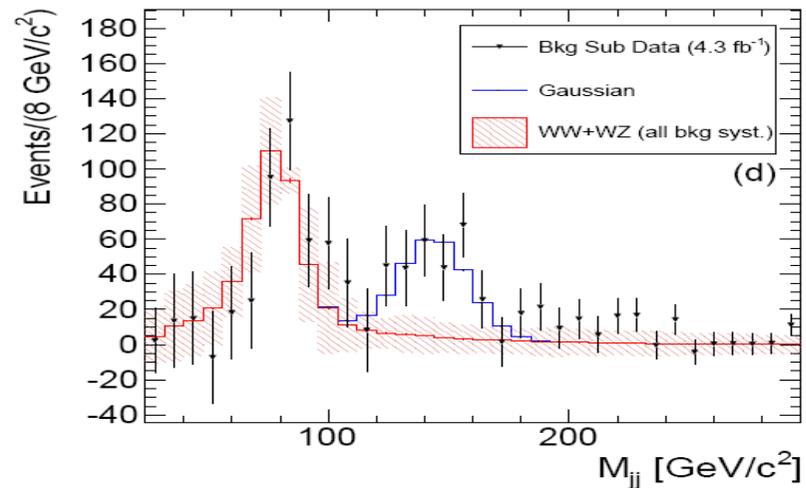
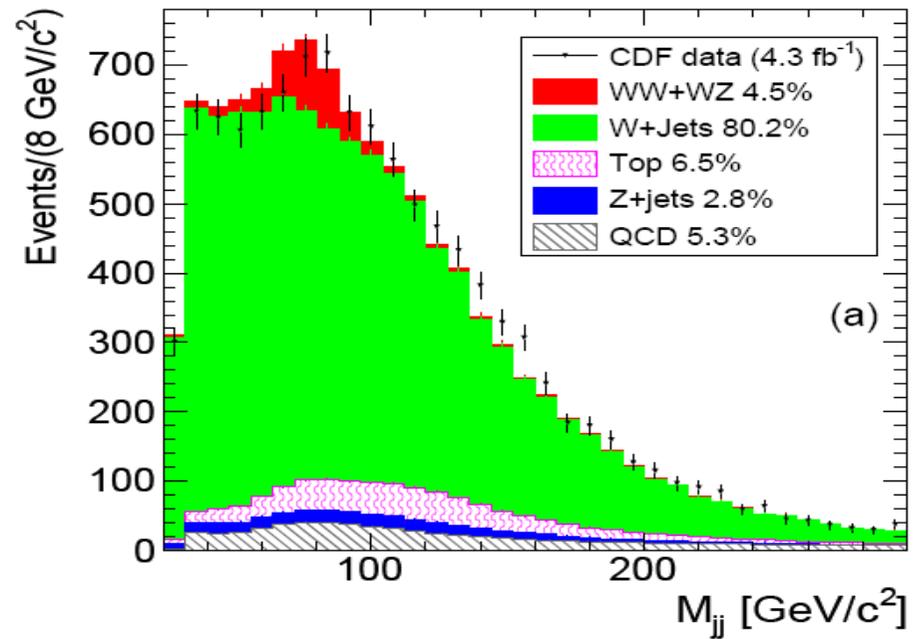
Step 1

- ☞ Misura $WW/WZ \rightarrow Wjj$
 - ⇒ σ in accordo con previsioni SM:
 $18.1 \pm 3.3(\text{stat}) \pm 2.5(\text{syst}) \text{ pb}$

Nessun uso del b-tagging!

- ☞ Qualche volta ci sono sorprese

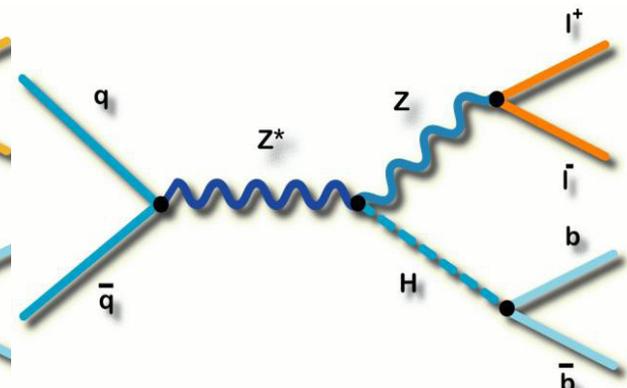
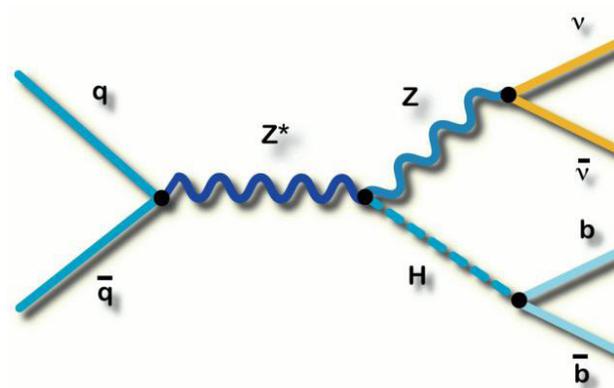
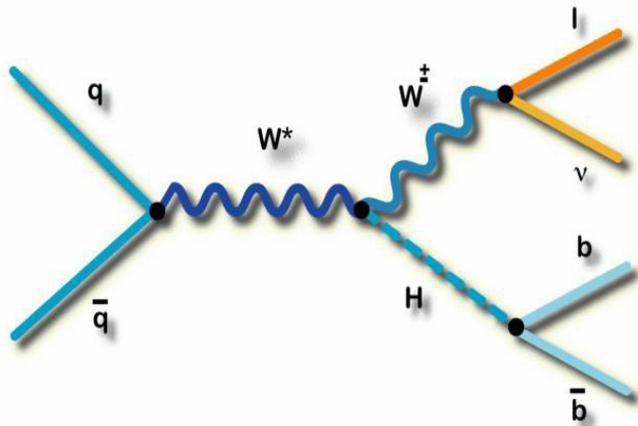
- ☞ Eccesso di eventi sul fondo atteso con $\text{Sign}=3.2 \text{ s.d.}$



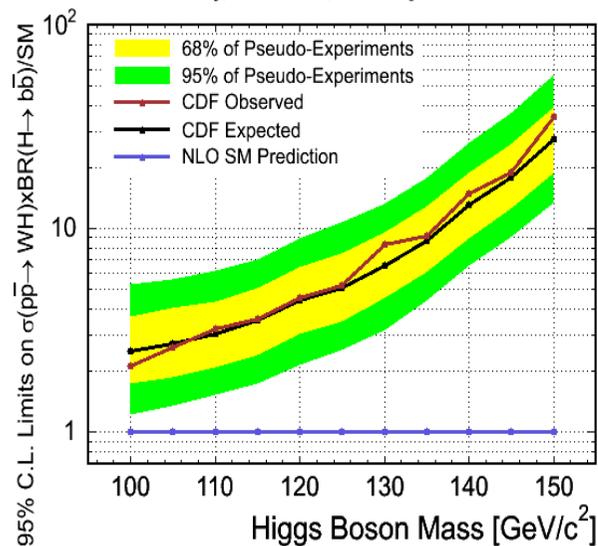
...Ma niente H..quindi limiti a bassa massa

Sommario dei limiti:

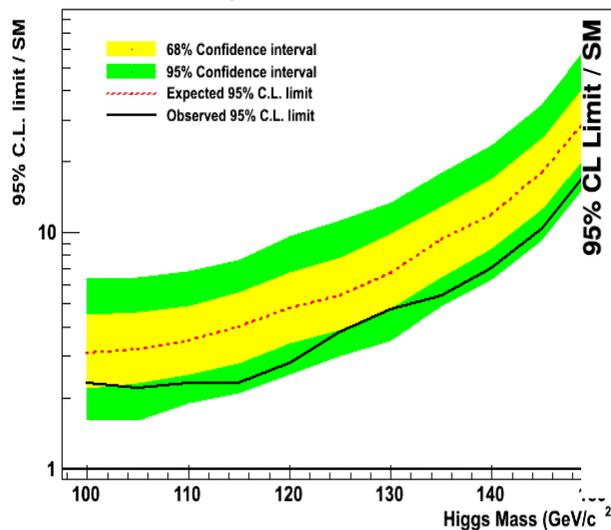
i 3 canali sotto hanno approssimativamente la stessa significatività



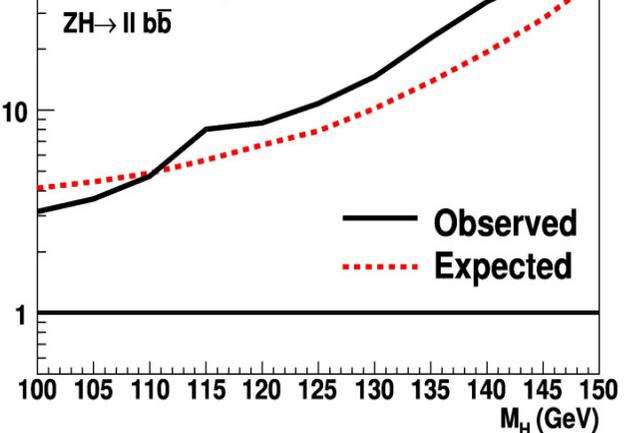
CDF Run II Preliminary, L = 5.6 fb⁻¹, 2 and 3 jets



CDF Run II Preliminary, 5.7 fb⁻¹

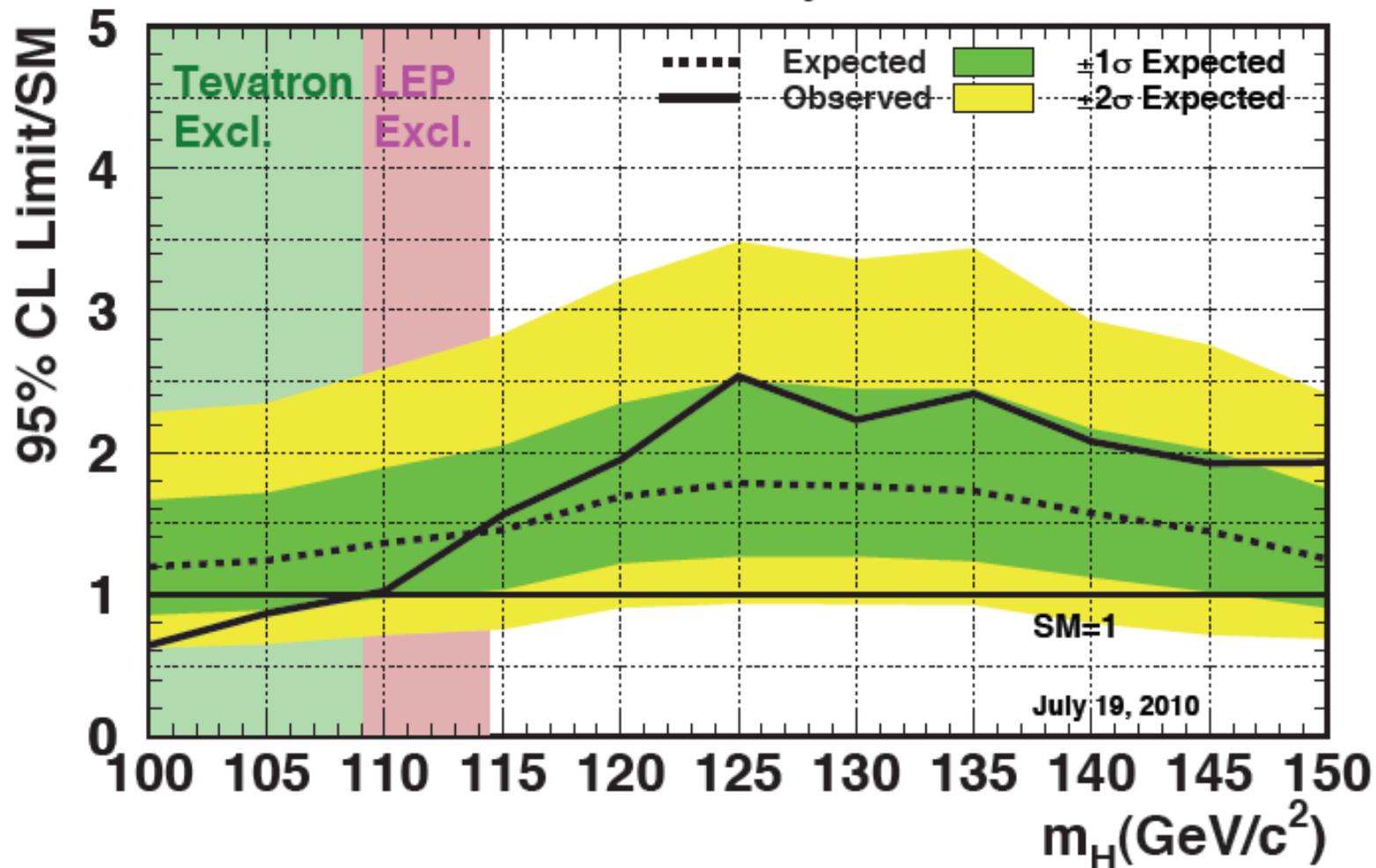


DØ Preliminary, 6.2 fb⁻¹



Limite nella zona a bassa massa

Ultima combinazione: estate 2010
(data presunta per la prossima: estate 2011)



La massa "alta"

Il primo limite diretto dalla chiusura di LEP!

☞ Canale "semplice": $H \rightarrow WW^*$

⇒ Forza bruta+intelligenza

⇒ Combinazione più semplice, uso della luminosità integrata più immediato:

CDF: 7.1 fb^{-1}

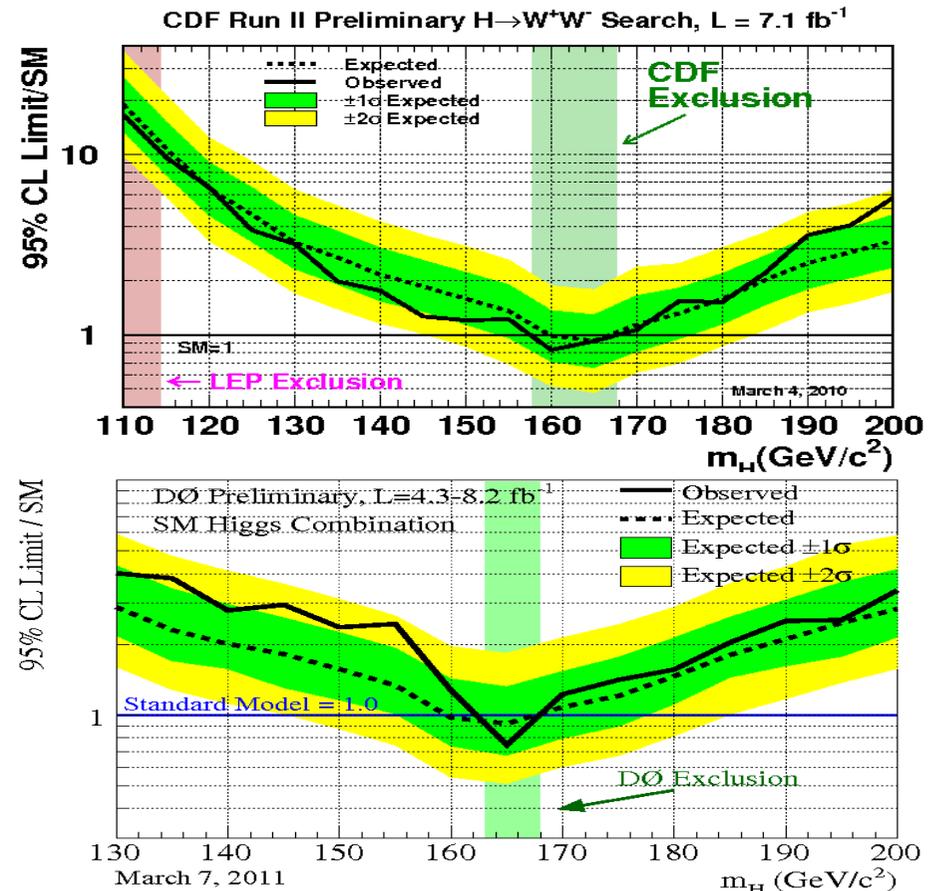
$H \rightarrow WW^*$ (e, μ, τ adronico)

DØ: $4.3\text{-}8.2 \text{ fb}^{-1}$

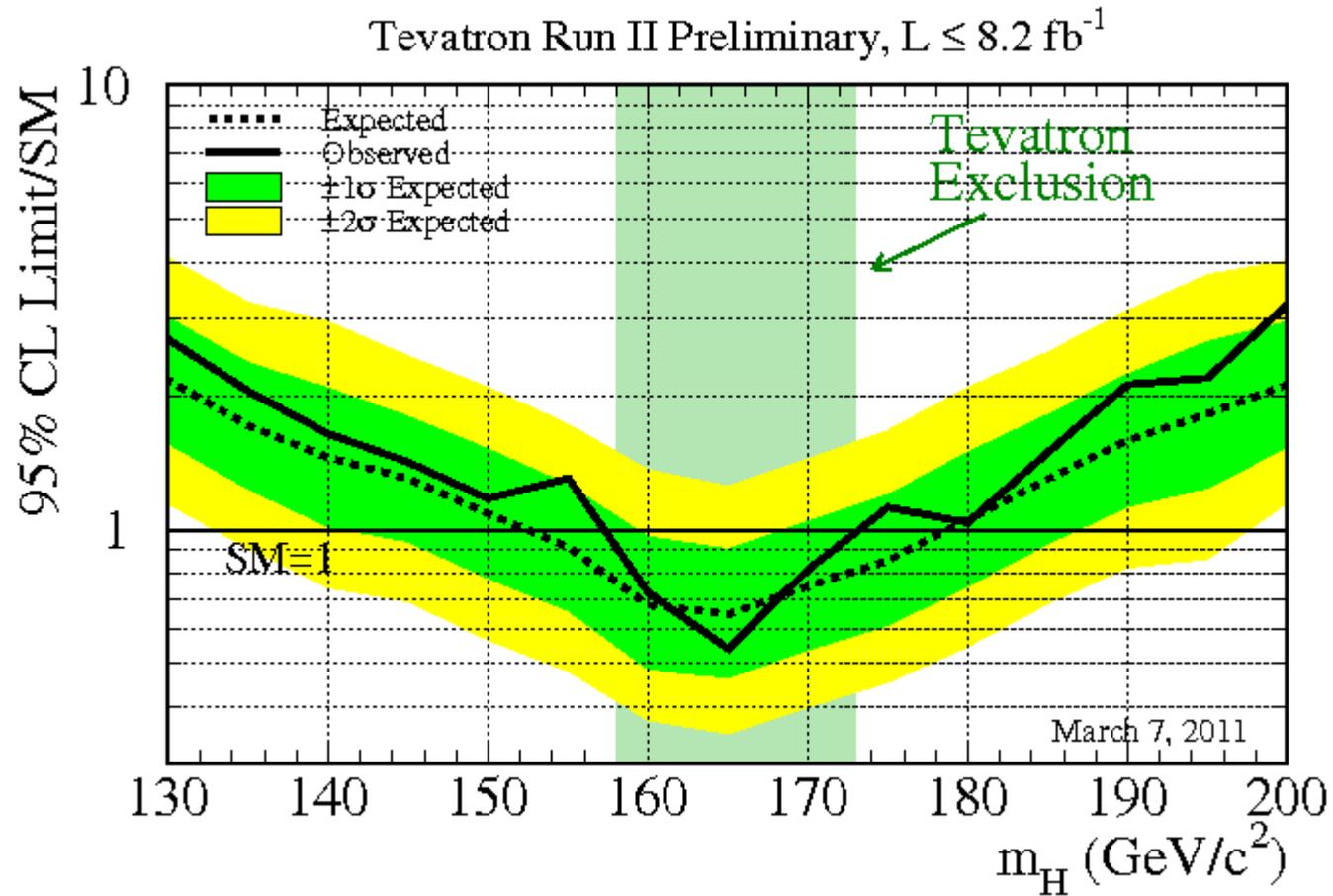
$H \rightarrow WW^*$ (e, μ, τ adronico)

$H \rightarrow \tau\tau$

$H \rightarrow \gamma\gamma$



Esclusione $158 < M_H < 173 \text{ GeV}/c^2$



Update: Marzo 2011

Fin dove arriveremo?

Alta massa

- ☞ Forza bruta+ vari sottocanali da esplorare
 - ⇒ Consolidamento del limite
 - ⇒ Esplorazione della zona tra 130 e 160?
 - Showdown quest'estate?

Bassa massa

- ☞ Qui il gioco (anche per LHC) è duro
 - ⇒ Sfruttare il canale $H \rightarrow \gamma\gamma, \tau\tau, WH \rightarrow \tau\nu b\bar{b}$
 - ⇒ Ampliamento delle accettanze attraverso la ridefinizione dei leptoni (ancora accettazione + trigger!)
 - In corso
 - ⇒ Riduzione dei fondi con grande incertezze (tecniche MV per ridurre multijet etc)
 - ⇒ Nuovo b-tagging a CDF? (summa)
 - In corso

La fisica di alto Pt

Dopo un quarto di secolo di esplorazione (e consolidamento) del modello standard gli esperimenti al Tevatron stanno per terminare la sua presa dati

⇨ Alcune analisi di alto Pt dureranno due-tre anni

⇨ Misura di M_W , M_{top}

→ Vincolo su $M_{\text{Higgs}}^{\text{SM}}$

⇨ Misura della $\sigma(\text{ppbar} \rightarrow \text{single top})$ nel canale s

⇨ Esplorazione dei processi W+jets

Ma soprattutto

⇨ Higgs (a bassa massa accesso ai canali con accoppiamento diretto)

⇨ Il Tevatron è stato una macchina di esplorazione, come lo sarà LHC

⇨ Ci sarà una fisica oltre il Modello Standard da esplorare?

Conclusioni

La fisica di Alto Pt è la pietra angolare del modello standard

- ☞ In un collider adronico si accede ad un numero impressionante di stati finali in cui leptoni e jets ci aiutano a ricostruire l'hard interaction
 - ⇒ La complessità degli stati finali e degli stadi intermedi è una sfida per i MC
 - Ove possibile sfruttare i dati stessi per vincolare i fondi

- ☞ La complessità delle analisi è una sfida intellettuale che non ammette confini:
 - ⇒ **Mai dire mai!**
 - Eccezione: garantirsi che il trigger raccolga il maggior numero possibile di eventi dei campioni di segnale e di controllo
 - Quel che metti ce ritrovi!