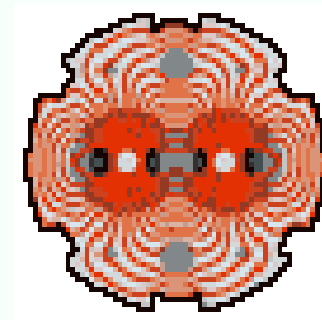
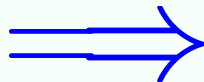
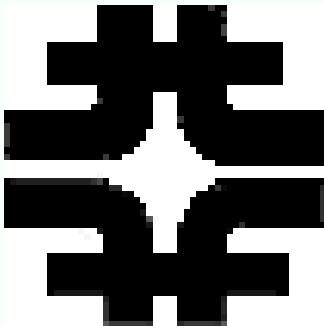


Incontri sulla Fisica delle Alte Energie

Parma, 3-5 Aprile 2002

Alla ricerca dell'Higgs: Tevatron verso LHC

Stefano Lacaprara, INFN e Università di Padova

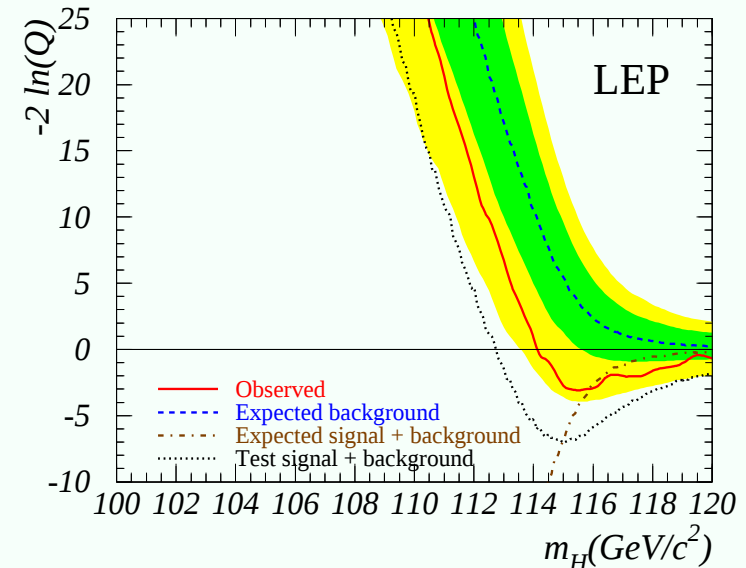


Sommario:

- ▶ Stato attuale: dove non é l'Higgs e dove potrebbe essere;
- ▶ Ricerca dell'Higgs a Tevatron;
- ▶ ...e a LHC
- ▶ Prospettive: confronto Tevatron - LHC
- ▶ Conclusioni: quando e dove lo troveremo??

Limiti diretti:

- ▶ Limite diretto da LEP2;
- ▶ $m_{H^0} > 114.1 \text{ GeV}$ @ 95% C.L.;
- ▶ “evidenza” @ 2.2σ : $m_{H^0} = 115.6 \text{ GeV}$



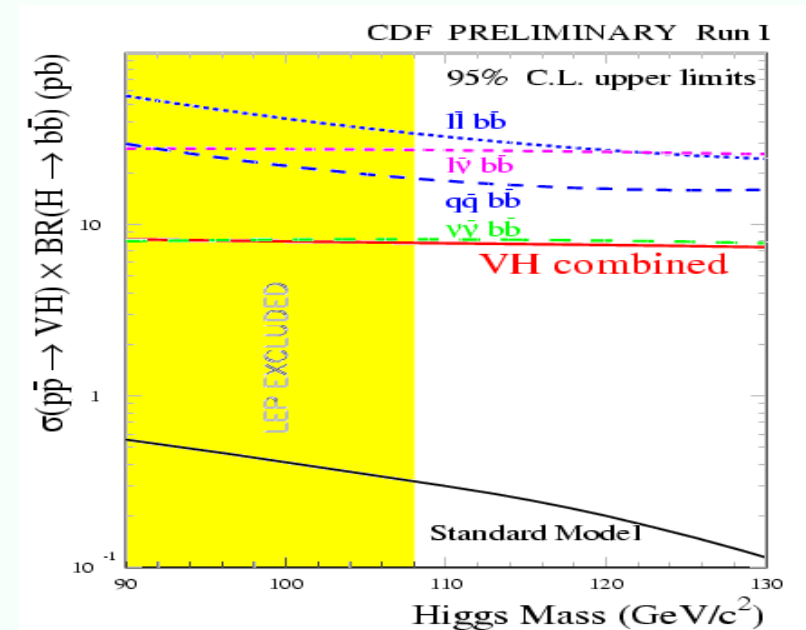
- ▶ Limite diretto Tevatron:
- ▶ $\sigma(p\bar{p} \rightarrow HW/Z) \times \text{BR}(H \rightarrow b\bar{b})$
 $< 8 \text{ pb}$ @ 95% C.L.

- ▶ Standard Model:

$$\sigma \times \text{BR} \approx (5 \div 1) \times 10^{-1} \text{ pb}$$

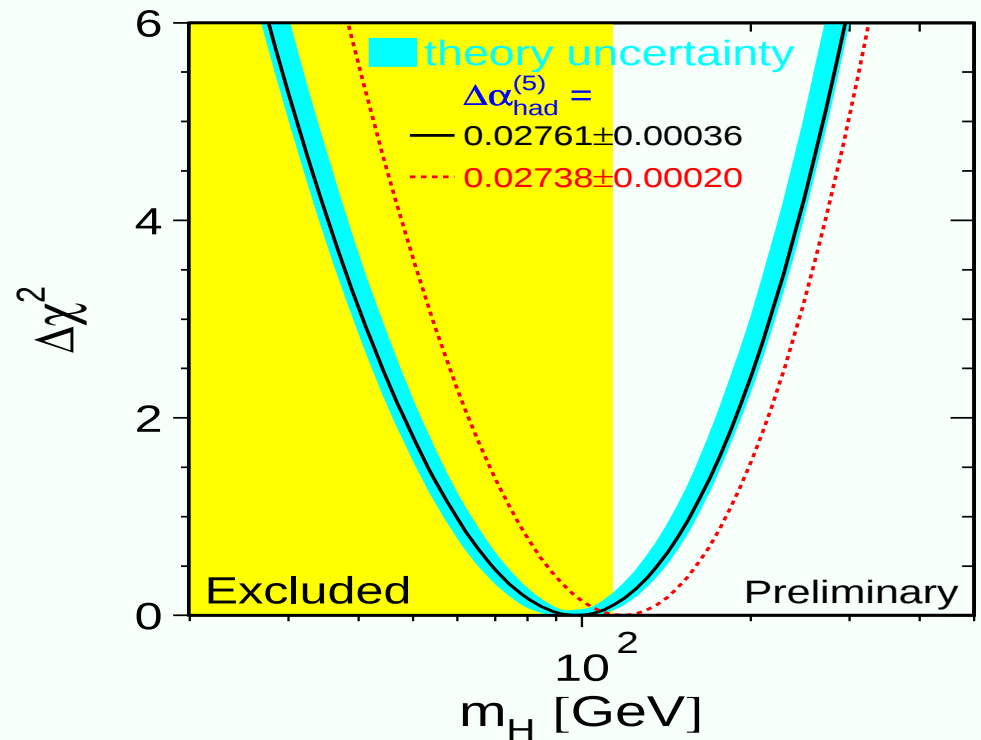
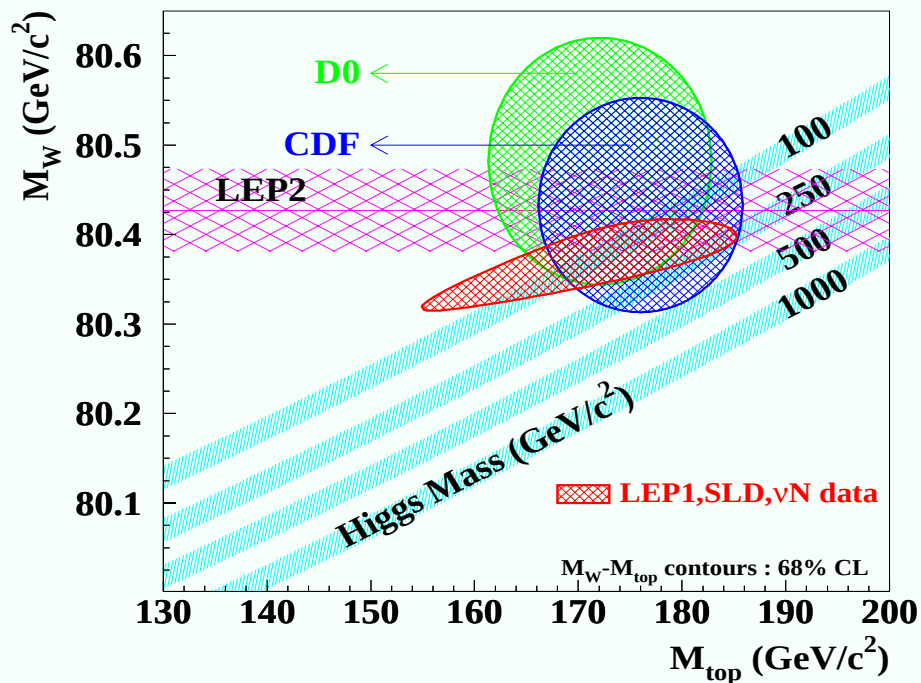
per $m_{H^0} \sim 90 \div 130 \text{ GeV}$;

- ▶ $\Rightarrow$ **nessun limite!**

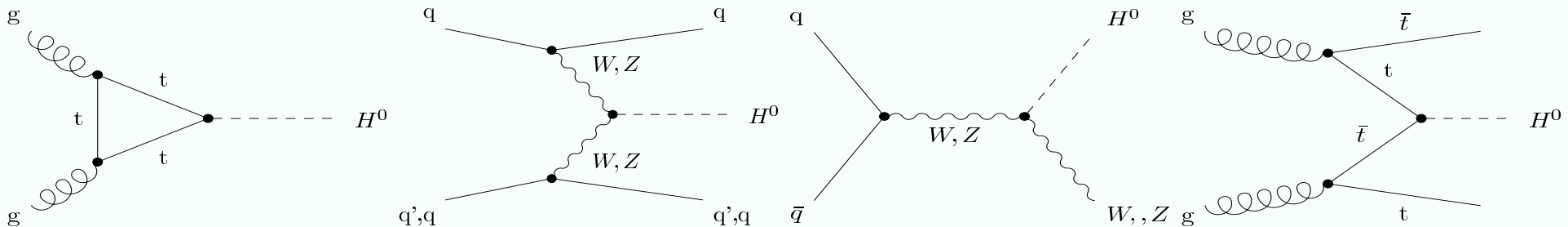
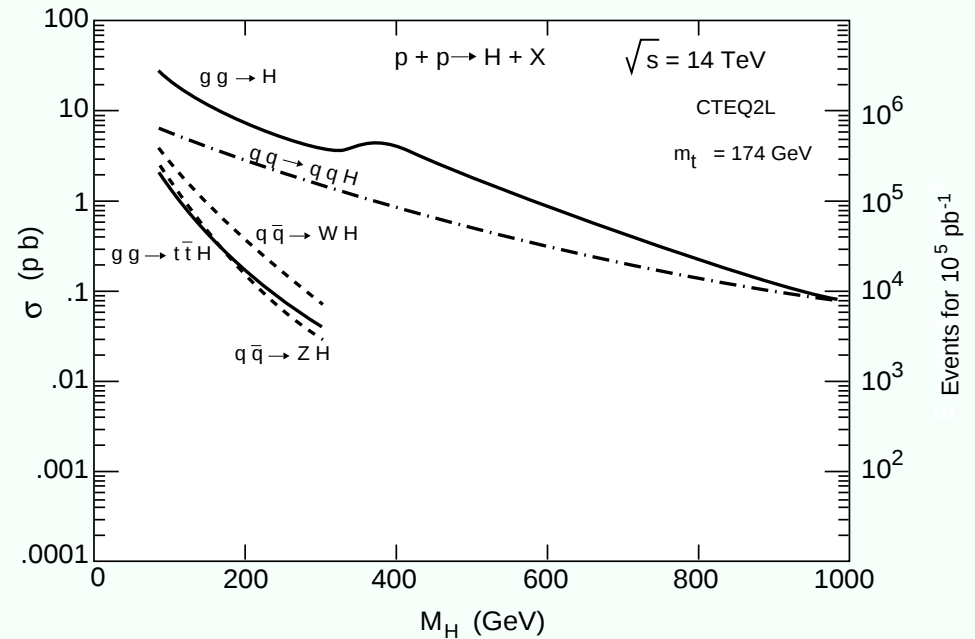
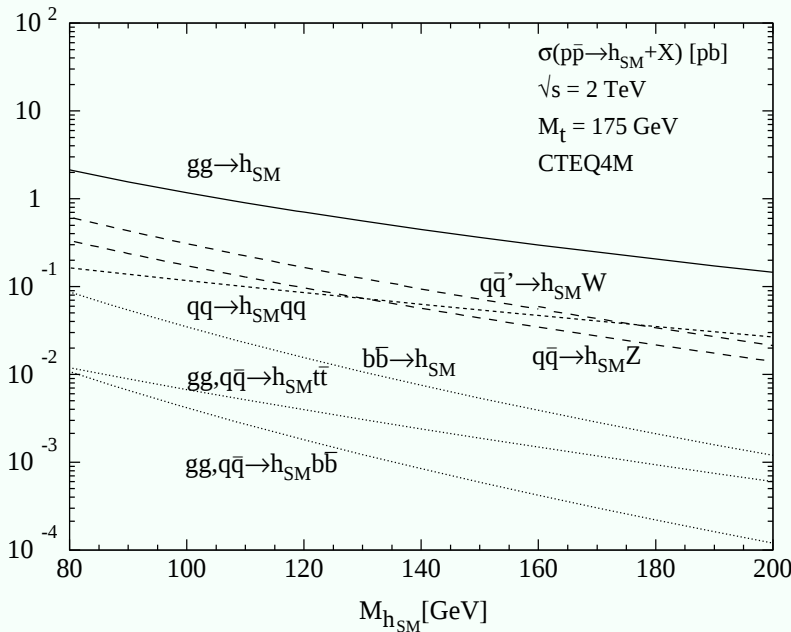


Limiti indiretti:

- Fit S.M. ai parametri EW: $m_W, m_{top}, \dots \propto \log(m_{H^0})$;
- $m_{H^0} = 88^{+53}_{-35} \text{ GeV}$ $m_{H^0} < 196 \text{ GeV @ 95\% C.L.}$;
- Upper limit da consistenza S.M.: $m_{H^0} \lesssim 1 \text{ TeV}$.

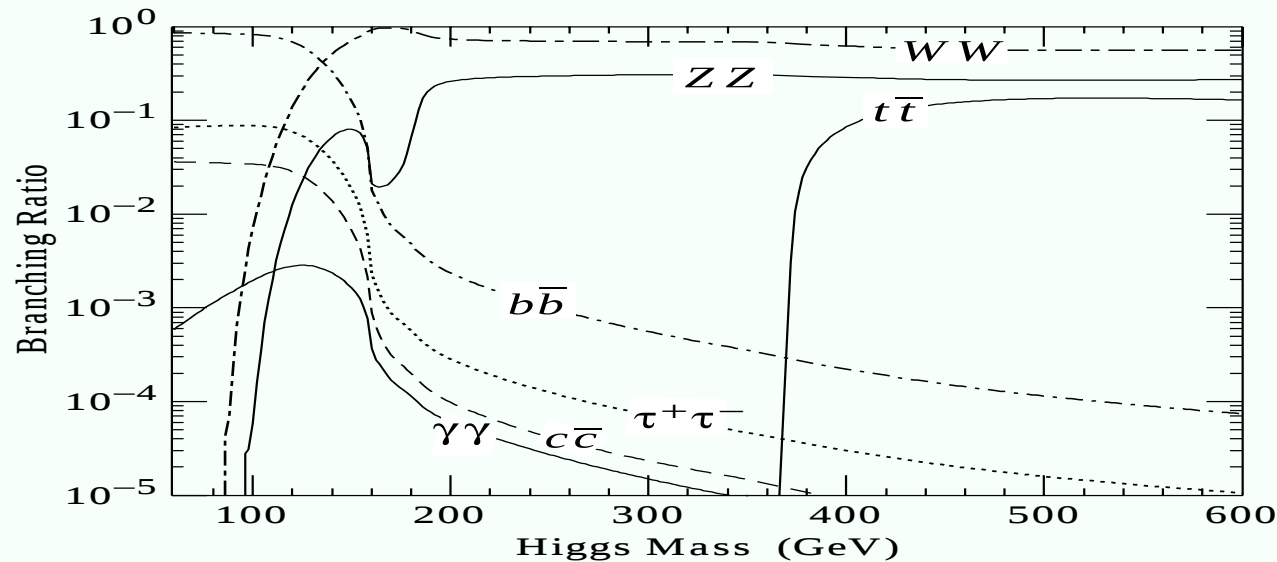


Strategie di ricerca: σ produzione $\sqrt{s} = 2, 14$ TeV



- Processo dominante: gluon fusion $gg \rightarrow H$: richiede $H - decay$ molto pulito;
- Vector Boson Fusion (VBF) $qq \rightarrow Hqq$: 2 forward jets $\rightarrow$ riduzione fondo.
- Prod. associata $t\bar{t} \rightarrow Ht\bar{t}$ e $qq \rightarrow (W/Z)H$: riduzione segnale per ricostruzione $W/Z/top$ e possibilità trigger su leptoni.

Strategie di ricerca: Higgs branching ratio



- Canale puramente adronico molto complesso per background QCD:

$$\sigma(gg \rightarrow H(120) \rightarrow b\bar{b}) \approx (0.7 - 30 \text{ pb}); \sigma(b\bar{b}) \approx (1 - 500 \mu\text{b}) \sqrt{s} = 2 - 14 \text{ TeV}$$

- Stato finale con μ , e , γ : da H decay o prod. associata $H + V (= W/Z)/top$;

$m_{H^0} \lesssim 135 \text{ GeV}$	$135 \text{ GeV} \lesssim m_{H^0} \lesssim 2m_Z$	$m_{H^0} \gtrsim 2m_Z$
$HV \rightarrow b\bar{b} + (l\nu, \dots)$	$H \rightarrow VV^* \rightarrow 4l, 2\nu 2l, \dots$	$H \rightarrow VV \rightarrow 4l, 2l 2\nu, l\nu 2j, \dots$
$H \rightarrow \gamma\gamma$	$HV \rightarrow VVV^* \rightarrow 3l 3\nu$	$qqH \rightarrow VV \rightarrow 2l 2\nu, l\nu 2j$
$t\bar{t}H \rightarrow t\bar{t}b\bar{b}$	$HV \rightarrow VVV^* \rightarrow 2l 2\nu 2j$	+ forward jets

Tevatron: strategie di ricerca

- ▶ Run I: limitata luminosità $\int \mathcal{L} \sim 100 \text{ pb}^{-1}$
- ▶ Run II: aumento $\mathcal{L}$, improved detectors: tracking, accettazione, trigger, ...

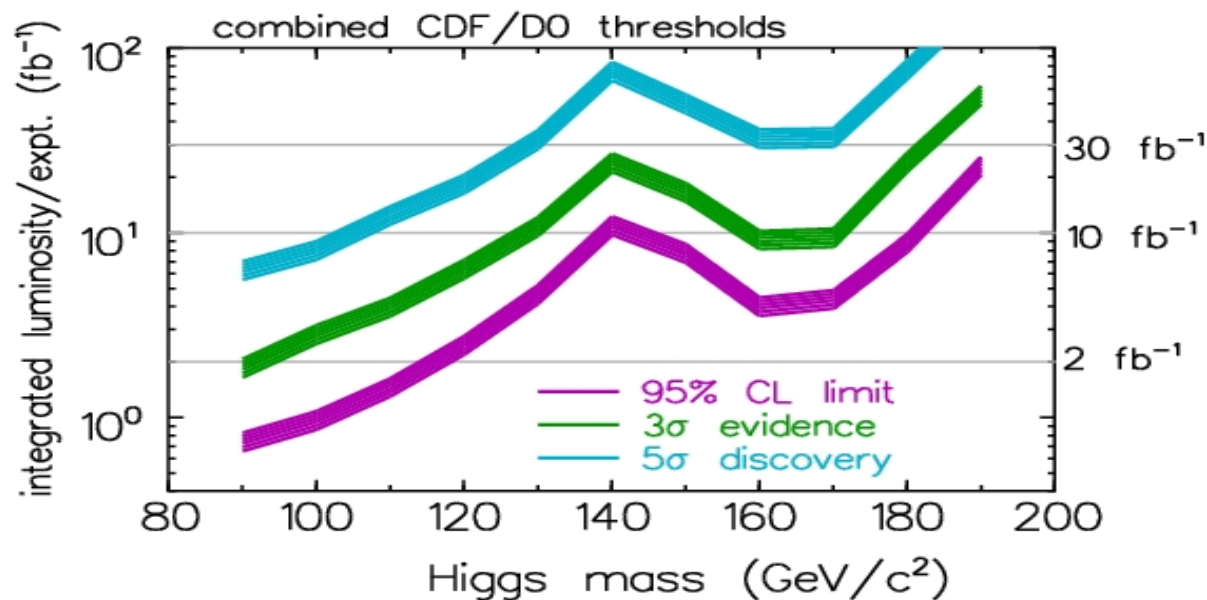
Run IIa 2001 – 03 $\sim 2 \text{ fb}^{-1}$

Run IIb 2003 – 05 $\sim 5 \text{ fb}^{-1}$

Run IIb 2003 – 07 $\sim 15 \text{ fb}^{-1}$

Run III(?) 2007 – $\sim 30 \text{ fb}^{-1}$ (?)

- ▶ Canali piú promettenti: $HW \rightarrow l\nu b\bar{b}$, $HZ \rightarrow 2\nu b\bar{b}$, $HZ \rightarrow 2l b\bar{b}$
- ▶ Key-features: eff. b -tag, b -mistag, $\Delta m_{b\bar{b}}/m_{b\bar{b}}$, MET , ...



Significatività
combinata per
tutti i canali

Tevatron: $qq' \rightarrow WH \rightarrow l\nu b\bar{b}$

Trigger:

- l isolato alto p_T ,
- MET,
- b -tag;

Selezione:

- ↪ l isolato $p_t > 20$ GeV,
- ↪ $MET > 20$ GeV,
- ↪ 2 b -tag jets $E_t > 10$ GeV, $|\eta| < 2.0$,
- ↪ jet veto,
- ↪ top veto ($\sum E_T < 175$ GeV),
- ↪ utilizzo Neural Network.

Fondi:

- ★ $Wb\bar{b}$ non risonante: fondamentale
 $\Delta m_{b\bar{b}}/m_{b\bar{b}}$,
- ★ WZ importante se $m_{H^0} \approx m_Z$,
- ★ $t\bar{t}$, tb , tqb

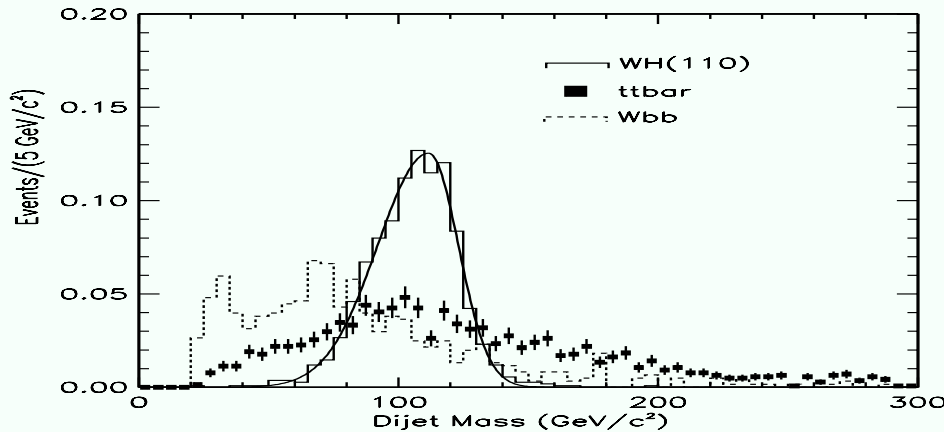
Risultati:

- Segnale: $\sigma \times BR \times \epsilon (\sim 2\%) \approx 8 \div 4$ fb ($m_{H^0} \approx 90 \div 130$ GeV)
- Fondo: $\sigma \times \epsilon \approx 50 \div 30$ fb (tagli-N.N.)

Significatività (N.N., 2 esperimenti):

$\int \mathcal{L} dt$	2 fb ⁻¹	5 fb ⁻¹	15 fb ⁻¹	16.5 fb ⁻¹
$S/\sqrt{B}$ ($m_{H^0} = 120$ GeV)	1.74	2.7	4.76	5

Tevatron: $qq' \rightarrow WH \rightarrow l\nu b\bar{b}$, $ZH \rightarrow 2\nu b\bar{b}$, $2l b\bar{b}$



Se $\Delta m_{b\bar{b}}/m_{b\bar{b}} \approx 15\% \rightarrow 10\%$
 $\Rightarrow S/\sqrt{B} \uparrow 20 \div 30\%$

$ZH \rightarrow$ • **Selezione:** MET+2 b-tag, *seleziona anche $WH \rightarrow l\nu b\bar{b} l$ perso;*

$2\nu b\bar{b}$ • **fondi:** ZZ , $Zb\bar{b}$, $t\bar{t}$, $QCD(b\bar{b})$, ultimo difficile da stimare.

• $S \approx 10 \div 6 \text{ fb}$; $B \approx 60 \div 20 \text{ fb}$, ($m_H = 90 \div 130 \text{ GeV}$), $\times 2$ da $QCD(b\bar{b})$

$ZH \rightarrow$ $\rightsquigarrow$ **Selezione:** 2 l isolati, $m_{l\pm} \approx m_Z$, 2 b-tag, top-veto,...

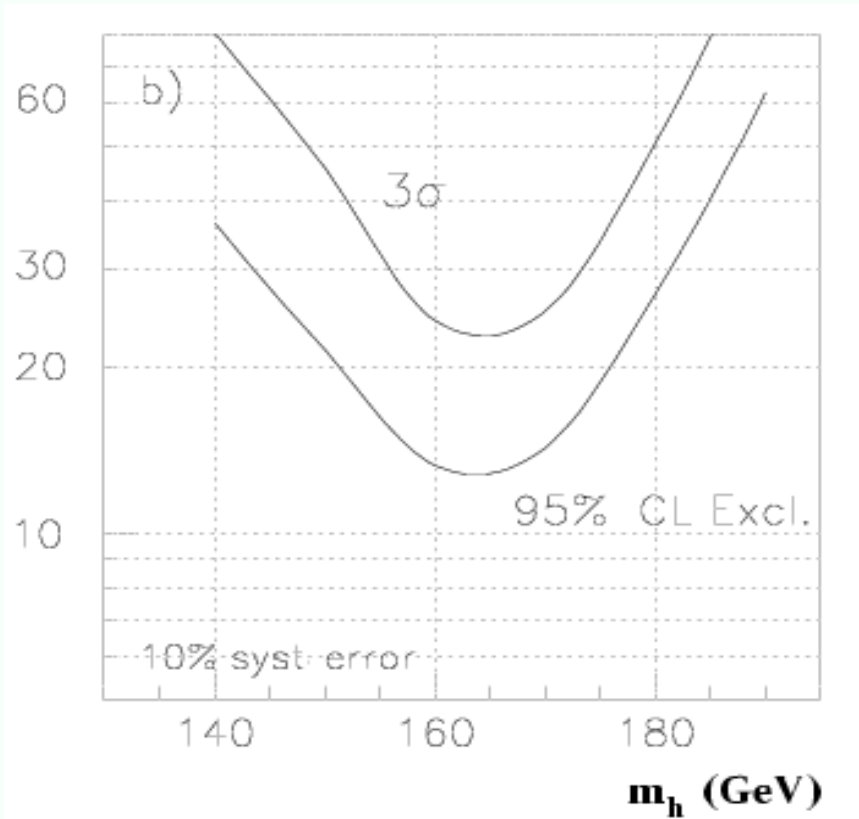
$2l b\bar{b}$ $\rightsquigarrow$ **Fondi:** ZZ , $Zb\bar{b}$, $t\bar{t}$

$\rightsquigarrow S \approx 1.3 \div 0.6 \text{ fb}$ $B \approx 2.5 \text{ fb}$ ($m_H = 90 \div 130 \text{ GeV}$)

$\int \mathcal{L} dt$	2 fb^{-1}	5 fb^{-1}	15 fb^{-1}	$S/\sqrt{B} = 5$
$S/\sqrt{B} \text{ } ZH(120) \rightarrow 2\nu b\bar{b}$	1.4	2.3	3.8	25 fb^{-1}
$S/\sqrt{B} \text{ } ZH(120) \rightarrow 2l b\bar{b}$	0.9	1.5	2.6	55 fb^{-1}

Tevatron: $130 \lesssim m_{H^0} \lesssim 190 \text{ GeV}$

- Produzione: gluon-fusion, vector boson fusion;
- Decadimento: $H \rightarrow WW^*/ZZ^*$
- $\sigma \times B.R.(H \rightarrow WW \rightarrow 2l2\nu) \approx 10 \text{ fb} \times \text{efficienza!} \Rightarrow \text{Alta luminosità!}$

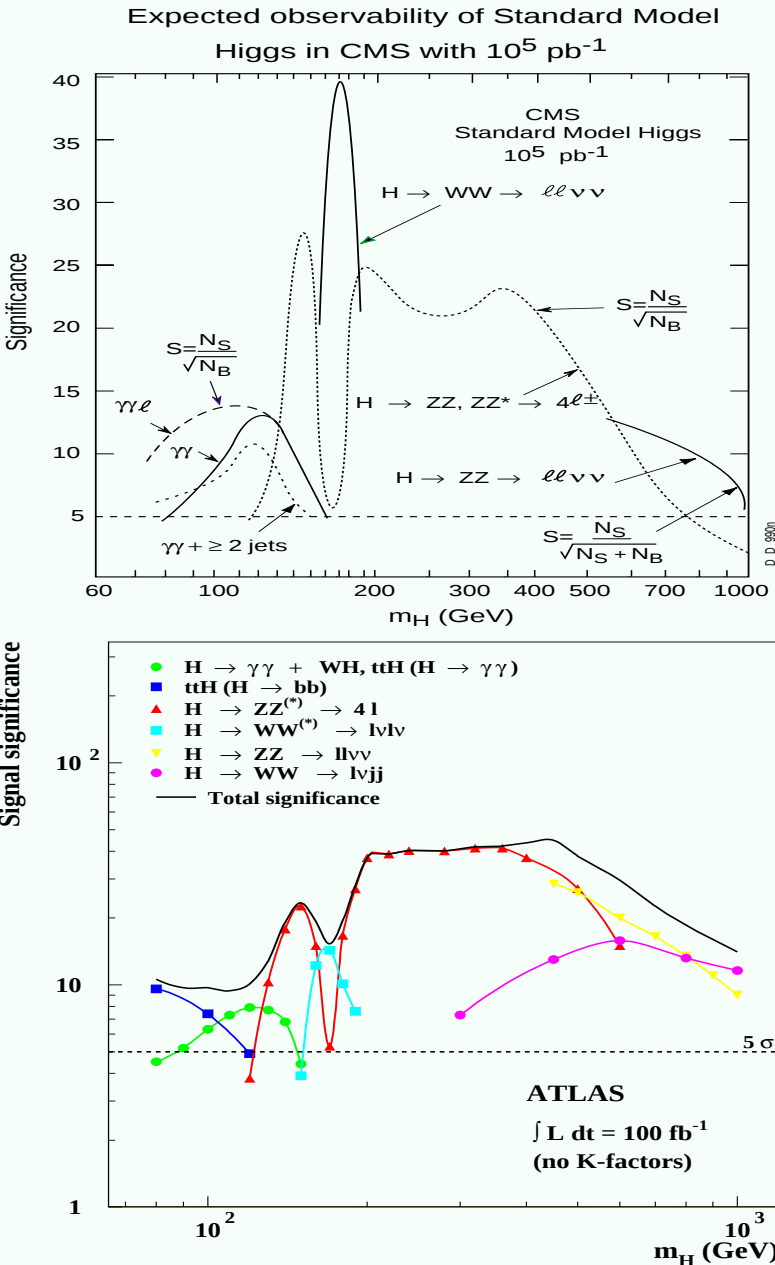


$H \rightarrow WW \rightarrow 2l2\nu$:

- ~> Signal $\approx 2.6 \div 1.1 \div 0.8 \text{ fb}$,
- ~> Background $\approx 44 \div 3 \div 8 \text{ fb}$,
- ~> $m_{H^0} = 140 \div 170 \div 190 \text{ GeV}$
- ~> Alta luminosità anche per significatività 3σ

- Canale $(W/Z)H \rightarrow (W/Z)WW \rightarrow l^\pm l^\pm jj + X$: 2 leptoni stessa carica.
 $S/\sqrt{B} \approx 3$ per $m_{H^0} = 170 \text{ GeV}$ e $\int \mathcal{L} = 30 \text{ fb}^{-1}$.

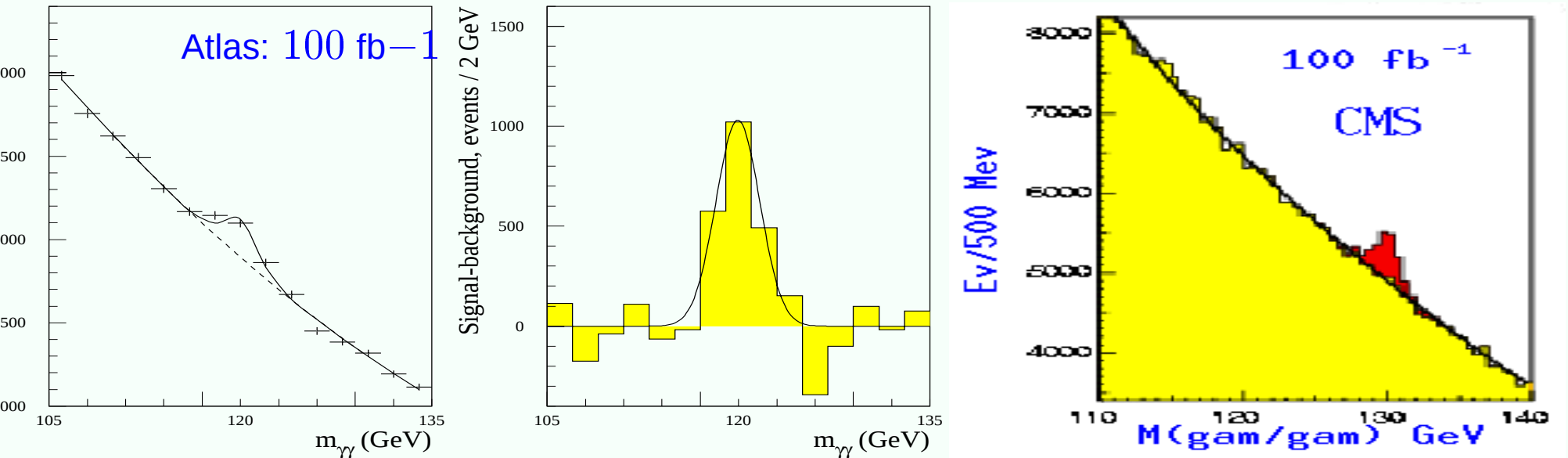
LHC:



canale	m_{H^0} range	H^0 prod.
$t\bar{t}H \rightarrow t\bar{t}b\bar{b}$	$80 \div 130$	ass. prod.
$H \rightarrow \gamma\gamma$	$80 \div 150$	gg fusion
$(W/t\bar{t})H \rightarrow \gamma\gamma$	$80 \div 140$	ass. prod.
$H \rightarrow \gamma\gamma(j/l)$	$80 \div 140$	gg fusion
$WH \rightarrow l\nu b\bar{b}$	$80 \div 120$	ass. prod.
$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$	$120 \div 180$	gg fusion
$H \rightarrow WW^* \rightarrow 2l2\nu$	$150 \div 190$	gg fusion
$WH \rightarrow WWW^* \rightarrow 2l^\pm 2\nu(l\nu/jj)$	$150 \div 190$	ass. prod.
$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$	$180 \div 800$	gg fusion
$qqH \rightarrow ZZ \rightarrow 2l2\nu$	$400 \div 1000$	WW fusion
$qqH \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$	$400 \div 1000$	WW fusion
...		

LHC: $H \rightarrow \gamma\gamma$

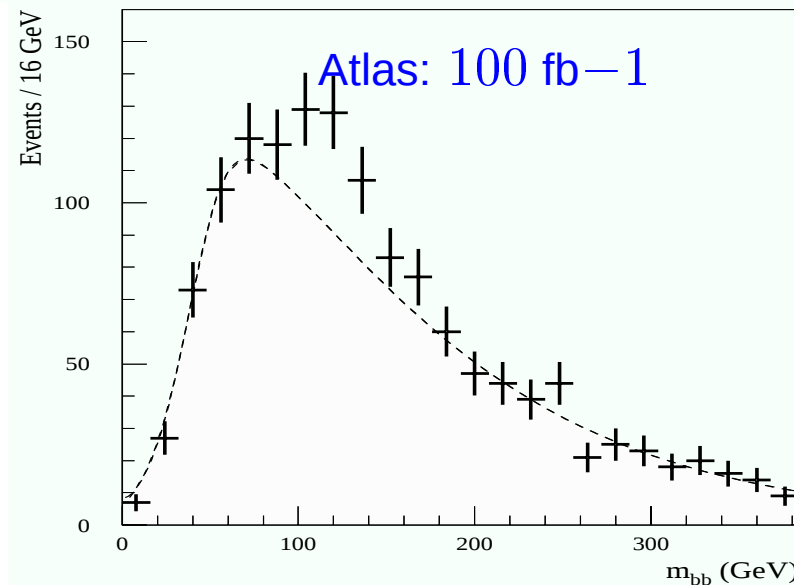
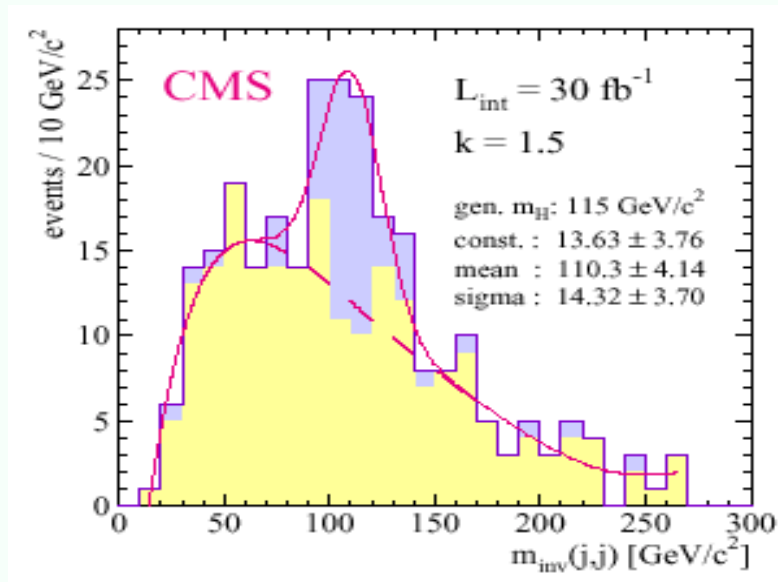
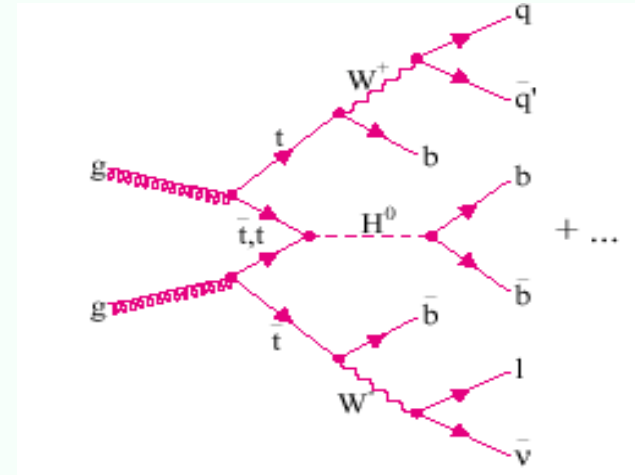
- Segnale: $\sigma \times B.R.(H \rightarrow \gamma\gamma) \approx 50 \text{ fb}$
- Background irriducibile: $q\bar{q} \rightarrow \gamma\gamma \sigma_{\gamma\gamma} \approx 2 \text{ pb/GeV}$
 $\Delta(m_{\gamma\gamma}) \approx 1.1 \div 0.6 \text{ GeV (ATLAS/CMS);}$
- Background riducibile: $\gamma j + j\bar{j} \sim 10^6 \sigma_{\gamma\gamma}$
 Ottima rejezione $\gamma/j, \gamma/\pi^0$;



$m_{H^0} =$	80	100 ÷ 120	140
ATLAS+CMS 60 fb ⁻¹	4.2	4.9	3.1
ATLAS+CMS 100 fb ⁻¹	5.5	6.3	4.1

LHC: $t\bar{t}H \rightarrow t\bar{t}b\bar{b}$

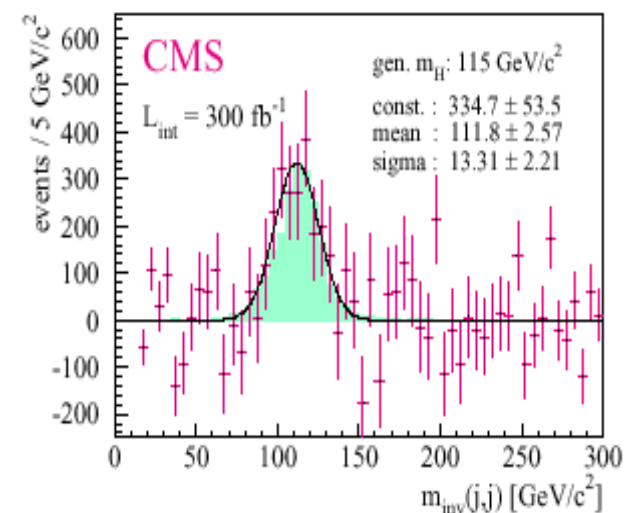
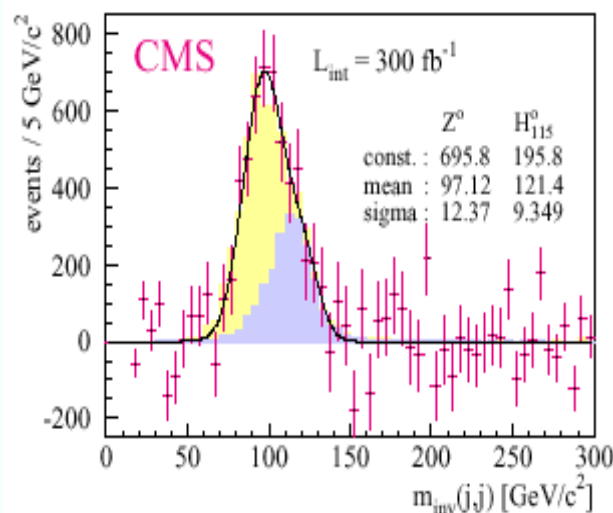
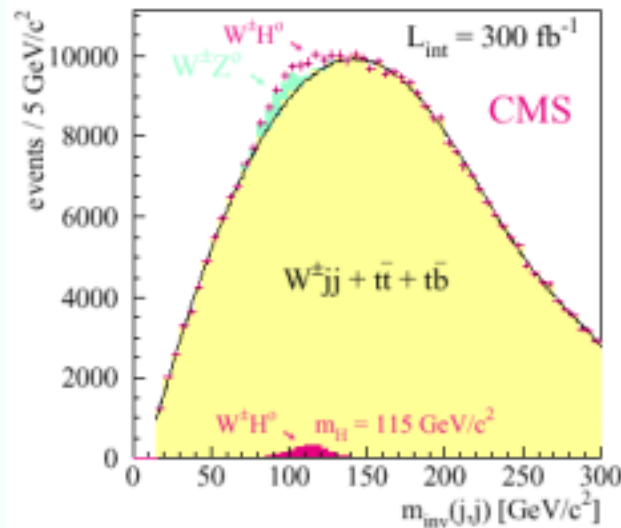
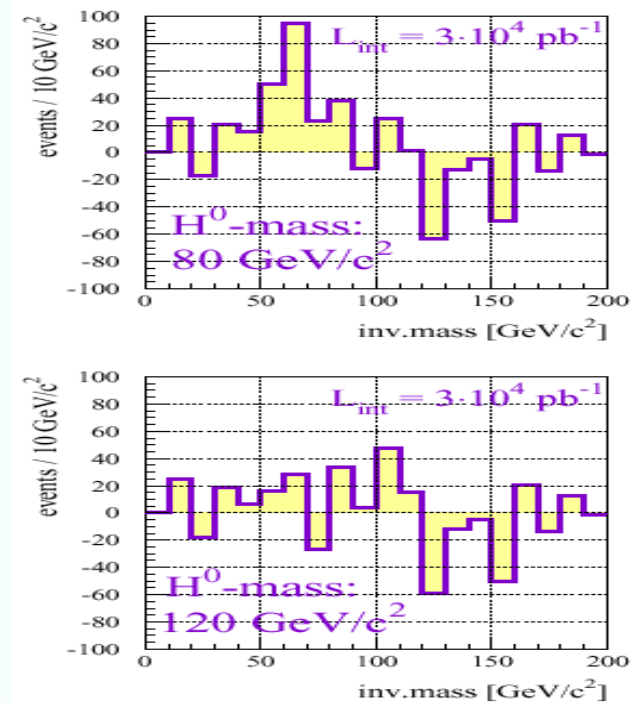
- Segnale: $\sigma \times B.R. \approx 300$ fb
- Stato finale molto complesso:
 $t\bar{t}H \rightarrow t\bar{t}b\bar{b} \rightarrow WbWbb\bar{b} \rightarrow l\nu bj j b\bar{b}$
- Background: combinatorio (4 b -jets), W +multijets, $t\bar{t}b\bar{b}$ non-risonante, $t\bar{t}jj$;
- Necessaria ricostruzione entrambi top-quarks;



$$S/\sqrt{B} (m_{H^0} = 120 \text{ GeV}, 30 \text{ fb}^{-1}) \approx 3 (K = 1) \div 5 (K = 1.5)$$

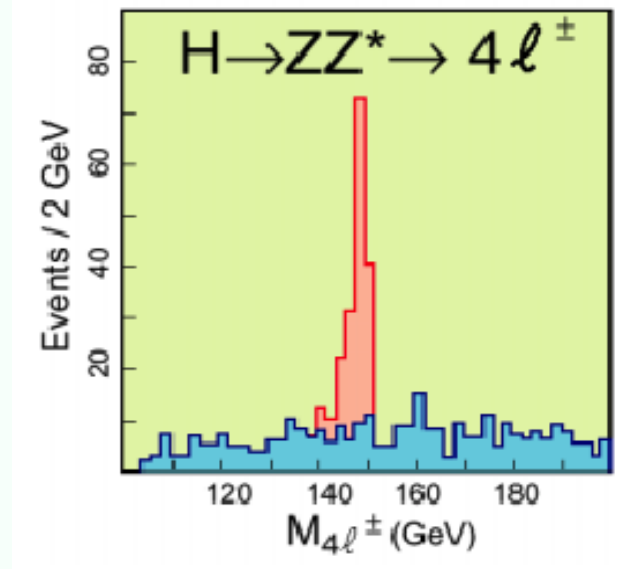
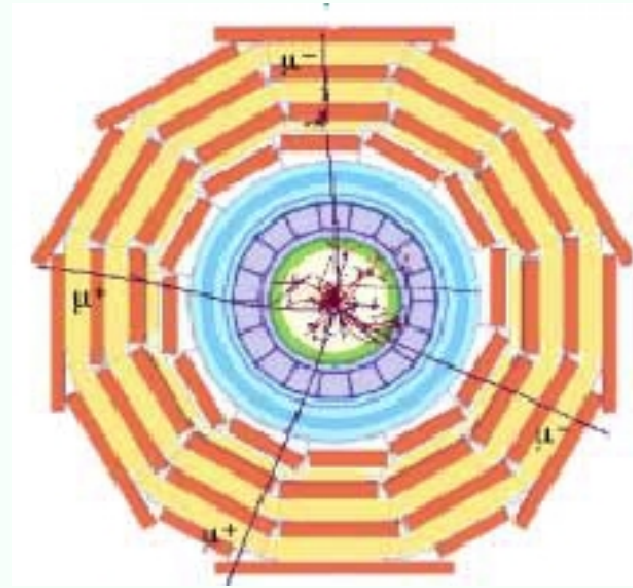
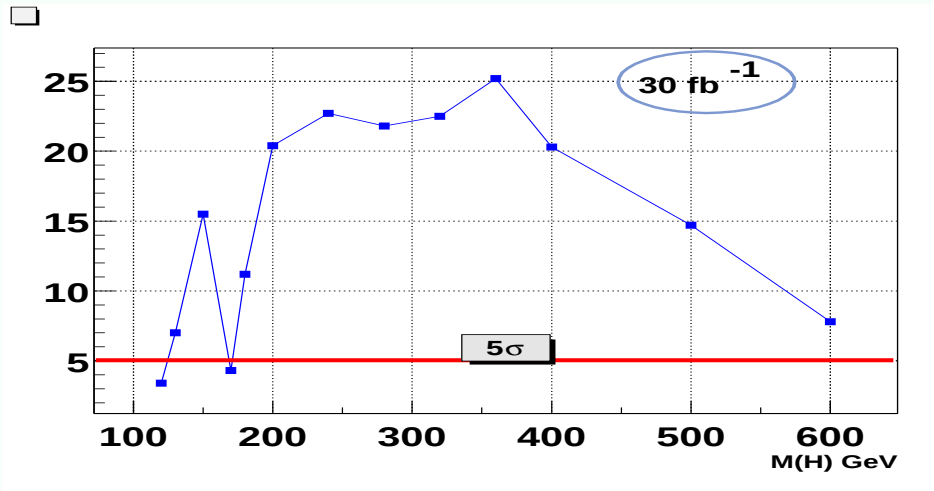
LHC: $WH \rightarrow l\nu b\bar{b}$

- Segnale: $\sigma \times B.R. \approx 60 \text{ fb}$
- Background: $Wb\bar{b}, WZ, t\bar{t}, Wjj, \dots$
- $S/\sqrt{B} \approx 2.3 \div 1.5 \div 0.55 \int \mathcal{L} = 30 \text{ fb}^{-1}$
($m_{H^0} = 100 \div 120 \div 140 \text{ GeV}$)
- Ricerca non possibile a bassa luminosità $\Rightarrow$
- ★ Necessaria $\int \mathcal{L}$ molto alta per scoperta: $\Downarrow$
- ★ $S/\sqrt{B} = 5$ per $\int \mathcal{L} \approx 100 \div 300 \div 500 \text{ fb}^{-1}$
 $m_{H^0} = 100 \div 120 \div 130 \text{ GeV}$
- ★ Utile per misura accoppiamento WWH ;



LHC: $H \rightarrow ZZ \rightarrow l^+l^-l^+l^-$

- Segnale: $\sigma \times B.R.(H = 150 \text{ GeV}) \approx 5.5 \text{ fb}$
- Segnale molto pulito, facile per trigger e analisi!
- Background: $\sigma \times B.R. : ZZ^* \rightarrow 4l \approx 0.2 \text{ fb}$,
 $t\bar{t} \rightarrow 4l \approx 2 \text{ fb}$, $Zb\bar{b} \rightarrow 4l \approx 1.5 \text{ fb}$
- Picco m_{4l} chiaramente visibile sopra fondo continuo:
 $\sigma_m \approx 1.5 \text{ GeV}$
- Segnale visibile $130 \lesssim m_{H^0} \lesssim 600 \text{ GeV}$;
- Se $m_{H^0} > 2m_Z$, entrambe Z reali, ulteriore riduzione fondo.



Tevatron vs. LHC: confronto

Prod. H^0	$\sigma_{LHC}/\sigma_{Tevatron}$	Background	$\sigma_{Tevatron}$	σ_{LHC}
		$\sigma(WZ)$	$\approx 2.5 \text{ pb}$	$\approx 26 \text{ pb}$
$gg \text{ fusion}$	~ 100	$\sigma(WW)$	$\approx 8.5 \text{ pb}$	$\approx 70 \text{ pb}$
$t\bar{t}H$	~ 100	$\sigma(t\bar{t})$	$\approx 6.5 \text{ pb}$	$\approx 600 \text{ pb}$
VBF	~ 10	$\sigma(\text{QCD jets } p_t > 30 \text{ GeV})$	$\approx 1 \mu b$	$\approx 100 \mu b$

Canale	Tevatron	LHC
$H \rightarrow \gamma\gamma$	$\sigma \times BR \lesssim 1 \text{ fb} \downarrow$	$\sigma \times BR \approx 70 \text{ fb} \uparrow$
$t\bar{t}H \rightarrow t\bar{t}b\bar{b}$	$\sigma \times BR \approx 3 \text{ fb}$ difficile	$\sigma \times BR \approx 300 \text{ fb} \uparrow$
$WH \rightarrow l\nu b\bar{b}$	$\sigma \times BR \approx 20 \text{ fb} \uparrow$	$\sigma \times BR \approx 200 \text{ fb}$ difficile
$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$	$\sigma \times BR \approx 0.07 \text{ fb} \downarrow$	$\sigma \times BR \approx 5.5 \text{ fb} \uparrow\uparrow$

Tevatron vs. LHC: pro and cons

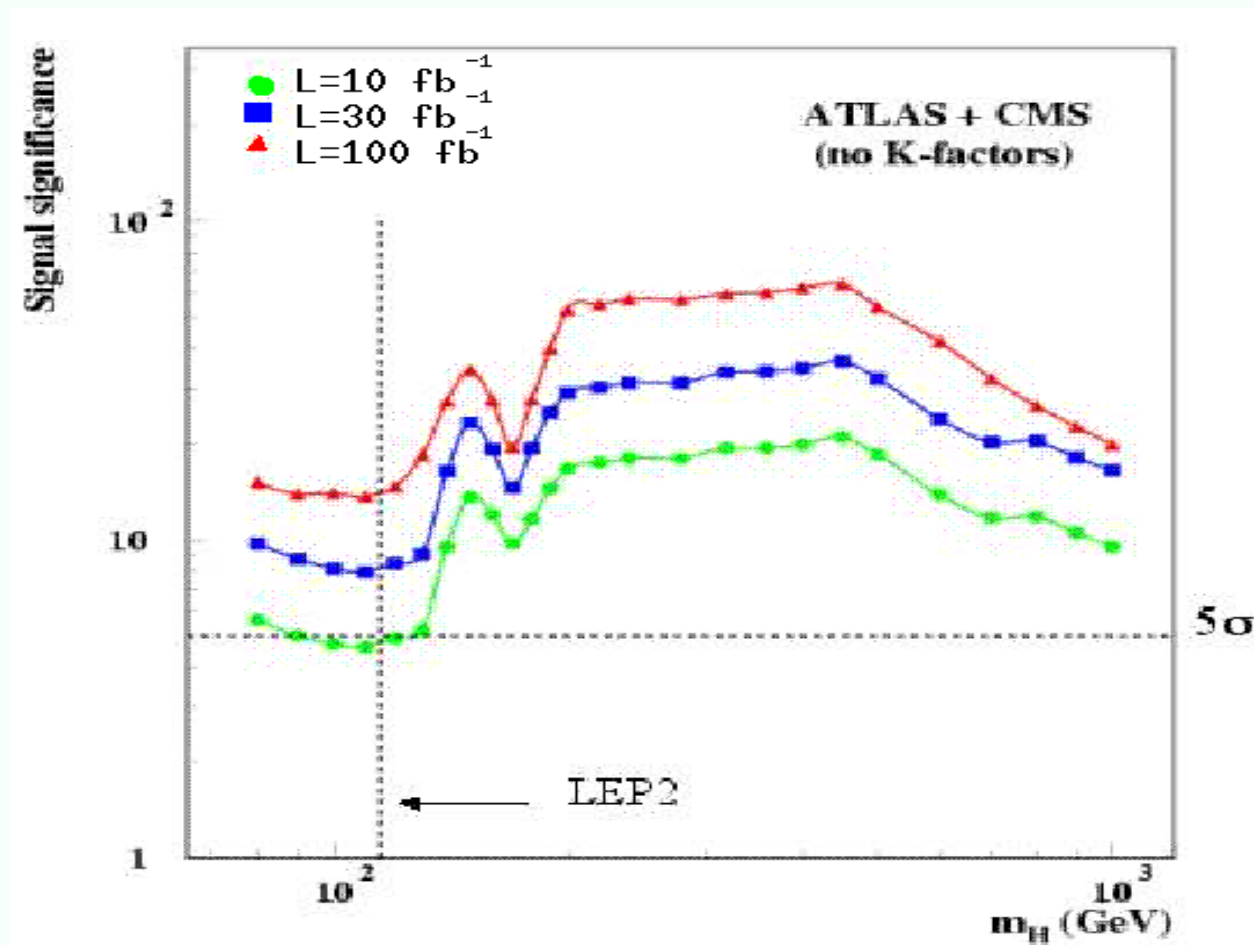
Tevatron

- ↑ Grande esperienza a Run1;
- ↑ per la massima $\mathcal{L}$, acceleratore, rivelatori, fisica ben studiati e noti!;
- ↑ sta già prendendo dati oggi!
- ↓ per scoperta 5σ necessaria alta $\int \mathcal{L} \Rightarrow 2006 \div 2007$;
- ↓ difficile coprire range massa $\gtrsim 130$ GeV;
- ▶ analisi già in stato molto avanzato (likelihood, N.N., K-factor, ...), difficile grande miglioramento;
- ▶ scoperta H^0 difficile in un singolo canale, necessaria complessa analisi statistica;
- ▶ $m_{H^0} = 115$ GeV:
 - ↪ esclusione 95% *C.L.* @ 2 fb^{-1} (2003);
 - ↪ evidenza 3σ @ 5 fb^{-1} (2005?);
 - ↪ scoperta 5σ @ 15 fb^{-1} (2007?);

LHC

↓ Partirà nel 2006, 10 fb^{-1} per inizio 2007 (salvo ulteriori sorprese ...);

↑ con 10 fb^{-1} scoperta a 5σ su tutto il range di masse $100 \rightarrow 1000 \text{ GeV}$;



- ↓ In realtà “appena” 5σ per $m_{H^0} \lesssim 130$ GeV;
- ↓ Rivelatori nuovi, acceleratori nuovi, trigger complesso, fisica mai vista $\sqrt{14}$ TeV, ... Servono 10 fb^{-1} **buoni**, difficile che siano i primi;
- ↓ per alcuni canali (es. $t\bar{t}H$) stima fondo non é accurata (solo LO, $K=1, \dots$);
- ↑ analisi generalmente basata su semplici tagli: può migliorare molto (analisi multi-dimensionale, N.N., ...);
- ↑ K factor (di solito non usato) sembra più alto per segnale che per fondo;
- ↑ alcuni canali potrebbero aumentare significatività: VBF $qqH \rightarrow qq + x$, $H \rightarrow \gamma\gamma j$, $H \rightarrow \tau\tau, \dots$;
- ↑ assunzioni (efficienza, b-tag, K-factor, ...) in genere conservative;
- ↑ molti canali diversi e complementari in tutto il range di massa, ognuno con alta significatività;
- ▶ a “**regime**” sarà relativamente facile trovare l’Higgs, ma quanto lavoro/tempo servirà per arrivare a regime?

Conclusioni:

- ▶ Il bosone di Higgs (S.M.) potrà essere scoperto ($> 5\sigma$) $\gtrsim 2007$;
- ▶ Se leggero $m \lesssim 130$ GeV già da Tevatron, altrimenti solo da LHC;
- ▶ “Competizione” Tevatron/LHC nel 2006/2007 se LHC sarà pienamente operativo dall’inizio;
- ▶ Tevatron potrà dire molto (esclusione e/o evidenza a 3σ) già dal 2003 ÷ 2005;
- ▶ i primi “buoni” 10 fb^{-1} all’LHC troveranno (o non troveranno) l’Higgs S.M. su tutto il range 100 ÷ 1000 GeV;
- ▶ Quando saranno disponibili? Ritardi possono venire da problemi finanziari ma probabilmente anche da tuning rivelatori/acceleratori/analisi/fondi.
- ▶ La ricerca dell’Higgs é una vera sfida per tutti: acceleratori (grande $\sqrt{s}$, altissima $\mathcal{L}$, ...), rivelatori (trigger, ricostruzione, risoluzione, P.I.D., ...), analisi, teoria:

non possiamo non trovarlo!