



# Fisica delle alte energie agli acceleratori

## Lezione #2

### Ricerca del bosone di Higgs a LEP e LHC





# Ricerca dell'Higgs a LEP

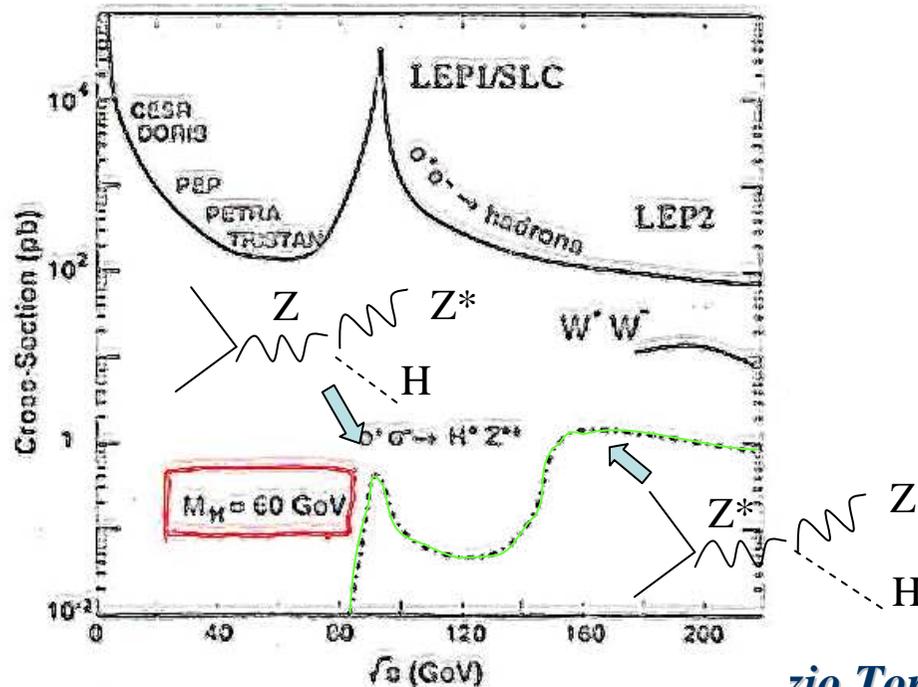


L' accoppiamento del campo di Higgs ai bosoni vettori ed ai fermioni è totalmente determinato dal Modello Standard

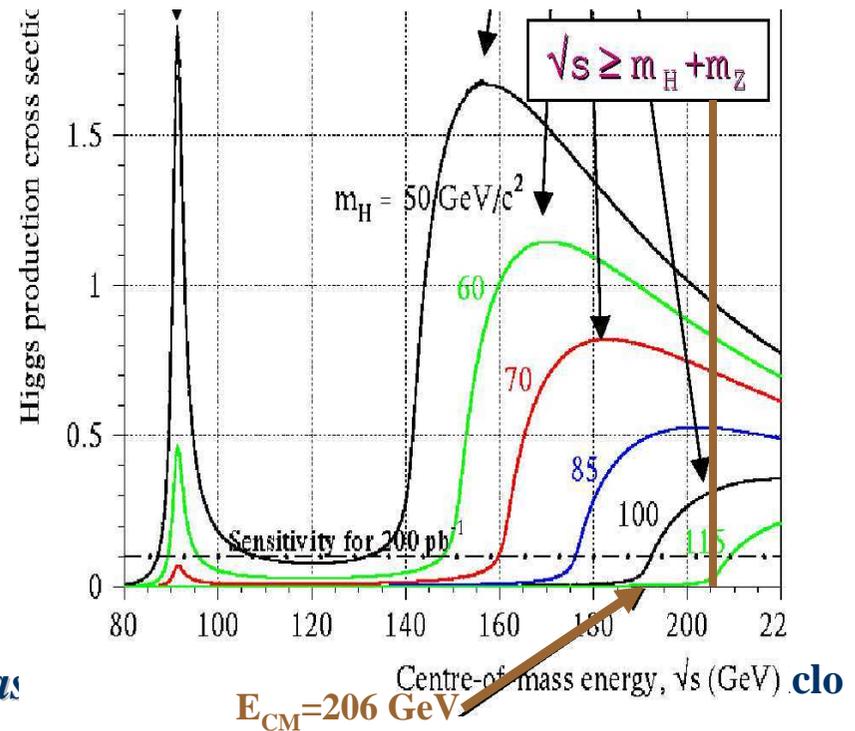


la sezione d' urto di produzione dell' Higgs e i suoi modi di decadimento in funzione della sua massa sono predetti dalla teoria

Il meccanismo di produzione più importante a LEP1 e LEP2 è quello di "Higgs-strahlung"



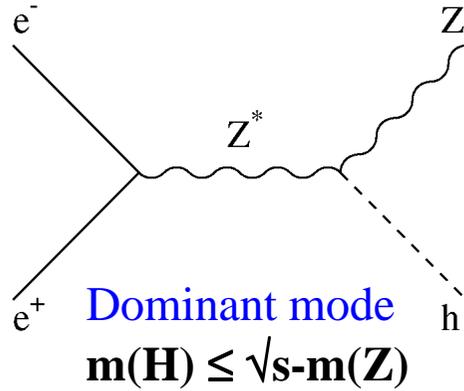
zio Toras



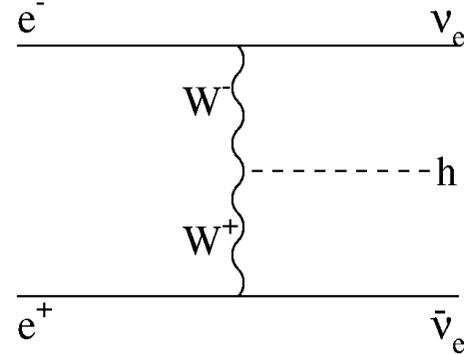
Centre-of-mass energy,  $\sqrt{s}$  (GeV) clo



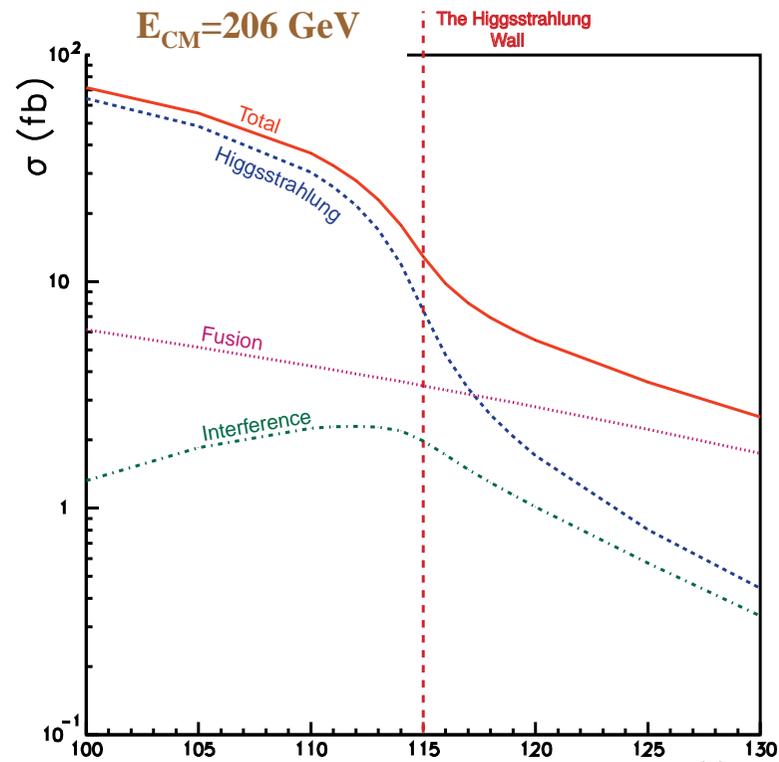
## Higgsstrahlung



## WW fusion



+  
**interference**





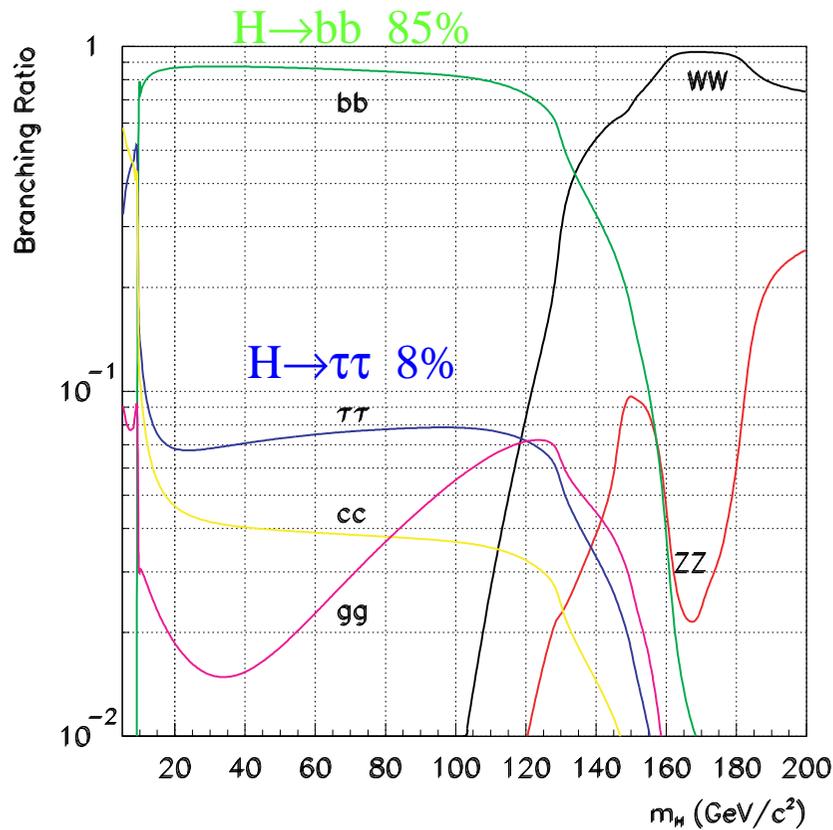
# Decadimenti dell'Higgs



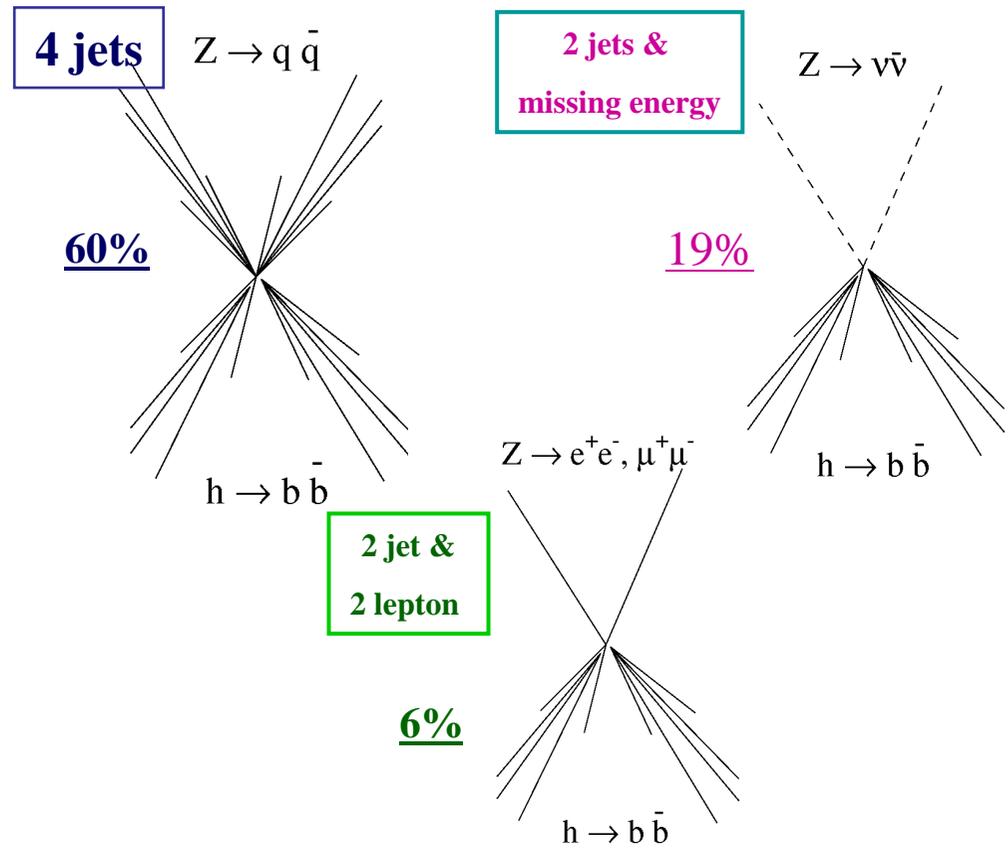
Per  $m_H \leq 120$  GeV, il decadimento di gran lunga più importante è  $H \rightarrow b\bar{b}$



importanza del "b-tagging" !



Topologie di ricerca:

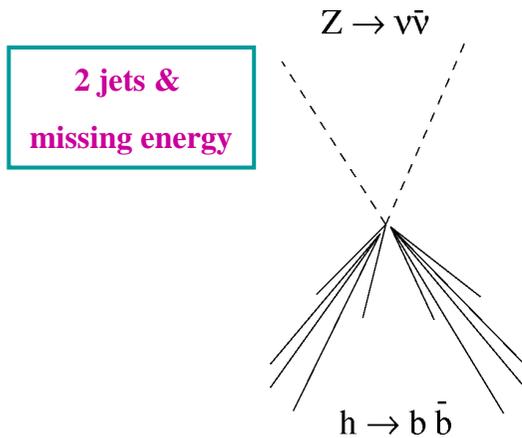




# Ricerca dell'Higgs a LEP1



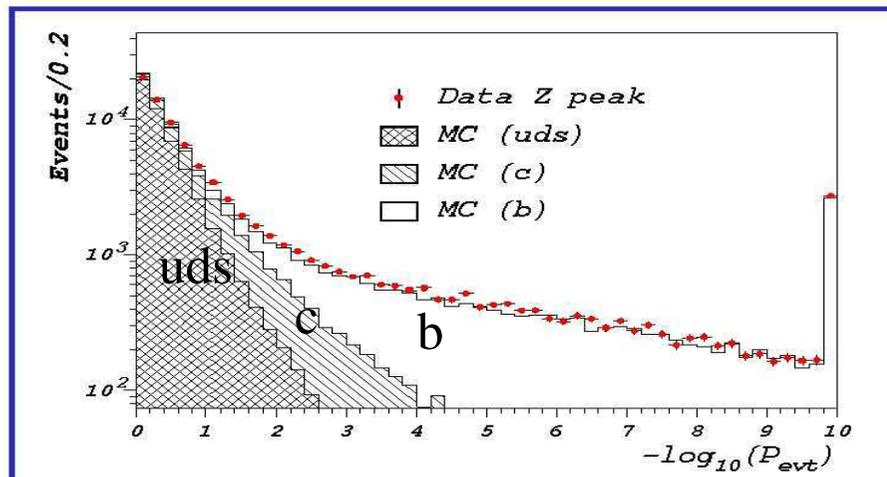
## Canale di decadimento in neutrini



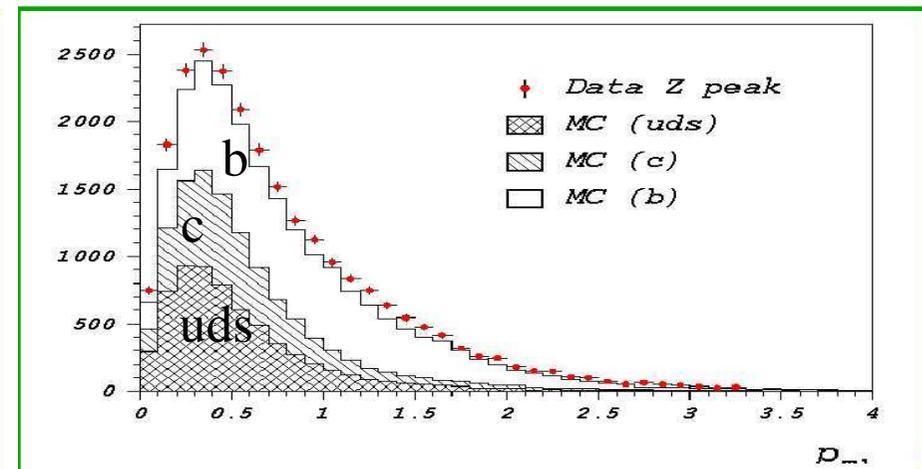
La segnatura è un evento adronico fortemente sbilanciato.

Il fondo è costituito dai decadimenti dalla Z in quark b.

- Massa invariante dei due jet  $\neq M_Z$
- Jet su rette non collineari



Parametri d'impatto delle tracce



Momento trasverso dei leptoni



# Analisi dati 1991-1992

## (1) Preselezione:

Acollinearità  $> 8^0$



Eff. (  $Z H \rightarrow \nu\nu X$  ) = 81.2%  
 { 41.6% (barrel)  
 39.6% (endcap)  
 Eff. (  $Z \rightarrow qq$  ) = 1.5 %

$20 \text{ GeV} < M_{\text{invariante}} < 70 \text{ GeV}$



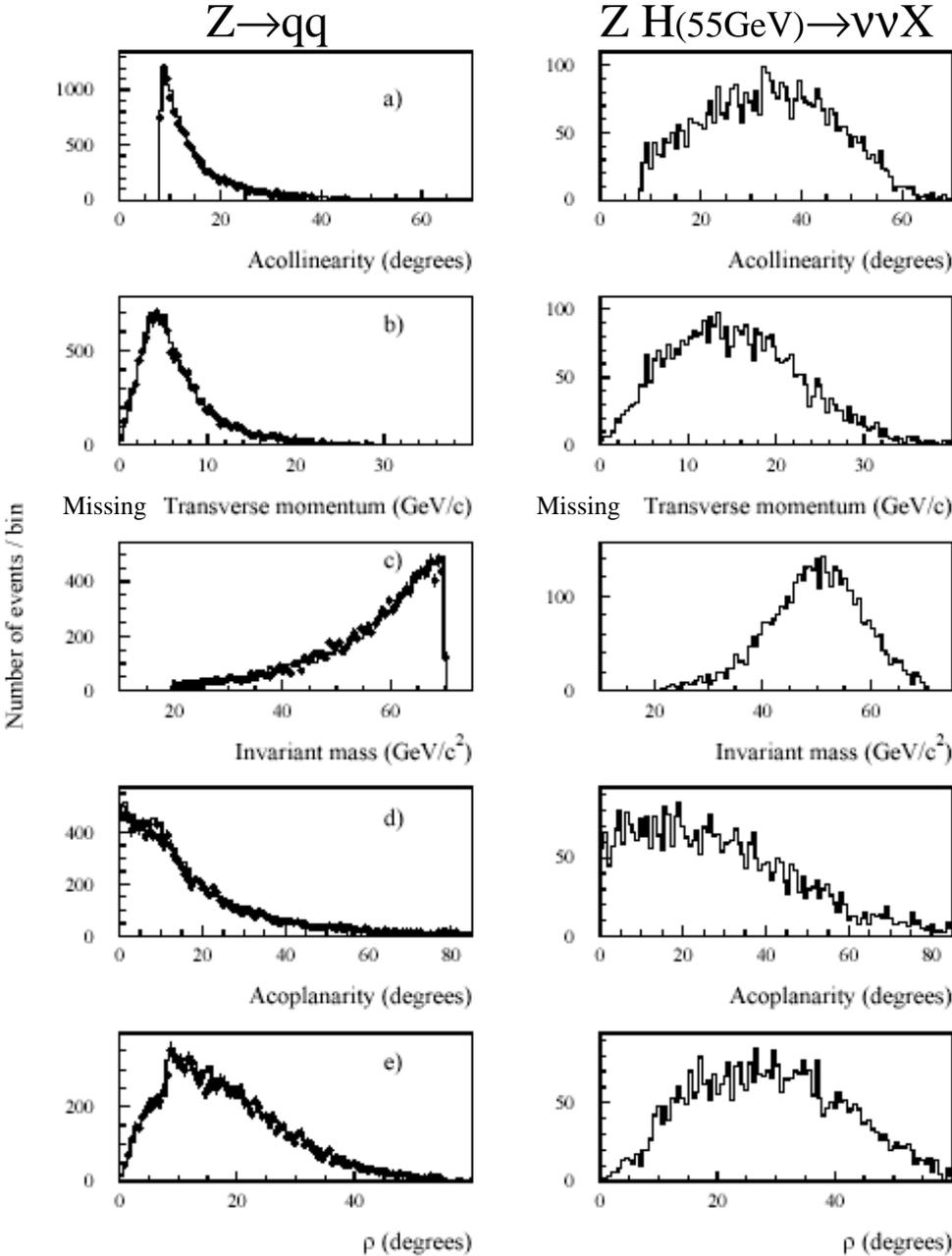
## (2) Rete neurale:

Si inseriscono 15 variabili in una rete neurale (le principali sono mostrate nei grafici)

L'uscita della rete e' una singola variabile di qualità **Q** compresa tra 0 ed 1

Padova 29 Aprile 2010

DELPHI





## DELPHI

$$Q > 0.95$$

$$\text{Eff. (Z H} \rightarrow \nu\nu\text{X)} = 65.8\%$$

$$\text{Eff. (Z} \rightarrow \text{qq)} = 0.23 \%$$

( da moltiplicare per le precedenti Eff. )

Per la frazione di eventi di cui si dispone delle informazioni del rivelatore di vertice (barrel) si applica il “b tagging”

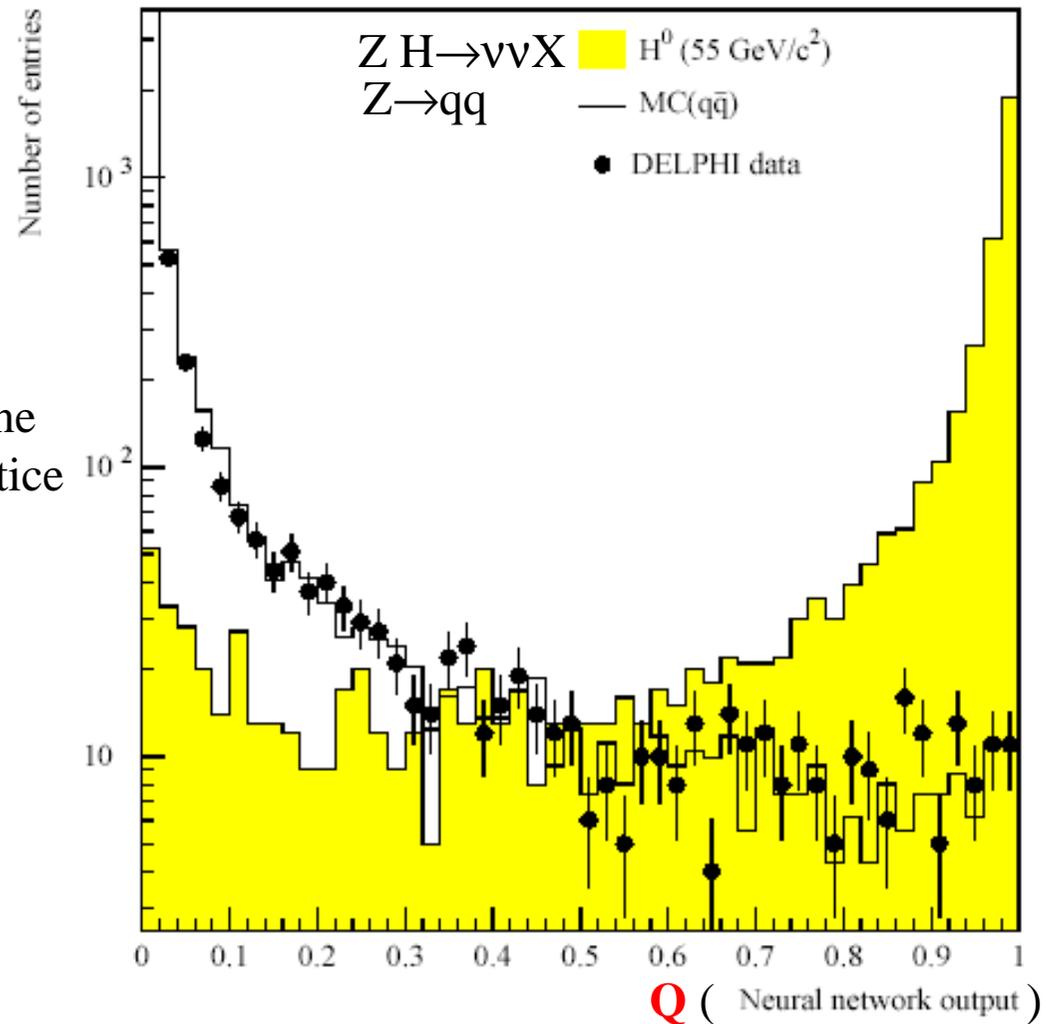
### (3) b tagging:

$$\sum \frac{i.p.}{\sigma(i.p.)} > 4$$

$$\text{Eff. (Z H} \rightarrow \nu\nu\text{X)} = 94.7 \%$$

$$\text{Eff. (Z} \rightarrow \text{qq)} = 71.6 \%$$

( 50 % bb per il fondo )





# Risultati



somma dei contributi di tre canali di decadimento

$Z \rightarrow \nu\nu$     $Z \rightarrow ee$     $Z \rightarrow \mu\mu$

**Eventi osservati: 0**

**Eventi attesi fondo: 0**

**Eventi attesi segnale:**

$M_H$ (GeV)	50	55	60	65
Eventi (simulati HZ)	$7.9 \pm 0.4$	$3.6 \pm 0.2$	$1.4 \pm 0.1$	$0.41 \pm 0.05$

Per  $M_H = 55.7$  GeV sono attesi 3 eventi. La probabilità di osservare 0 eventi da un distribuzione di Poisson con valore medio 3 è del 5%.

In conclusione  $M_H > 55.7$  GeV al 95 % di C.L.

DELPHI 1991-1992:  
 1 M eventi adronici  
 ~380 k eventi  $\nu\nu$  ee  $\mu\mu$

**A LEP1 : 1989-1995  
 all channels**  
 **$m(\text{Higgs}) > 65 \text{ GeV} / c^2$  at 95%CL**

LEP1 1989-1995  
 17 M eventi adronici



## Esclusione e scoperta



Nel caso in cui l'approssimazione “n grande” (cioè distribuzione di Gauss) non possa essere utilizzata la distribuzione degli eventi segue la funzione di probabilità di Poisson

$$\mathcal{P}(n | m) = \frac{e^{-m} m^n}{n!}; \quad \langle n \rangle = m; \quad \sigma_n = \sqrt{m};$$

n = numero di eventi osservati  
m = numero di eventi medi

ex.  $n=0 \rightarrow m \leq 3$  @ 95% CL       $n=2 \rightarrow m \leq 6.3$  @ 95% CL

Distinguendo fondo (b) da segnale (s) :

$$\mathcal{P}(n | b + s) = \frac{e^{-(b+s)} (b + s)^n}{n!}; \quad \langle n \rangle = b + s; \quad \sigma_n = \sqrt{b + s};$$

si misura n;

- **Esclusione** (almeno al 95% CL): la probabilità di osservare n eventi è  $\leq 5\%$  in riferimento ad una distribuzione con  $m=b+s$
- **Scoperta** (si richiede  $5\sigma$ ): segnale 5 volte superiore l'errore



## SCOPERTA

C.L. di “5 $\sigma$ ” cioè Probabilità che gli eventi osservati derivino dalla fluttuazione statistica del fondo  $\leq 5.7 \times 10^{-5}$

## ESCLUSIONE

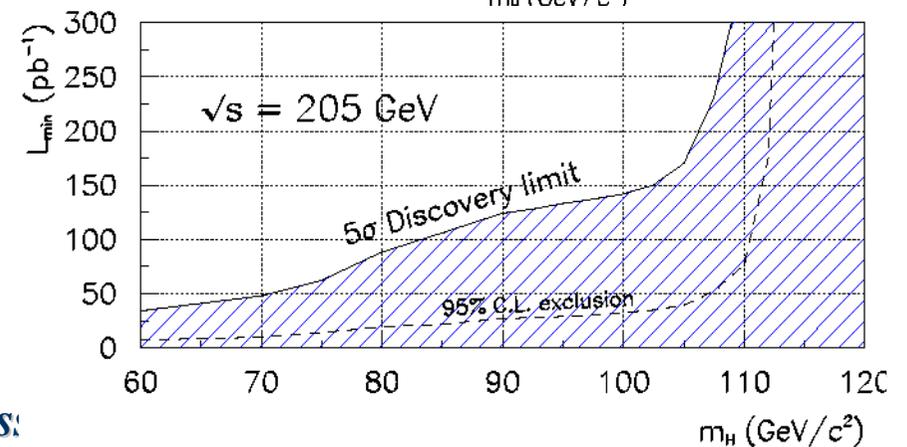
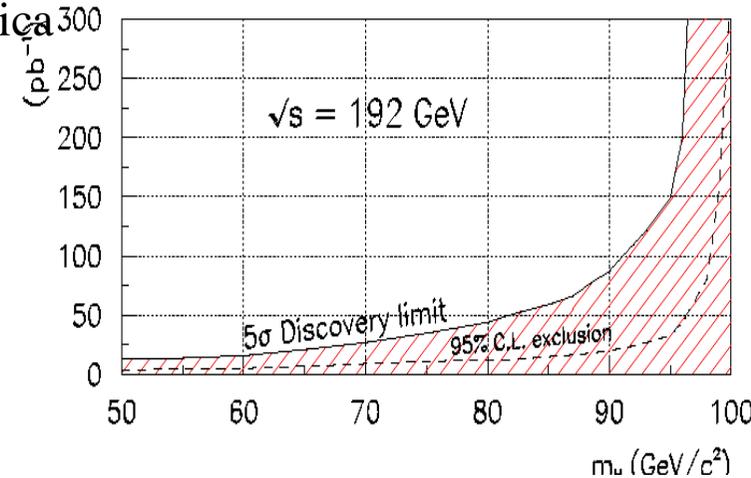
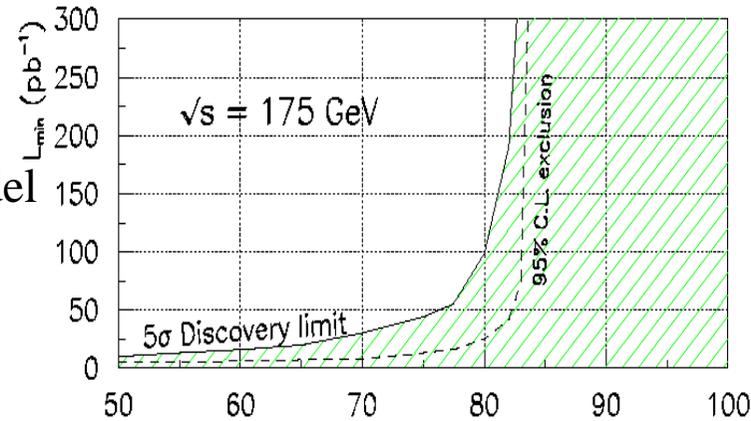
C.L. di “2 $\sigma$ ” cioè Probabilità che gli eventi (non)osservati derivino dalla fluttuazione statistica di segnale + fondo  $\leq 5 \times 10^{-2}$

$L_{scoperta}$

Luminosità integrata (dei 4 esperimenti LEP) affinché il valore medio del segnale atteso superi di 5 $\sigma$  il fondo atteso. Cio' non garantisce di ottenere la scoperta ma equivale ad avere il 50% di probabilità.

$L_{esclusione}$

Luminosità integrata (dei 4 esperimenti LEP) affinché il fondo atteso in assenza di segnale sia inferiore di 2 $\sigma$  rispetto al valore atteso di segnale+fondo. La probabilità di ottenere l'esclusione anche in questo caso è del 50%.



ras:



# Significatività



$$\mathcal{P}(n | b + s) = \frac{e^{-(b+s)} (b+s)^n}{n!}; \quad \langle n \rangle = b + s; \quad \sigma_n = \sqrt{b+s};$$

$$S_{cP} = \frac{s}{\sqrt{b+s}} \quad \left( \begin{array}{l} \text{Nell'ipotesi in cui il fondo } b \\ \text{si possa stimare con precisione} \end{array} \right)$$

$$S_{cP} = \frac{s}{\sqrt{b}} \quad \left( \begin{array}{l} \text{Nell'ipotesi di elevata statistica domina il fondo} \\ \text{pensando a significatività di alcune unità} \end{array} \right)$$

L'inclusione di un errore del fondo  $b$  con distribuzione Gaussiana di  $\Delta b$  si può ottenere con un programma che nel caso di statistica sufficientemente alta (limite Gaussiano della distribuzione di  $n$ ) si può esprimere con la formula:

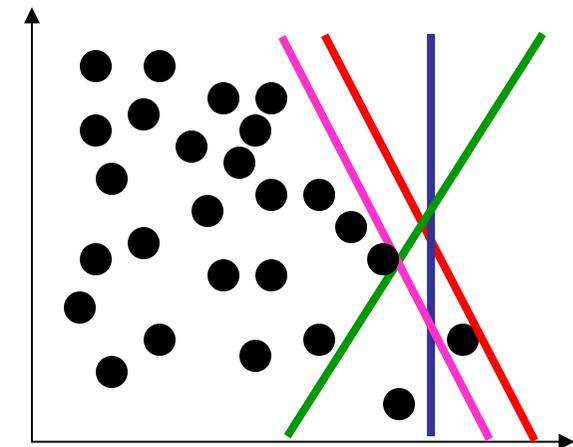
$$S_{cl} = \frac{s}{\sqrt{b + \Delta b^2}}$$



# La “blind analysis”



- quando il numero di eventi osservato è “grande” ( $n \gg \sqrt{n}$ ), le fluttuazioni statistiche modificano poco il risultato; viceversa, in caso di piccoli numeri, la distribuzione di eventi trovati è discreta e fluttua;
- **piccole variazioni della selezione (che corrispondono a piccole differenze di eventi di fondo / segnale aspettati) producono grandi differenze di eventi trovati (ex., con fondo atteso trascurabile, passare da 0  $\rightarrow$  1 evento trovato, come nella figura, fa grande differenza);**
- nessun analista è “neutrale” : a posteriori, si possono sempre trovare argomenti formalmente corretti per modificare di poco un taglio e cambiare di molto i risultati;
- **occorre fissare i criteri di analisi a priori sui mc, ottimizzando la visibilità del segnale aspettato, e poi applicare questi criteri “alla cieca” sugli eventi reali ( $\rightarrow$  “blind analysis”).**



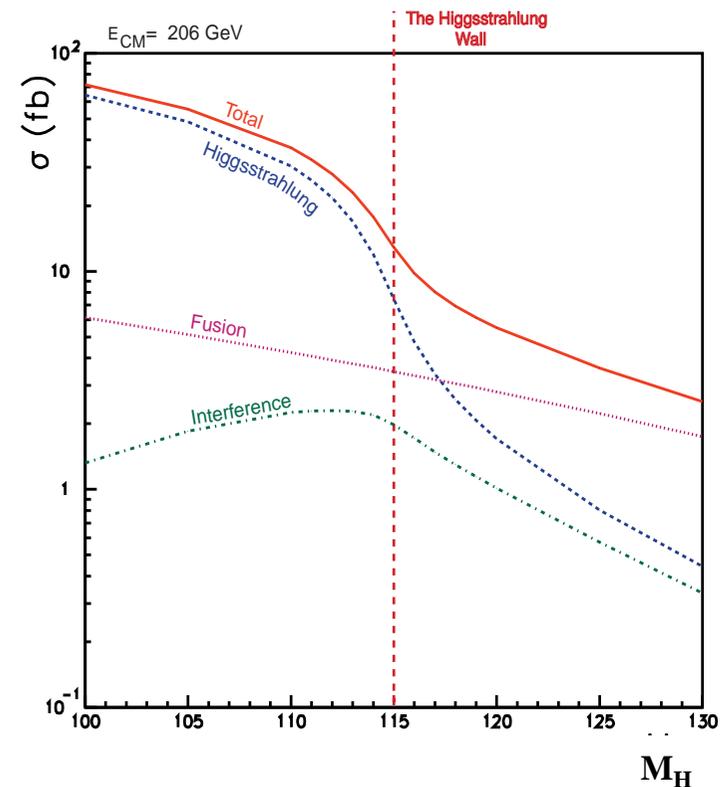
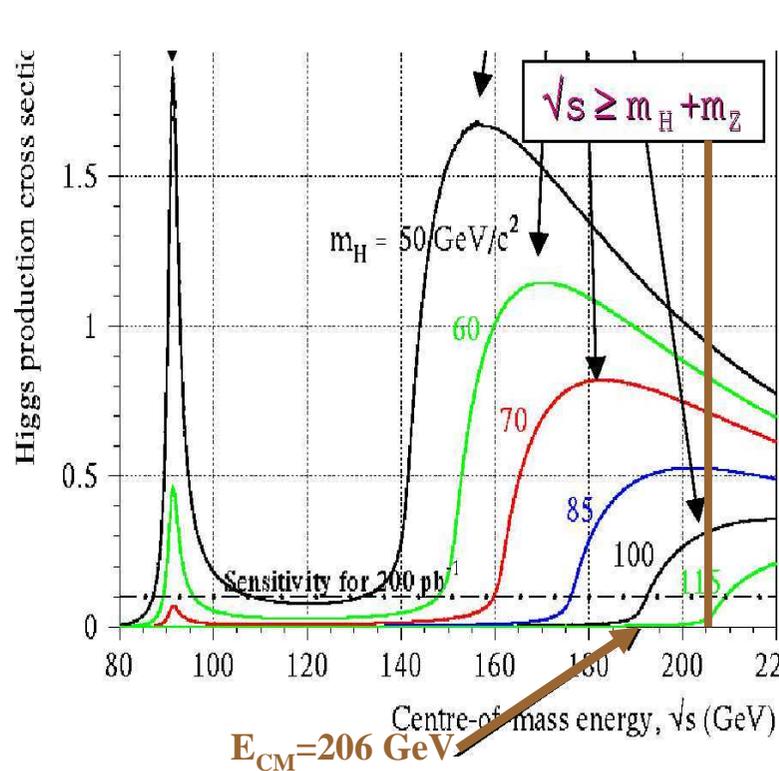
quale è il taglio “giusto” ?



# Ricerca dell'Higgs a LEP II



Al crescere di  $\sqrt{s}$  diventano accessibili produzioni di Higgs per “Higgs-strahlung” (processo di produzione dominante anche a LEP II) con masse sempre maggiori ( $m_H \cong \sqrt{s} - M_Z$ ) ma la sezione di produzione diminuisce



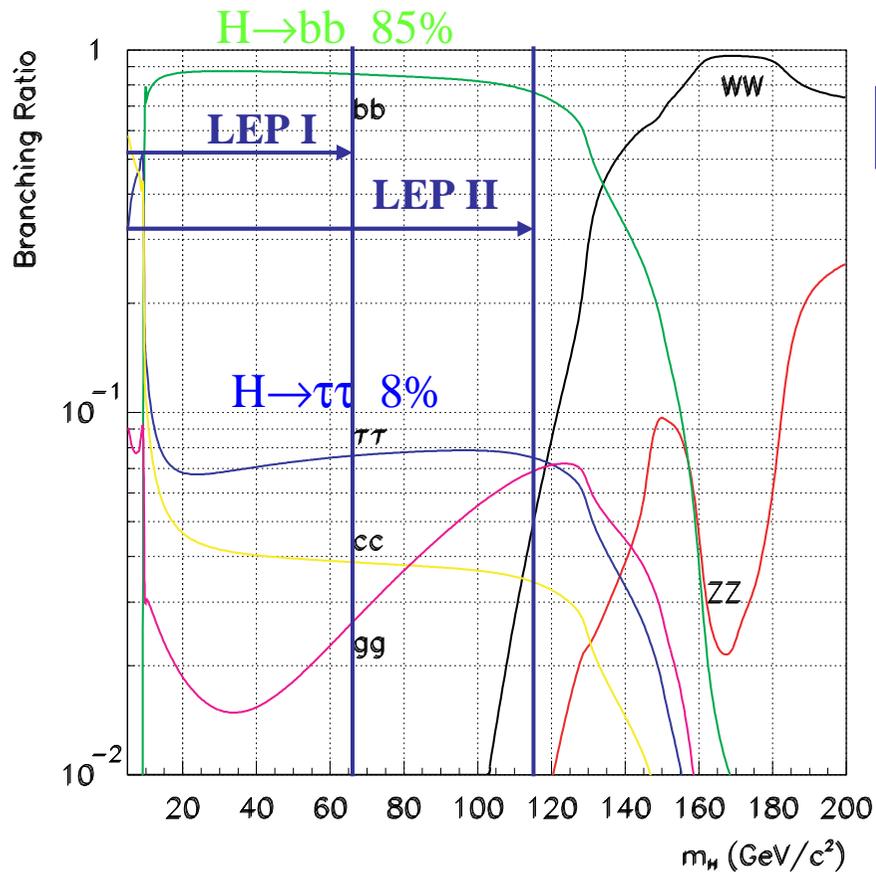


# Decadimenti dell'Higgs a LEP II

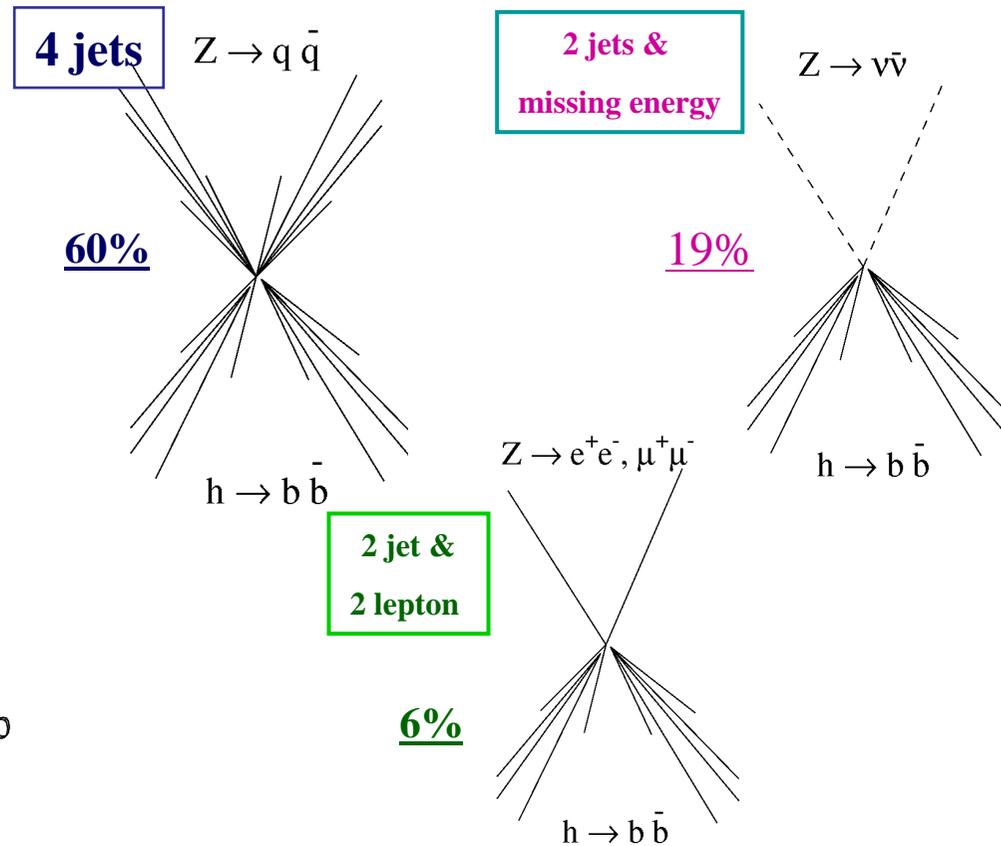


Come a LEP I il decadimento più importante è  $H \rightarrow b\bar{b}$

Da notare che oltre 115 GeV (regione di test per LHC) altri canali di decadimento diventano importanti (WW e ZZ)

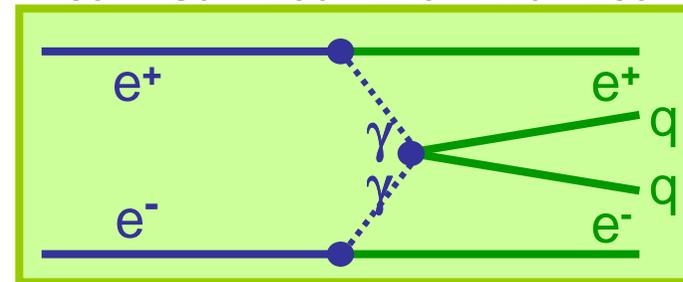
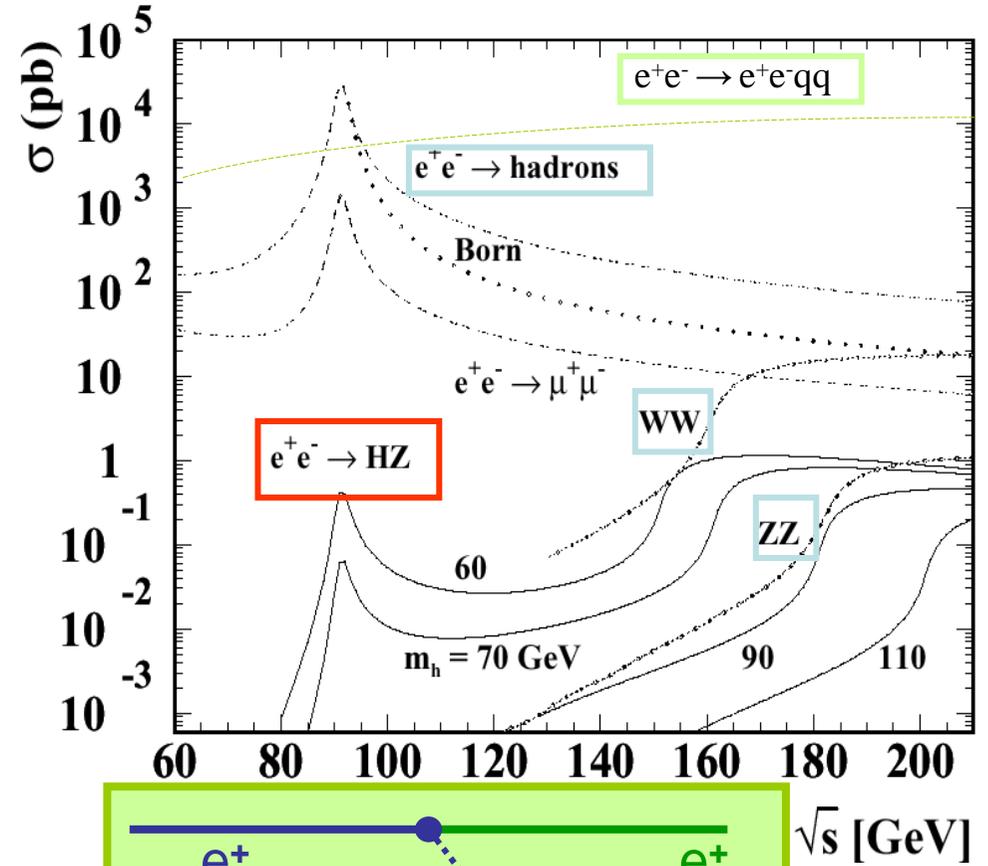
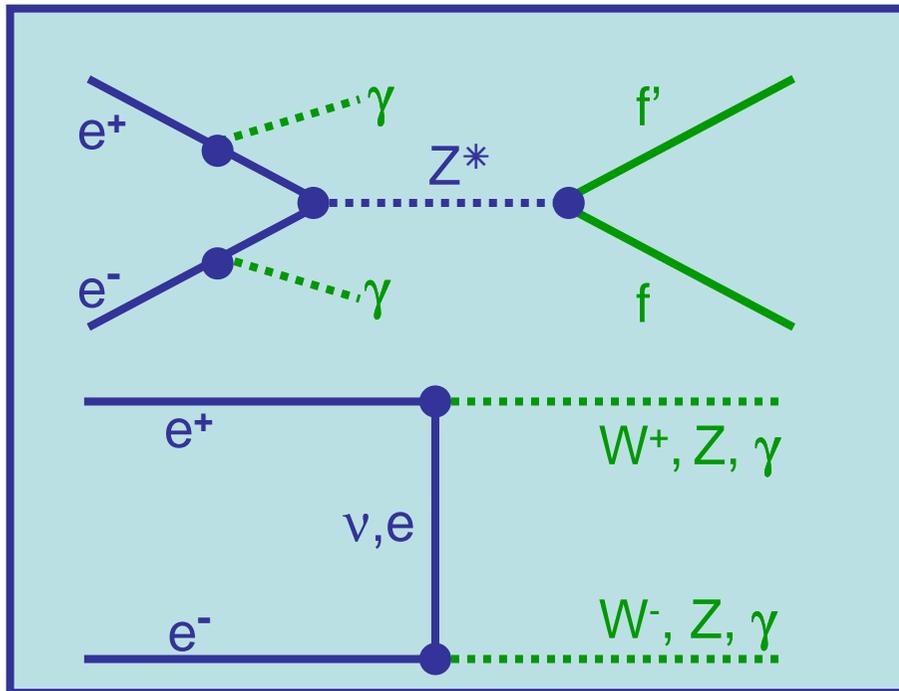
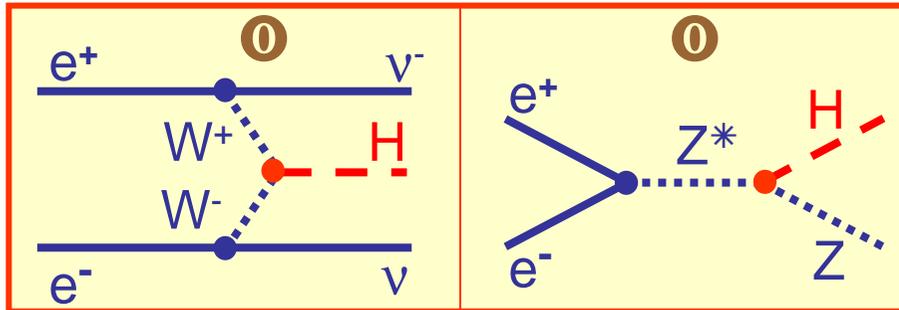


Topologie di ricerca:



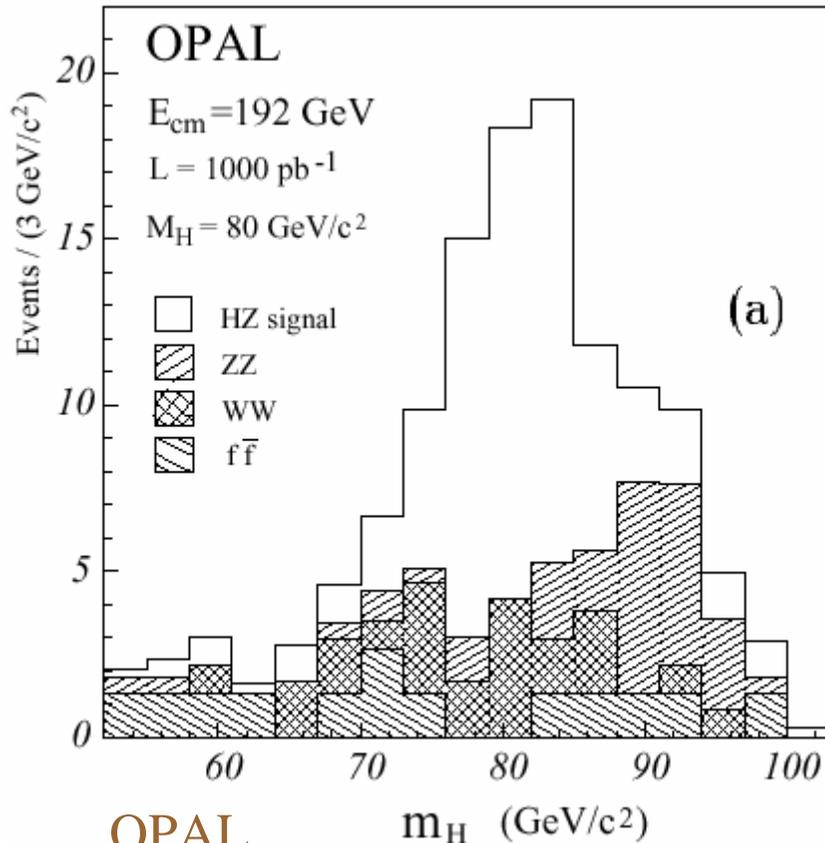


Al fondo oltre al canale  $Z \rightarrow ff$  si aggiungono contributi dai decadimenti di  $WW$  e  $ZZ$

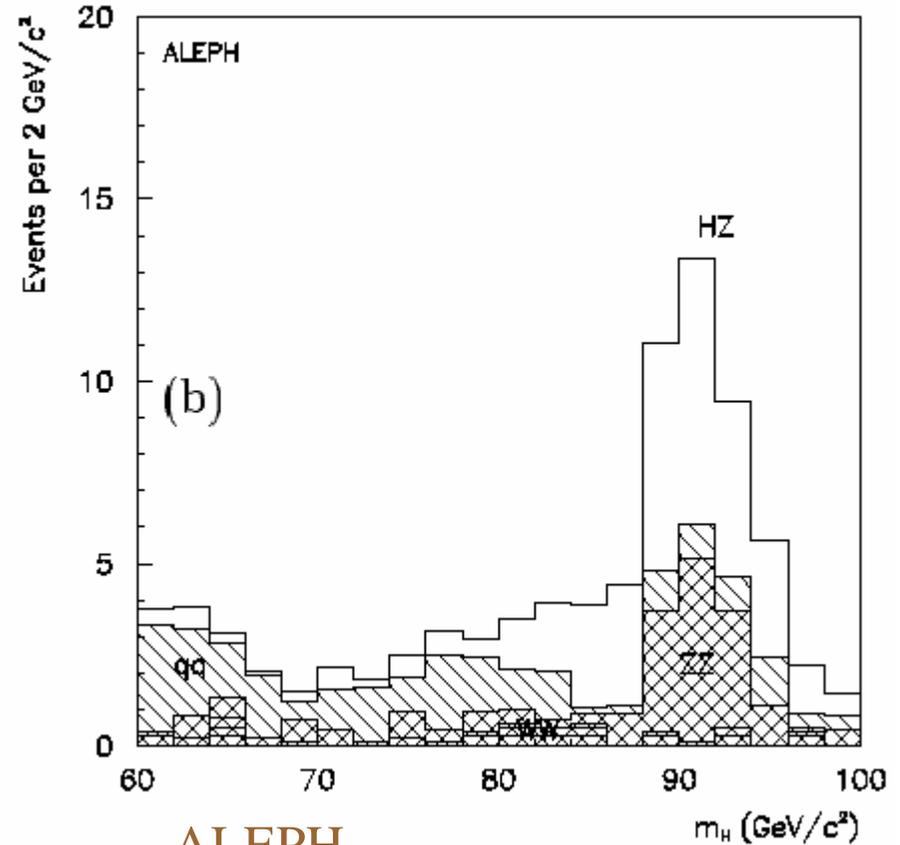




Esempi di distribuzioni di masse invarianti attese per il segnale e per i fondi



OPAL  
 $HZ \rightarrow 2\text{jet } 2\nu$ ,  $\sqrt{s}=192$  GeV,  
 $m_H=80$  GeV,  $L = 1000$  pb<sup>-1</sup>.



ALEPH  
 $HZ \rightarrow 4\text{jet}$ ,  $\sqrt{s}=192$  GeV  
 $m_H=90$  GeV,  $L = 500$  pb<sup>-1</sup>

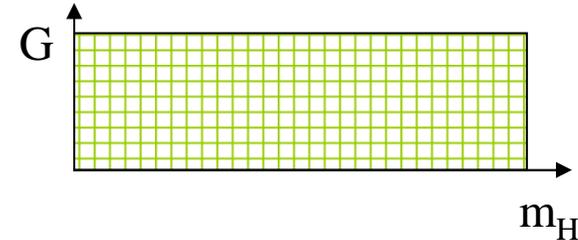


## Metodo statistico

Come combinare diverse analisi di diversi canali a diverse Energie ?

I dati di tutti i canali (Hqq, Hvv, Hll) a tutte le energie  $E_{cm}$  vengono raggruppati in un unico spazio bidimensionale costituito dalle variabili:

- $m_H^{rec}$  massa invariante ricostruita
- $G$  variabile discriminante (Q<sub>NN</sub>, b-tag)



In ogni canale  $k$  ( coppia di bin di  $m_H^{rec}$  e  $G$  ) si ricavano

- $b_k$  fondo stimato
- $s_k$  segnale stimato (dipendente dal parametro  $m_H$ )
- $n_k$  numero di candidati

Costruendo le Likelihood per le ipotesi che i candidati osservati derivino

- da segnale + fondo  $L_{s+b}$
- da solo fondo  $L_b$

si puo' ottenere il  $\chi^2$  per ogni massa  $m_H$  nelle due ipotesi



Il metodo della Maximum likelihood: l'esempio visto in  $A_{FB}$

$$L = \prod_i \left( (1 + \cos^2 \vartheta_i) + \frac{8}{3} A_{FB} \cos \vartheta_i \right) = \prod_i P(\theta_i, A_{FB})$$

$P$  è la densità di probabilità per un evento  $\theta_i$  con parametro  $A_{FB}$ .

Si ricava il valore di  $A_{FB}$  che massimizza i prodotti delle densità di probabilità.

In questo caso vogliamo discriminare un numero di eventi osservati ( $n$ )

rispetto ad un numero medio di eventi attesi con segnale ( $b+s$ )

o rispetto ad un numero medio di eventi attesi senza segnale ( $b$ ).

La densità di probabilità è data dalla distribuzione di Poisson:

$$P(n | b + s) = \frac{e^{-(b+s(m_H))} (b + s(m_H))^n}{n!} \quad \text{Si è esplicitata la dipendenza di } s \text{ da } m_H$$

Considerando la suddivisione in bin (canali  $k$ ) di  $m_H^{rec}$  e  $G$  :

$$L = \prod_k P(n_k | b_k + s_k(m_H))$$



Per considerare il contributo di ogni singolo candidato occorre ricavare le densità di probabilità per fondo e segnale in ogni canale  $k$ :  $m_H^{rec}$ ,  $G$ .

$$L = \prod_k P(n_k | b_k + s_k(m_H)) \cdot \prod_{i=1}^{n_k} \frac{s_k S_{ik}(m_H) + b_k B_{ik}}{s_k + b_k}$$

Il test di comparazione si effettua osservando la dipendenza:

$$Q(m_H) = \frac{L_{n|b+s}(m_H)}{L_{n|b}(m_H)} \quad -2\ln(Q(m_H))$$

Tale scelta risulta conveniente in quanto:  $-2\ln(Q(m_H)) \cong \Delta\chi^2$

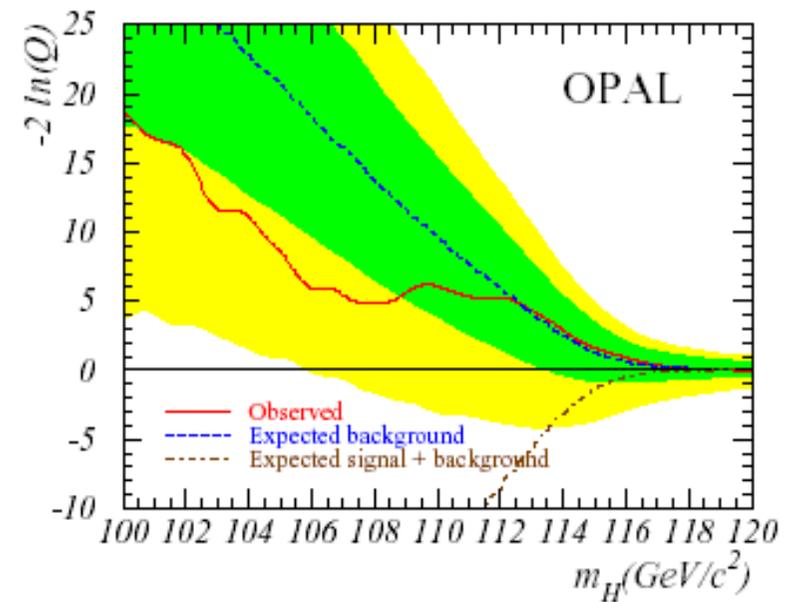
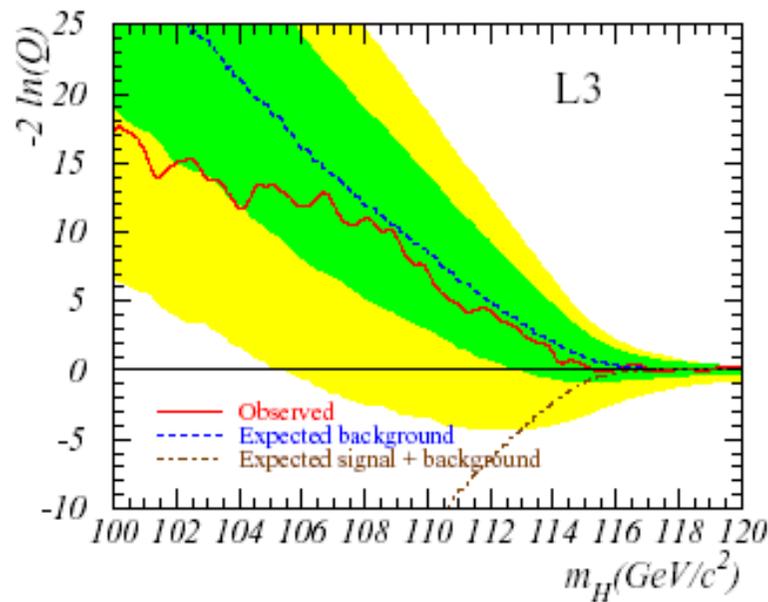
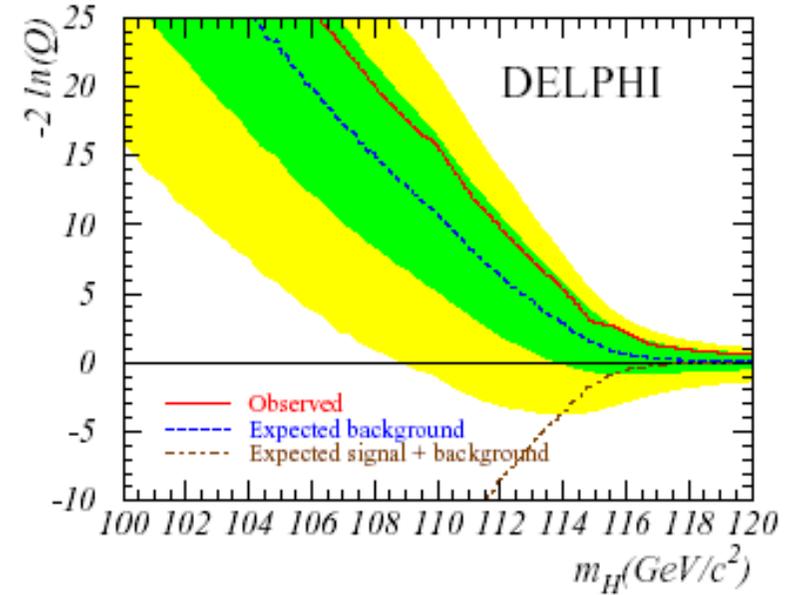
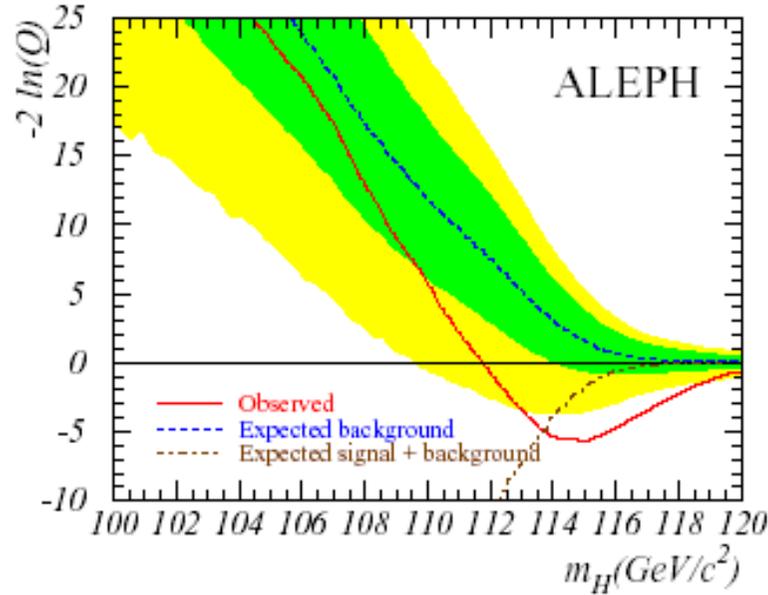
Osserviamo  $-2\ln(Q(m_H))$

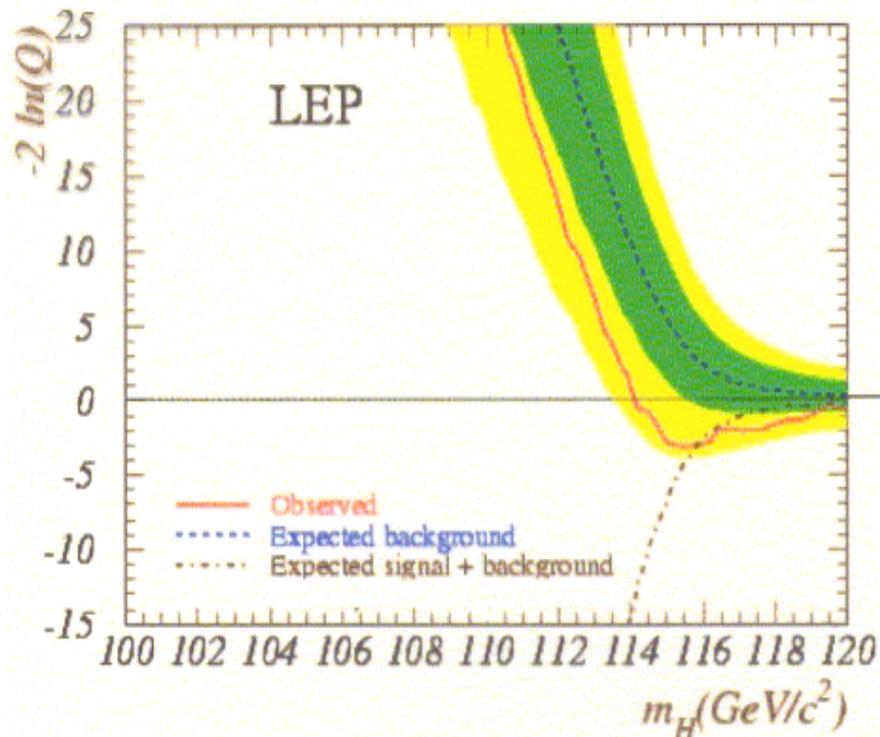
- (i) per i dati reali
- (ii) per dati MC con  $n=b$  (se osservassi un numero di eventi uguale al fondo medio)
- (iii) per dati MC con  $n=b+s$  (se osservassi un numero di eventi uguale a segnale + fondo medio)



verde:  $1\sigma$  dal fondo

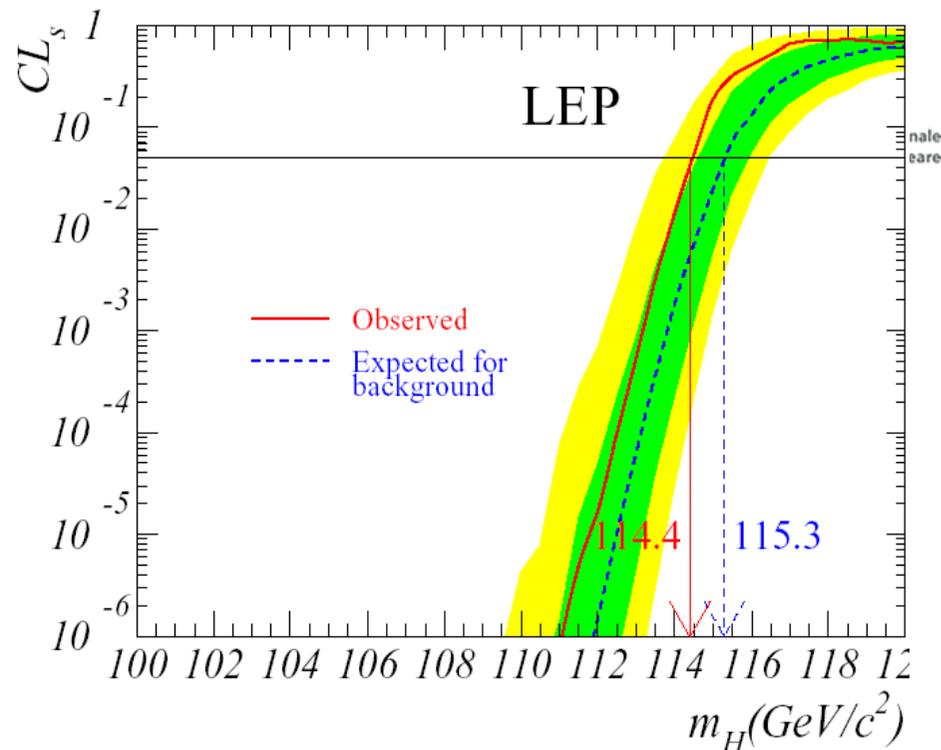
giallo:  $2\sigma$  dal fondo





s+b preferito da 114 in su

la curva osservata resta entro  $2\sigma$  da quella del fondo medio per ogni  $m_H$



L'esclusione al 95% precedentemente introdotta era riferita all'ipotesi s+b ( $CL_{s+b} = 5\%$ ).

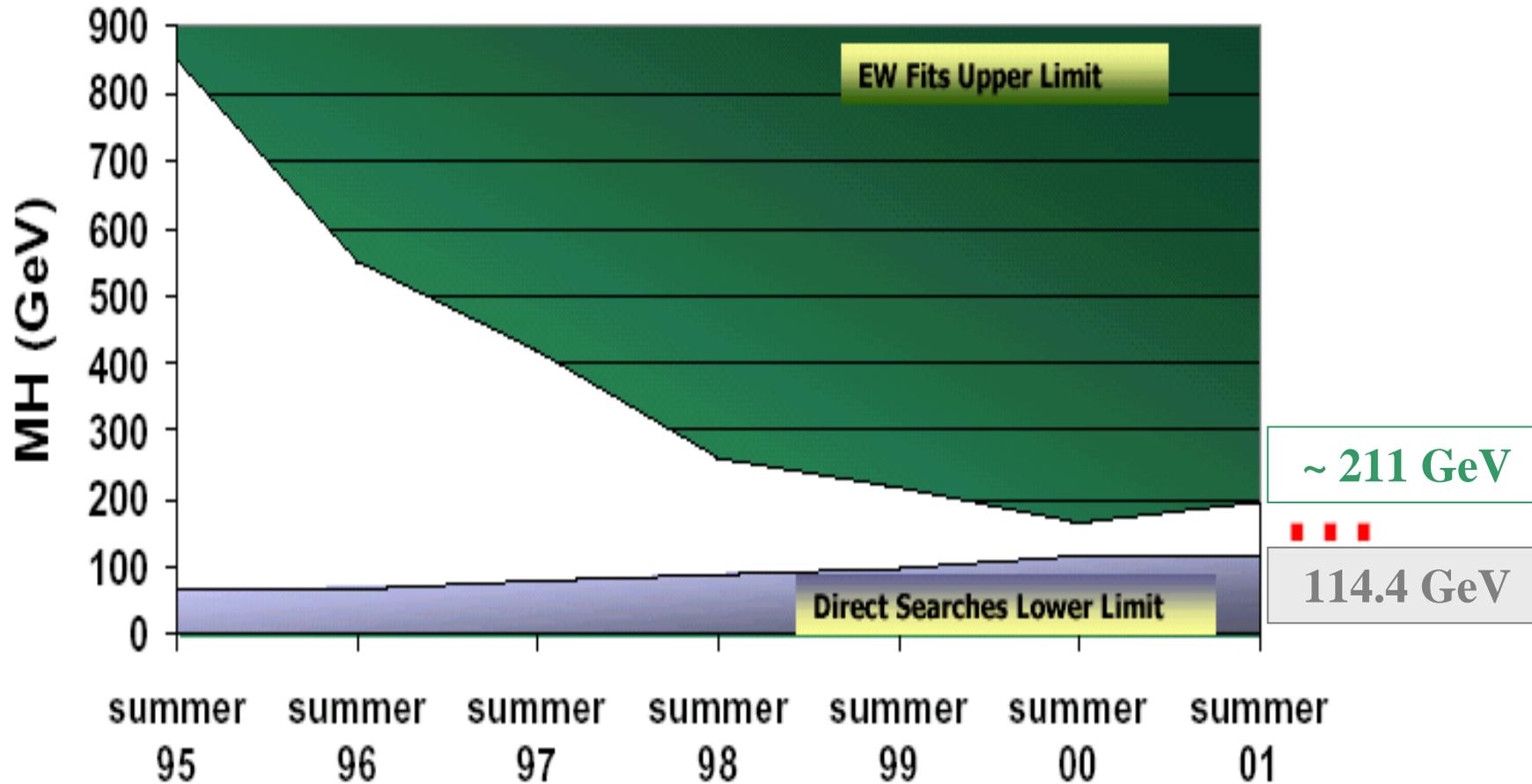
Per essere piu' conservativi si valuta l'esclusione al 95% dell'ipotesi s+b rispetto all'ipotesi b ( $CL_s = CL_{s+b} / CL_b = 5\%$ ) (si limita la dipendenza del limite di massa da una sottofluttuazione del fondo)

( ex. 5% = 4.5% / 0.9 )

$m_H > 114.4$  GeV al 95%  $CL_s$



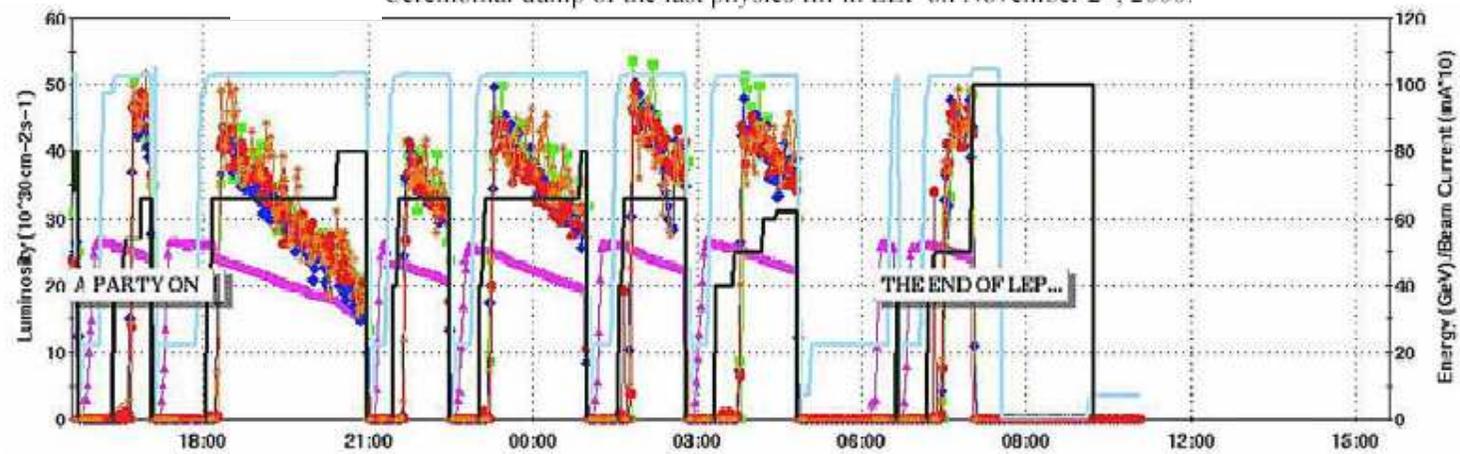
# La “finestra” su $M_{\text{Higgs}}$



La finestra è al 95% di C.L. , i valori al di fuori della finestra non sono vietati, sono meno probabili



Ceremonial dump of the last physics fill in LEP on November 2<sup>nd</sup>, 2000.



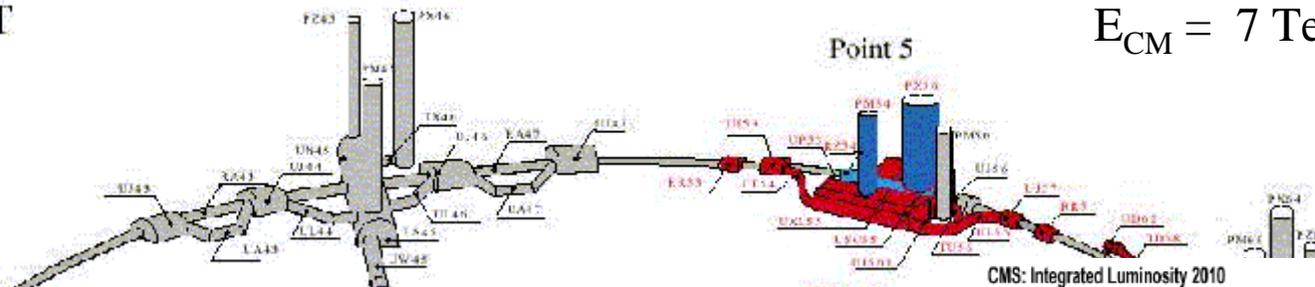


# Ricerca dell'Higgs a LHC



LHC PROJECT

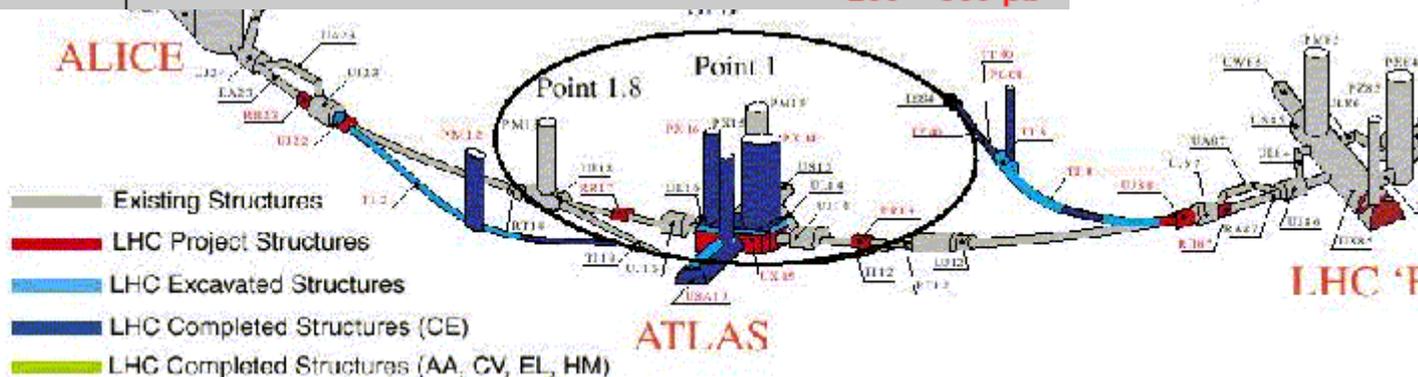
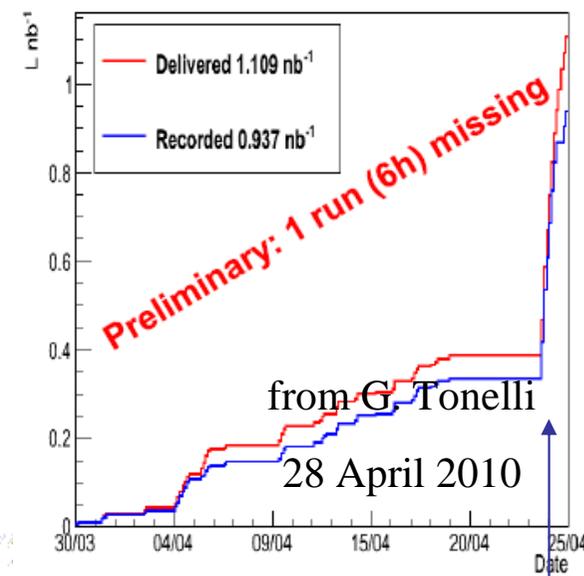
$$E_{CM} = 7 \text{ TeV}$$



Month	No. Bunches	Protons per bunch	$\beta^*$ [m]	% Nom	Peak luminosity cm-2s-1	Integrated luminosity
1	Beam Commissioning					
2	43	$3 \times 10^{10}$	4	0.4	$1.2 \times 10^{30}$	100 – 200 nb <sup>-1</sup>
3	43	$5 \times 10^{10}$	4	0.7	$3.4 \times 10^{30}$	~2 pb <sup>-1</sup>
4	156	$5 \times 10^{10}$	2	2.5	$2.5 \times 10^{31}$	~13 pb <sup>-1</sup>
5	156	$7 \times 10^{10}$	2	3.3	$4.9 \times 10^{31}$	~25 pb <sup>-1</sup>
6	720	$3 \times 10^{10}$	2	6.7	$4.0 \times 10^{31}$	~21 pb <sup>-1</sup>
7	720	$5 \times 10^{10}$	2	11.2	$1.1 \times 10^{32}$	~60 pb <sup>-1</sup>
8	720	$5 \times 10^{10}$	2	11.2	$1.1 \times 10^{32}$	~60 pb <sup>-1</sup>
9	720	$5 \times 10^{10}$	2	11.2	$1.1 \times 10^{32}$	~60 pb <sup>-1</sup>
10	lons					
<b>Total</b>						<b>200 – 300 pb<sup>-1</sup></b>

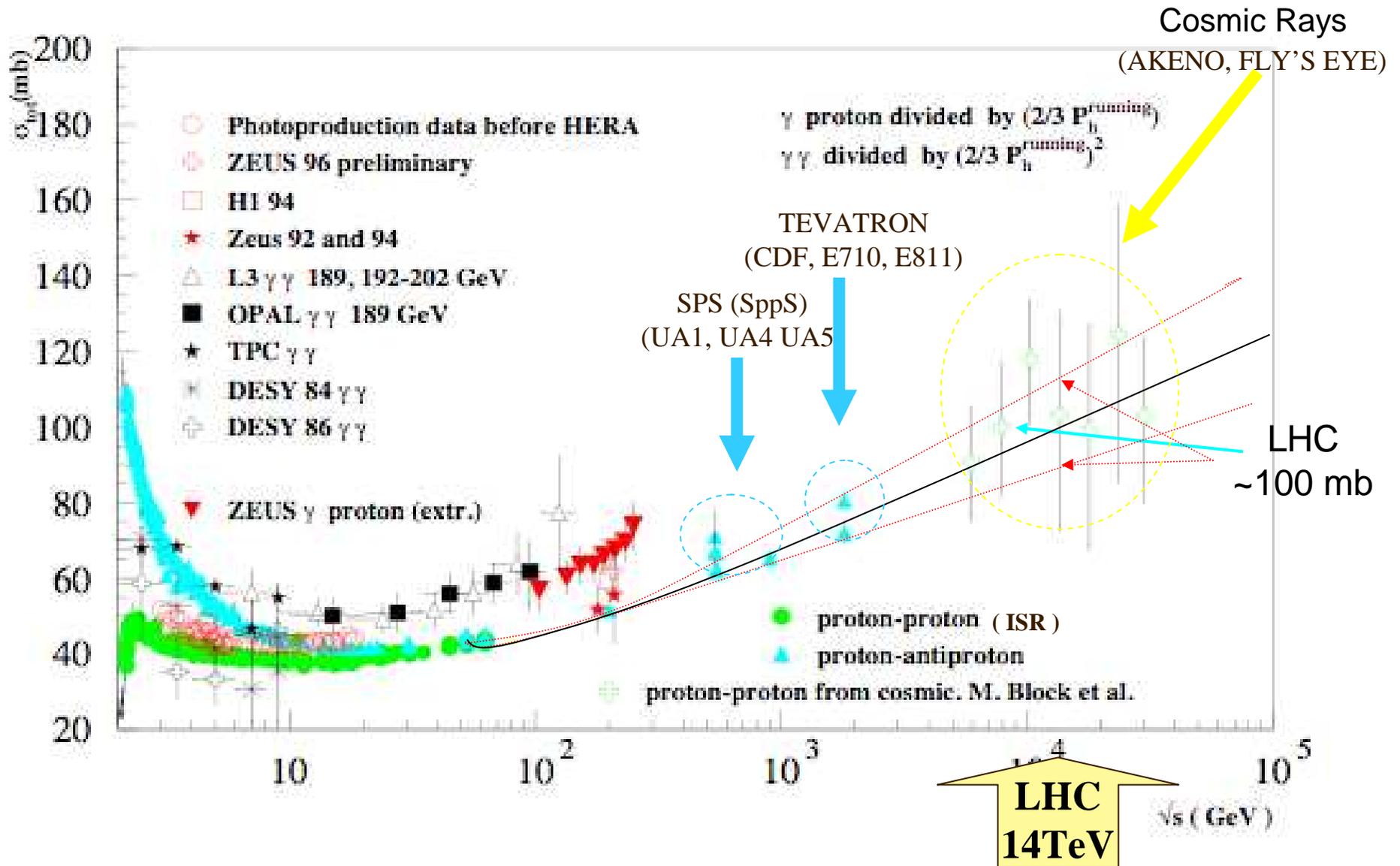
CMS

CMS: Integrated Luminosity 2010



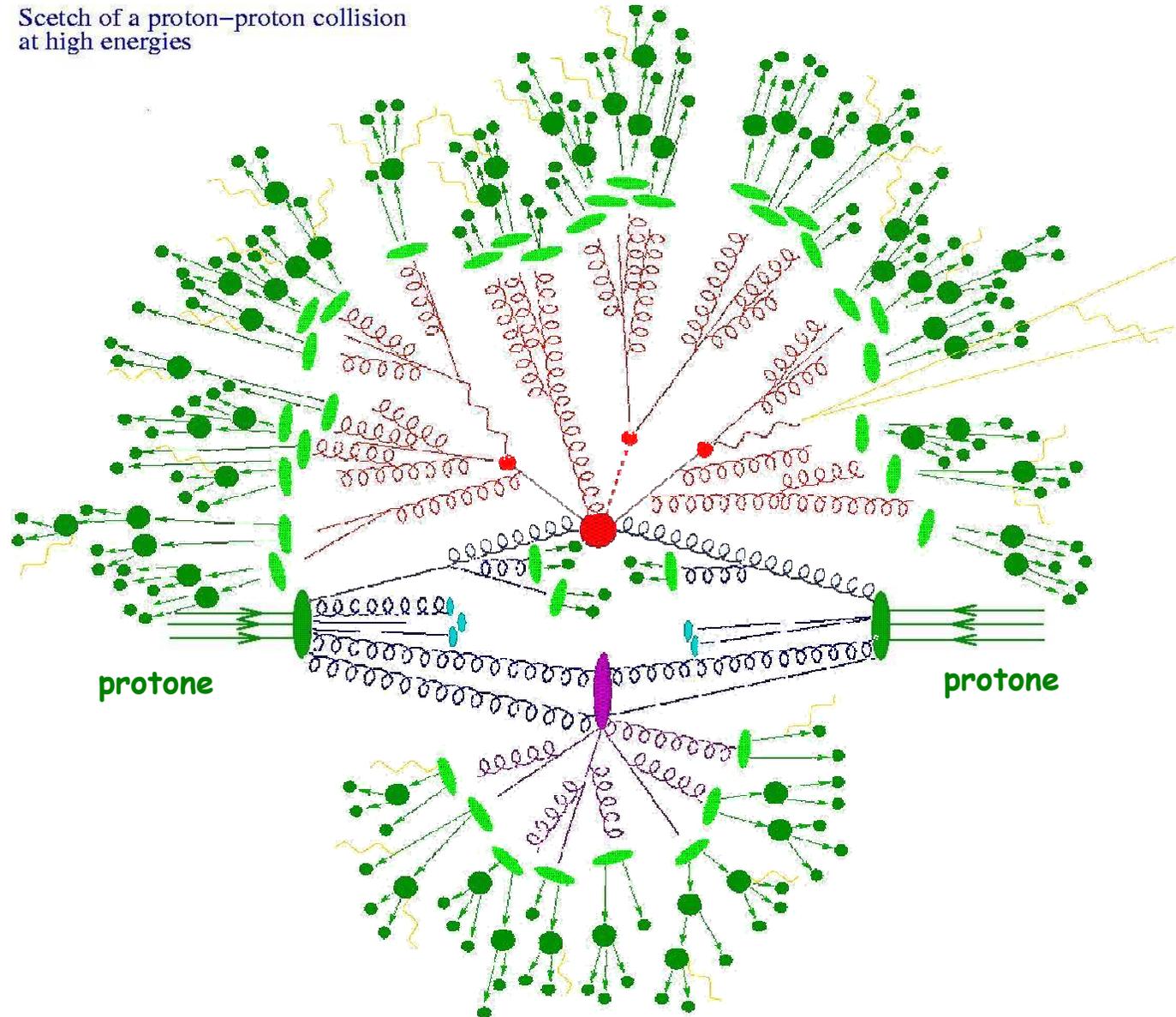
- 1.2 10<sup>10</sup> p/bunches
- $\beta^* = 2\text{m}$
- 3x3 bunches
- $\mathcal{L} \sim 10^{28} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$

# Interazioni p-p a LHC





Scetch of a proton-proton collision at high energies



**Interazione principale**

**ISR e FSR**

**Creazione dei Jet**

**Frammentazione e Adronizzazione**

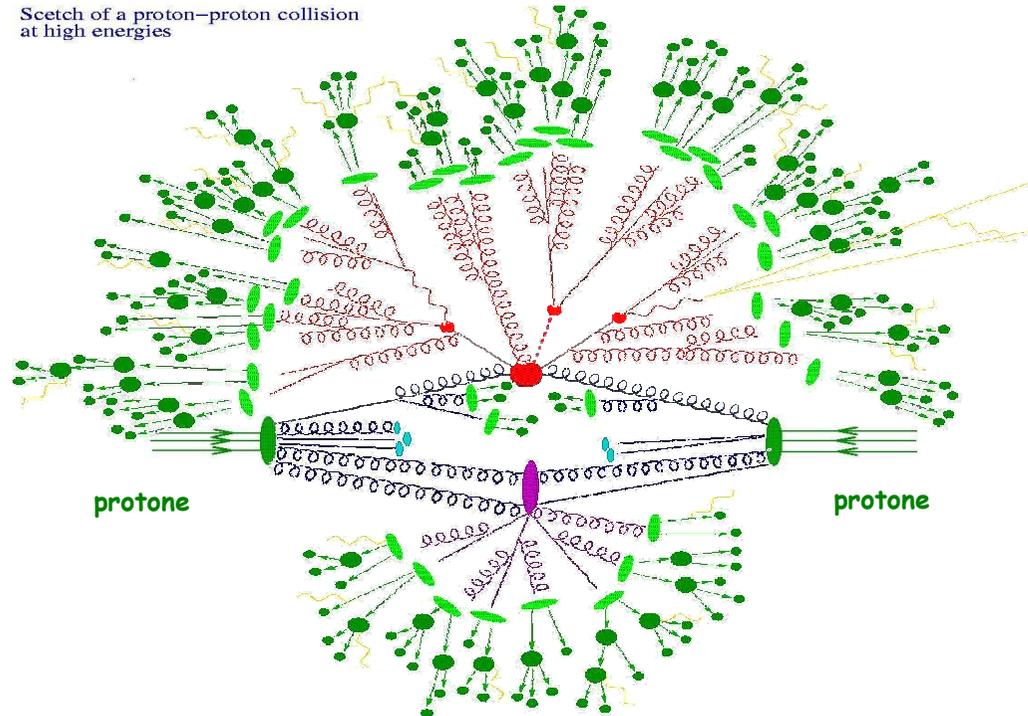
**Interazioni Multi Partoniche**

**Beam Remnant**



# Underlying Event e Minimum Bias

Sketch of a proton-proton collision at high energies



L'Underlying Event è la parte di evento che accompagna il processo ad alto impulso trasverso

ISR, FSR, Interazioni Multi Partoniche, Parte rimanente del fascio

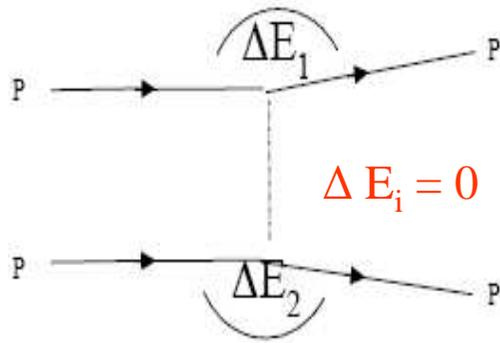
Oltre al processo p-p che ha prodotto l'evento interessante vi sono anche le interazioni p-p appartenenti allo stesso beam-crossing



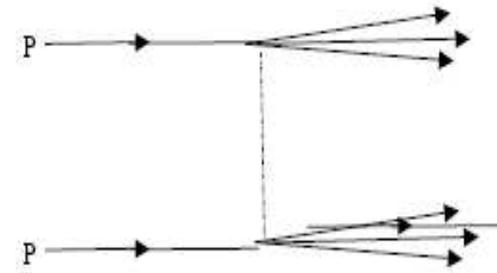
## Minimum Bias: Scattering inelastico soffice



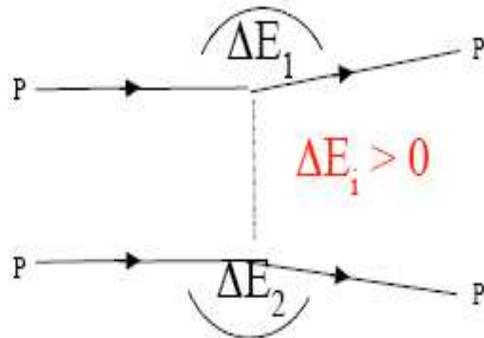
- Evento osservabile dal rivelatore (Pt minimo  $\sim 100$  MeV) ← Bias minimo
- Nessuna o poche tracce prodotte ad un Pt significativo ( $\sim 2$  GeV)



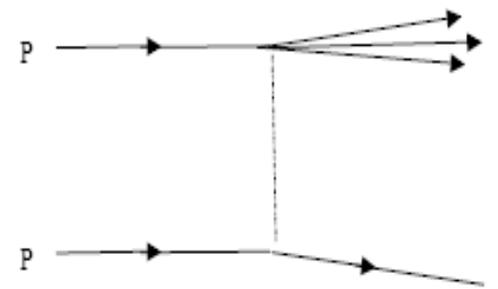
Scattering Elastico (25%)



Inelastico Non diffrattivo (55%)



Inelastico doppio diffrattivo (8%)

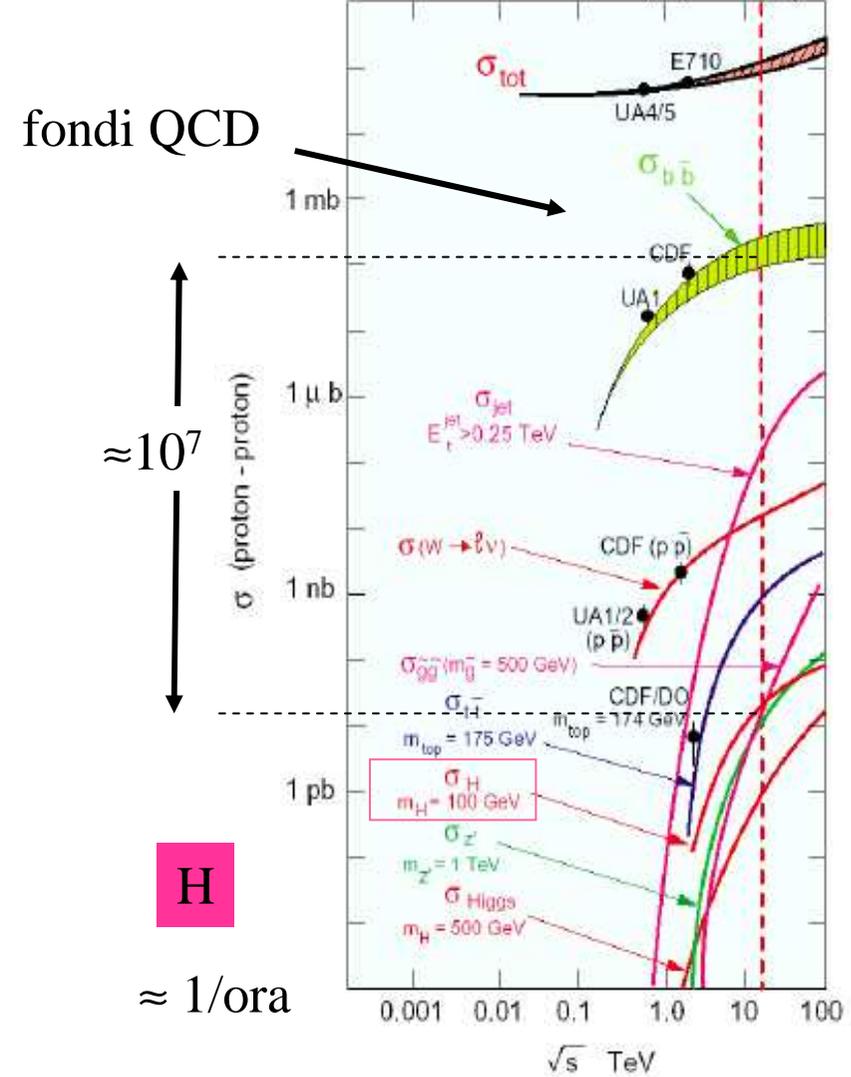
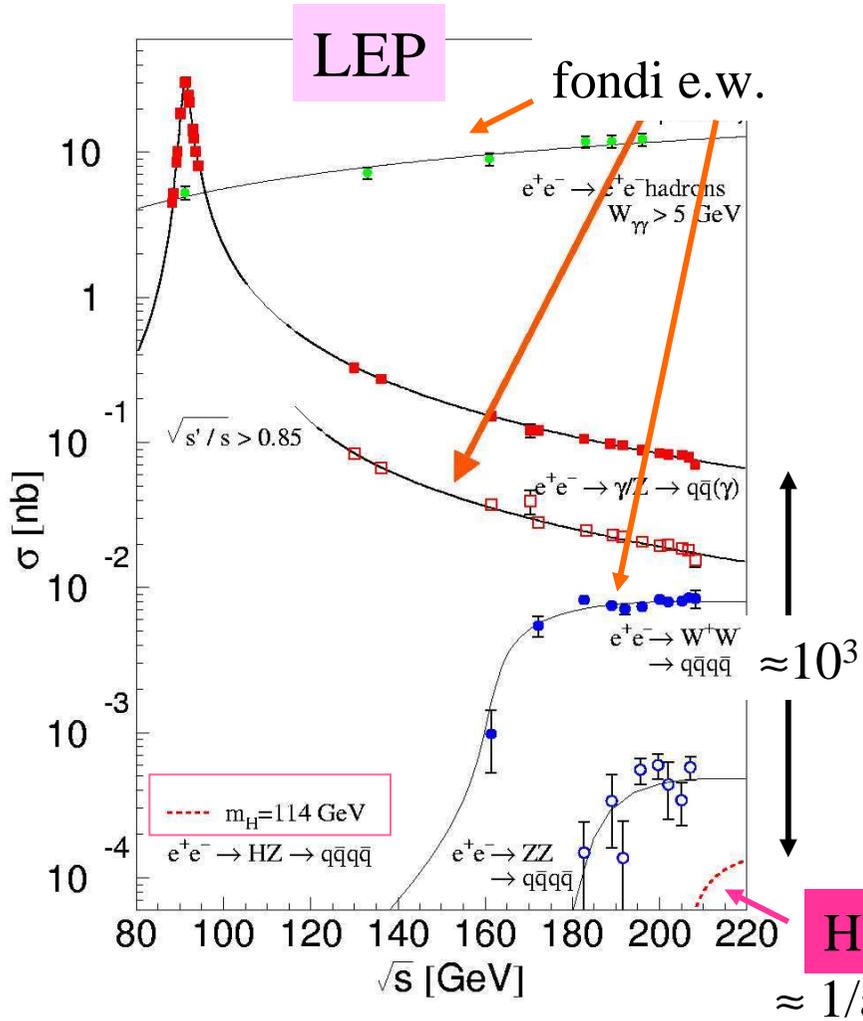


Inelastico singolo diffrattivo (8%)



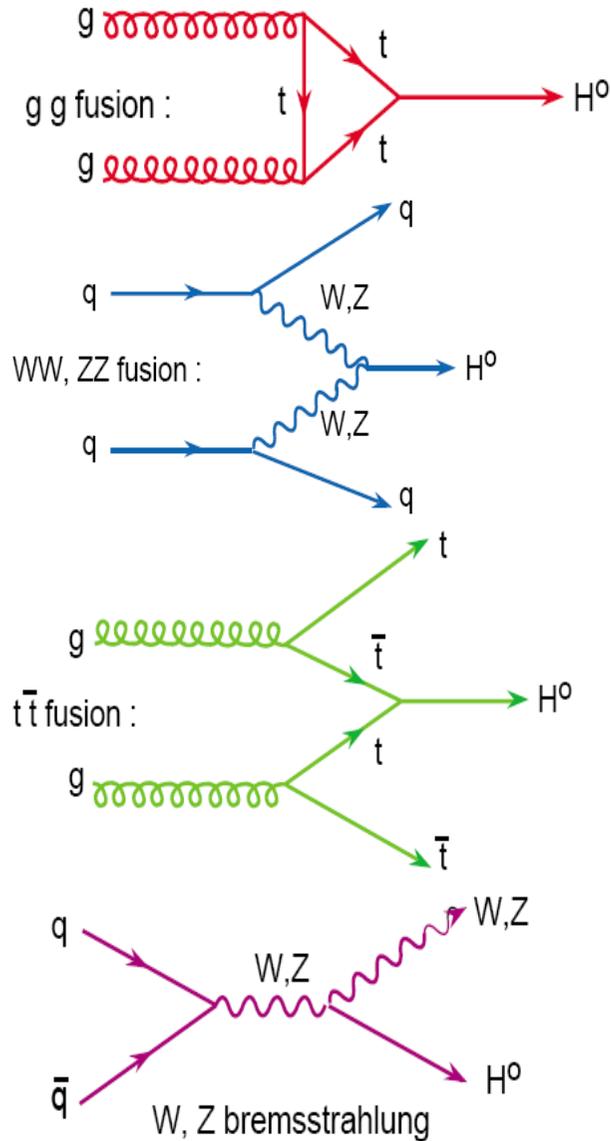
# Da LEP a LHC

LHC: una fabbrica di Higgs, ma in un ambiente un pò ostile...



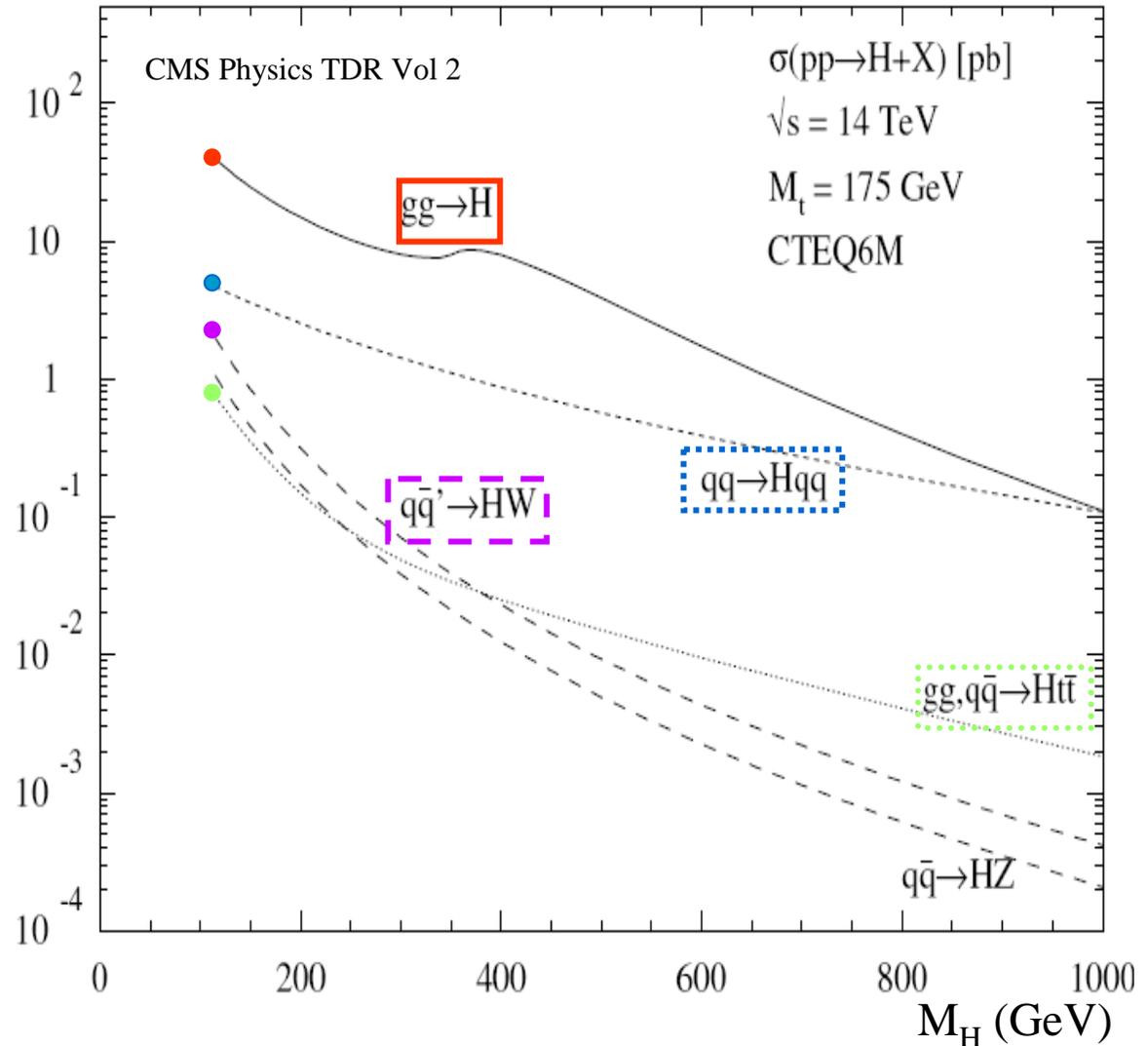


# Produzione del bosone di Higgs a LHC



Padova 29 Aprile 2010

SM Higgs production cross section including NLO QCD corrections



Ezio Torassa

Dottorato in Fisica XXV Ciclo



# Decadimenti del bosone di Higgs

Per masse dell'Higgs sopra 135 GeV i principali modi di decadimento sono:

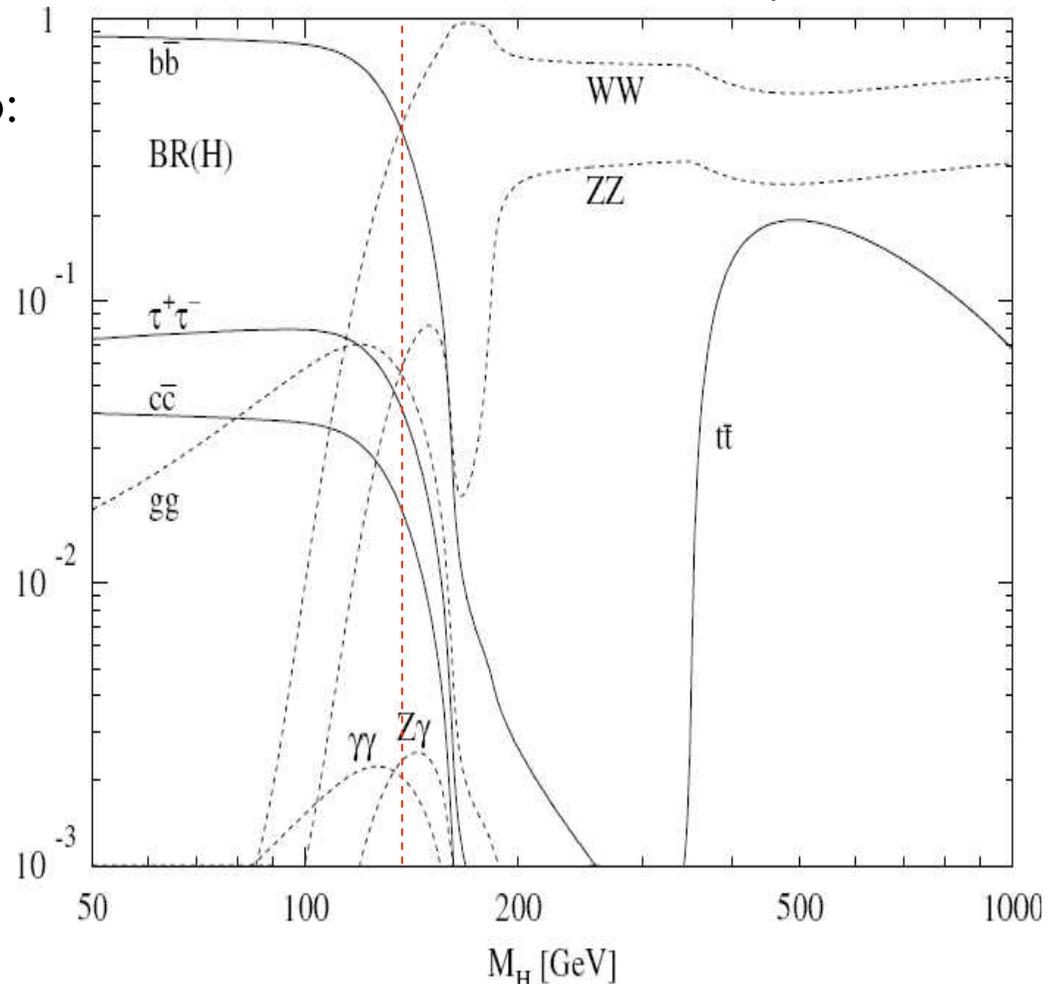
WW(\*) and ZZ(\*)

sotto 135 GeV sono b quarks e  $\tau^+\tau^-$

Le costanti di accoppiamento del bosone di Higgs ai **fermioni** ed ai **bosoni** sono proporzionali alle masse delle particelle:

$$g_{hf\bar{f}} = \frac{m_f}{v} \propto m_f \quad g_{hVV} = \frac{2m_V^2}{v} \propto M_W$$

$$\left[ v = \frac{M_W \sin \theta_W}{\sqrt{\alpha\pi}} \approx 246 \text{ GeV}/c^2 \right]$$



Cioè: **Appena  $m_H$  è tale da aprire un nuovo Canale di Decadimento i cui prodotti hanno Masse maggiori, questo diventa il favorito**



Il decadimento in coppie di bosoni vettori risulta dominante rispetto al decadimento in coppie di fermioni a causa della loro maggiore massa.

Confrontando invece le due diverse coppie di bosoni WW e ZZ risulta maggiore per un fattore  $\sim 3$  la coppia con minore massa.

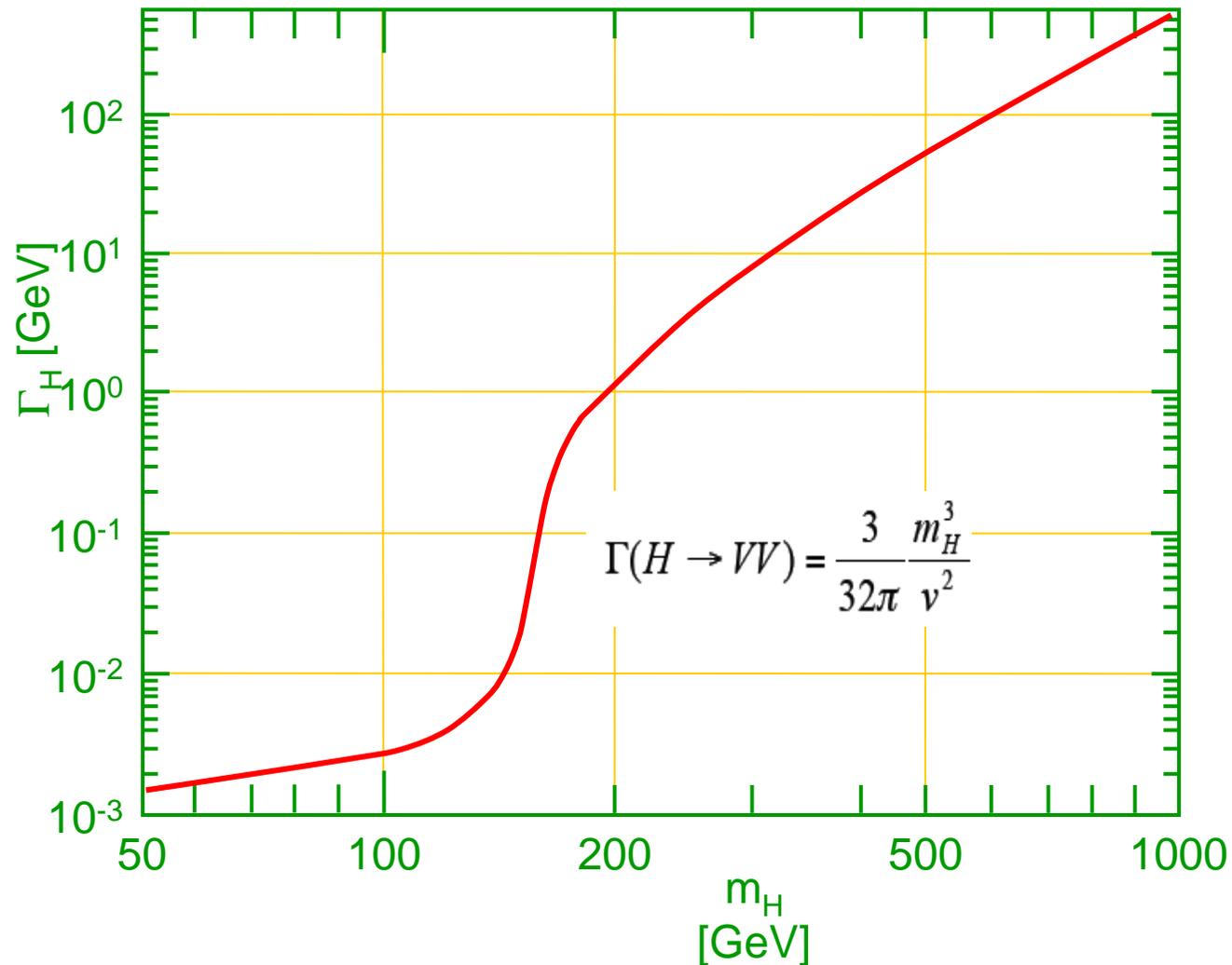
$$g_{hVV} = \frac{2m_V^2}{v} \propto M_W$$

$$\mathcal{L}_{HVV} = \frac{2m_W^2}{v} W_\mu^+ W^{-\mu} H + \frac{m_Z^2}{v} Z^\mu Z_\mu H \equiv g_{m_W} W_\mu^+ W^{-\mu} H + \frac{1}{2} \frac{g_{m_Z}}{\cos \theta_W} Z^\mu Z_\mu H$$

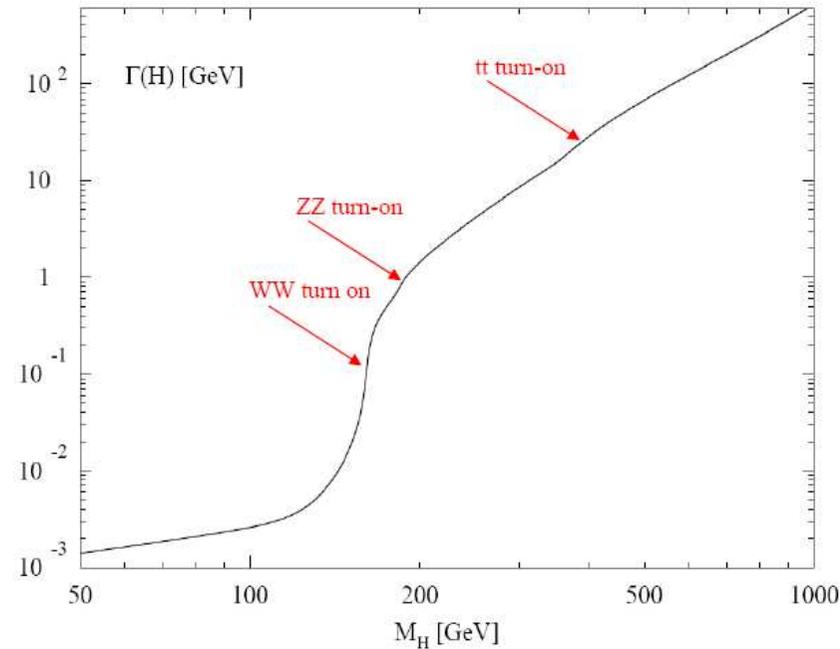
$$BR(h \rightarrow WW) / BR(h \rightarrow ZZ) = g_{hWW}^2 / g_{hZZ}^2 = 4M_W^2 / M_Z^2 \sim 3$$



# Larghezza del bosone di Higgs



La larghezza passa da alcuni MeV per basse masse a centinaia di GeV per alte masse a causa della dipendenza da  $m_H^3$  dell'accoppiamento  $H \rightarrow VV$



**Fermions:** 
$$\Gamma_f = \frac{g^2}{32\pi m_W^2} m_f^2 m_H N_c (1 - x_f), \quad \text{where } x_f = \left(\frac{2m_f}{m_H}\right)^2$$

$N_c=3$  for quarks and  $=1$  for leptons.

**WW:** 
$$\Gamma_{WW} = \frac{g^2}{64\pi m_W^2} m_H^3 \sqrt{1 - x_W} \left(1 - x_W + \frac{3}{4} x_W^2\right), \quad \text{where } x_W = \left(\frac{2m_W}{m_H}\right)^2$$

**ZZ:** 
$$\Gamma_{ZZ} = \frac{1}{2} \frac{g^2}{64\pi m_W^2} m_H^3 \sqrt{1 - x_Z} \left(1 - x_Z + \frac{3}{4} x_Z^2\right), \quad \text{where } x_Z = \left(\frac{2m_Z}{m_H}\right)^2$$

$\Gamma_{ZZ}$  has a factor of two penalty in phase space in comparison to  $\Gamma_{WW}$   
(Z and Z are indistinguishable in comparison to  $W^+$  and  $W^-$ )

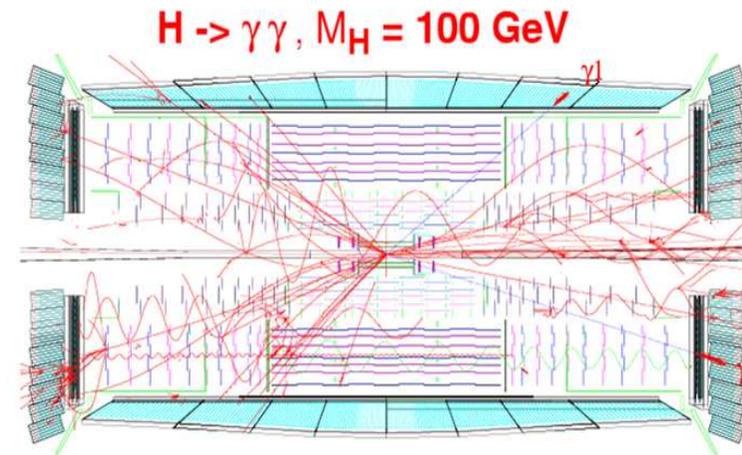
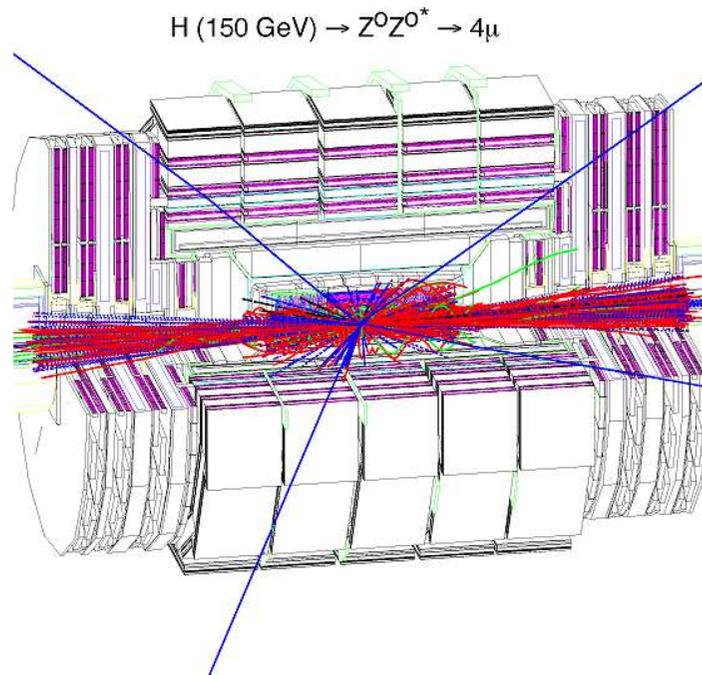


# Canali di ricerca del bosone di Higgs a LHC

Vedremo in dettaglio i principali canali di scoperta dell'Higgs:

$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$     $H \rightarrow WW \rightarrow 2l$     $H \rightarrow \gamma\gamma$    nelle due componenti di fusione  $gg$  e VBF  
e le produzioni associate ( Ex.  $qq \rightarrow ttH$  ,  $H \rightarrow bb$  )

La ricerca dell'Higgs al Tevatron orienterà la ricerca dell'Higgs ad LHC verso i canali che danno accesso alle masse non ancora escluse al 95%.

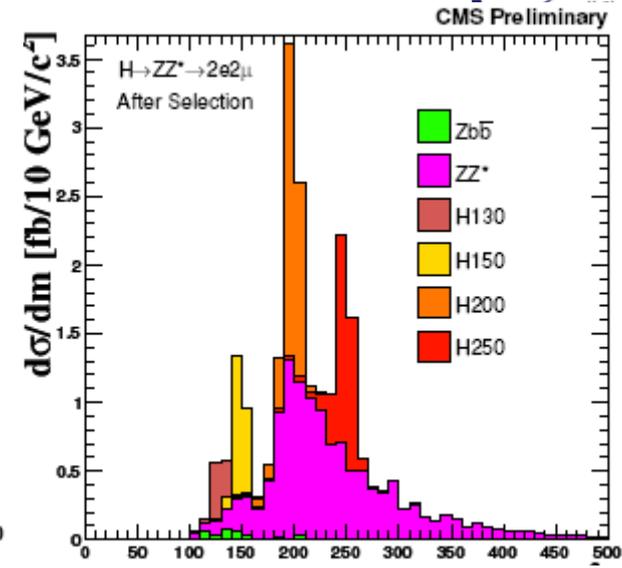
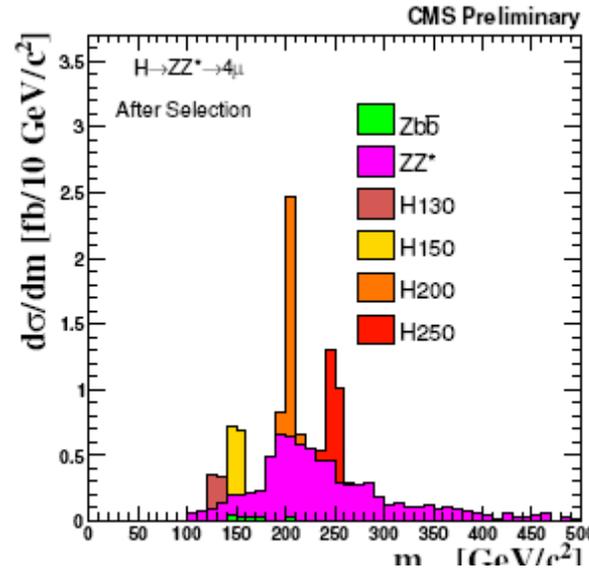
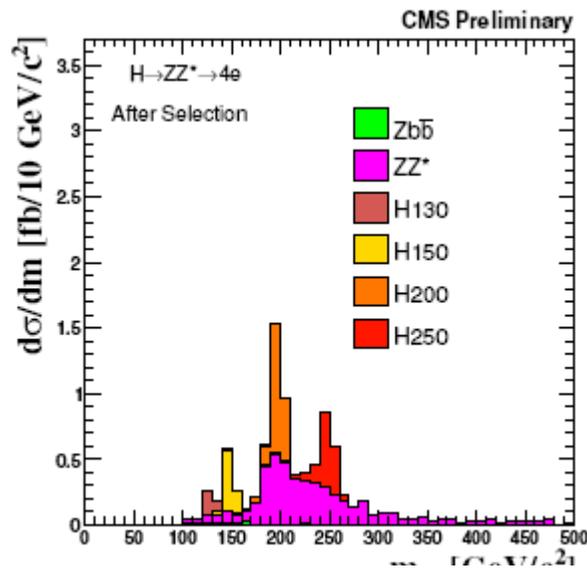




$$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$$



CMS AN 2008/050



Distribuzione della massa invariante per i canali:

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4e$$

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu$$

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow 2e2\mu$$

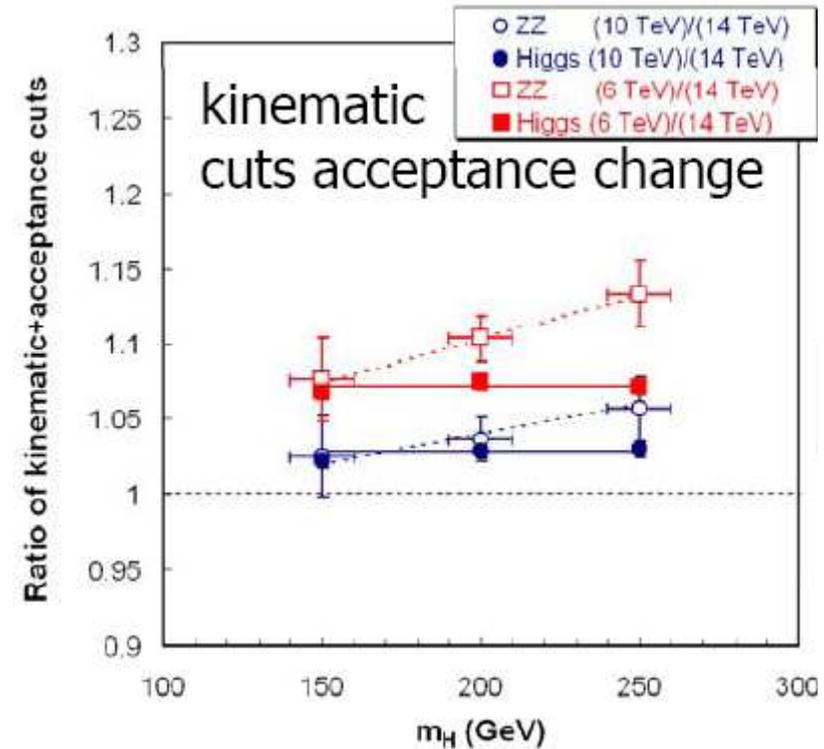
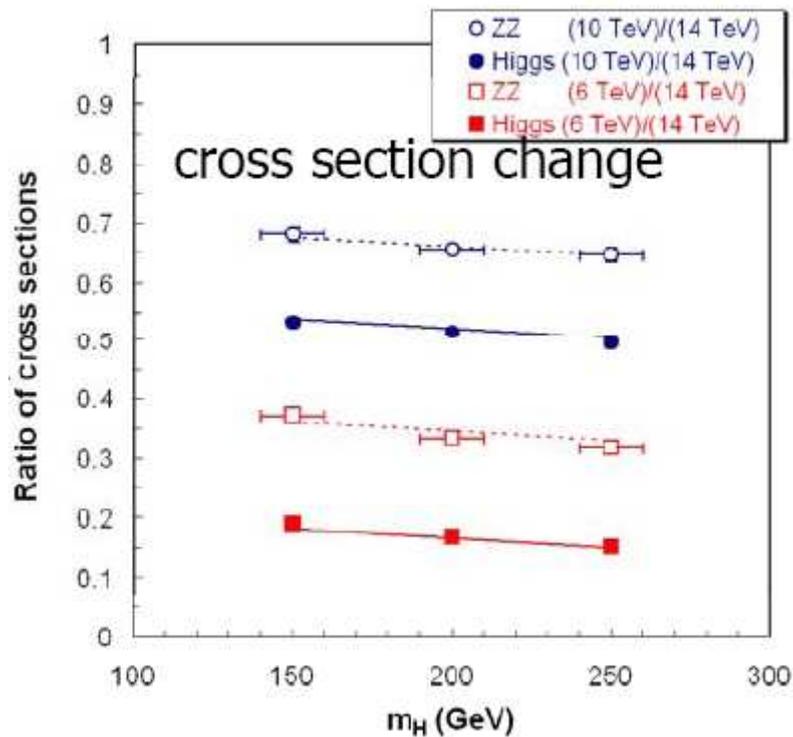
per una luminosità integrata di  $1 \text{ fb}^{-1}$  per il segnale (4 diverse masse)

e per i principali fondi con i seguenti criteri di selezione:

- Isolamento di elettroni e muoni
- Parametro di impatto  $IP/\sigma_{IP}$  (4° peggiore)  $< 12$  (se muone)  $5$  (se elettrone)  
(3° peggiore)  $< 4$
- $p_t$  (min)  $> 5 \text{ GeV}$  (muoni)  $7 \text{ GeV}$  (elettroni)
- $M_Z$  tra  $50$  e  $100 \text{ GeV}/c^2$   $M_{Z^*}$  tra  $20$  e  $100 \text{ GeV}/c^2$



Nel passaggio da 14 TeV a 10 TeV la sezione d'urto del segnale si riduce del 50% mentre quella del fondo ZZ solo del 30%.





# H → WW (\*) → 2l2ν



*gluon fusion:*  $gg \rightarrow H$

*VBF:*  $qq \rightarrow qqH$

## Segnale

Il segnale è caratterizzato da:

- 2 leptoni isolati ad alto Pt
- missing Et
- assenza di high energy Jet
- correlazione angolare tra WW

*tt*

*Wt*

## Fondo

Produzione di coppie WW

*DY*



L'analisi si suddivide nei tre canali:

$$H \rightarrow WW \rightarrow 2e2\nu$$

$$H \rightarrow WW \rightarrow 2\mu 2\nu$$

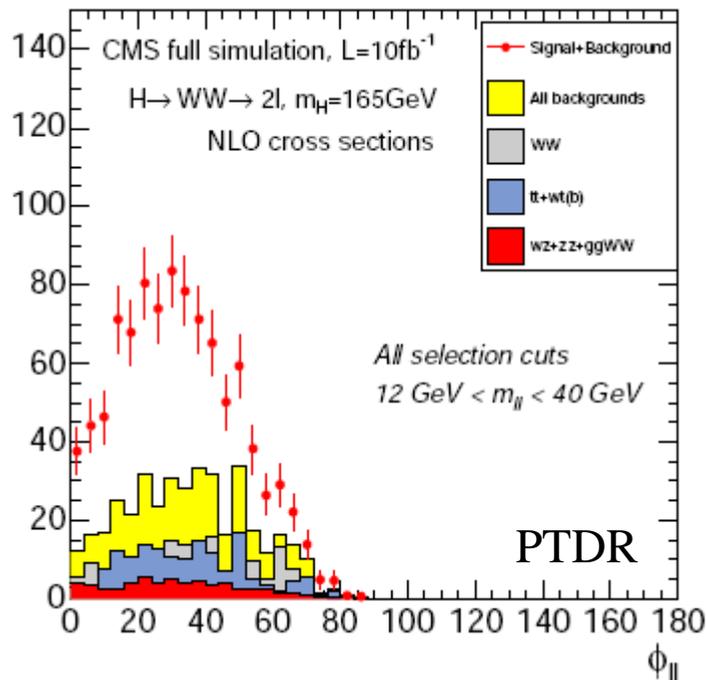
$$H \rightarrow WW \rightarrow e\mu 2\nu$$

è stata valutata anche l'utilità di tenere separati i canali  $e\mu$   $\mu e$  ordinati in  $p_t(\max)$ .

Nel PTDR si è mostrato come un'analisi basata su tagli in  $P_t$ ,

Isolamento, Energia mancante e Jet-veto permetta di ottenere un chiaro

segnale nella zona  $\phi_{ll} < 45^\circ$  per Higgs con massa intorno a 165 GeV



La differente distribuzione dell'angolo tra i due leptoni per WW provenienti da Higgs e da fondo deriva dalla correlazione di spin e dalla struttura V-A del decadimento del W.

Per  $M_H \leq 2 M_W$  i bosoni W sono prodotti con basso boost (seguono entrambi la direzione dell'Higgs)

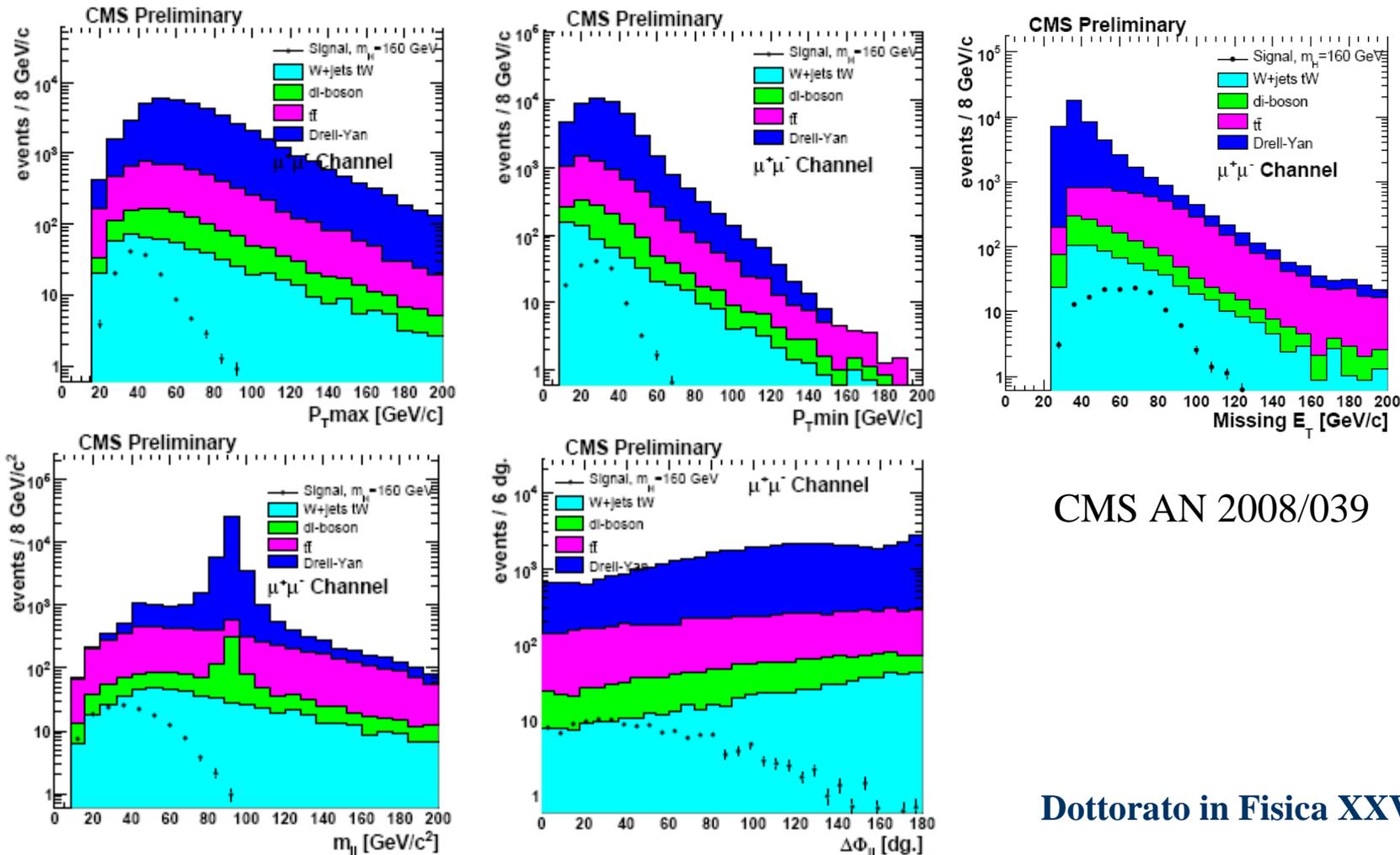
Inoltre, nel riferimento dell'Higgs, avranno direzioni opposte ma anche spin opposti, i leptoni del decadimento del W tenderanno ad avere la stessa direzione.



mH (GeV)	120	130	140	150	160	170	180	190	200
NS	4.9	8.7	18	9	21	17	11	5.6	4.6
NB	87	87	87	17	17	17	13.5	13.5	13.5



Per basse masse, pur ottimizzando diversamente i tagli, il rapporto segnale / rumore peggiora sensibilmente. Risulta fondamentale l'ultizzo di analisi a Multivariabili che sfruttano pianamente la differente distribuzione tra segnale e fondo delle variabili.



CMS AN 2008/039

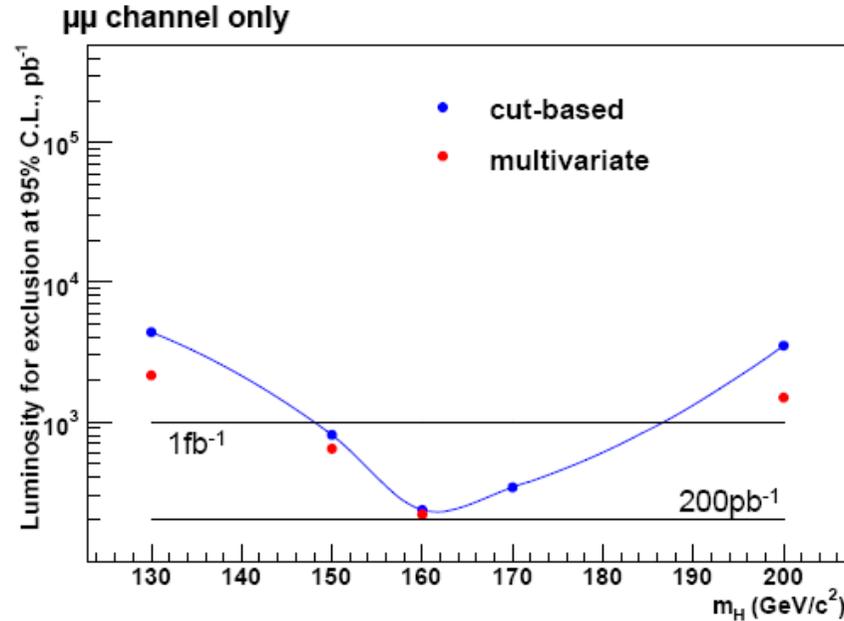
Dottorato in Fisica XXV Ciclo



Stima della luminosità integrata necessaria per l'esclusione al 95% CL



per il canale  $\mu\mu$  nella fase iniziale con energia di 10 TeV



HWW meeting

15/5/2009

Process	$\frac{\sigma_{\sqrt{s}=10\text{TeV}}}{\sigma_{\sqrt{s}=14\text{TeV}}}$	$\frac{\sigma_{\sqrt{s}=6\text{TeV}}}{\sigma_{\sqrt{s}=14\text{TeV}}}$
$t\bar{t}$	0.450	0.113
$Wt$	0.450	0.113
$WW$	0.650	0.320
$WZ$	0.650	0.320
$ZZ$	0.650	0.320
$Z \rightarrow \ell\ell$	0.681	0.371
$W \rightarrow \ell\nu$	0.681	0.371
$gg \rightarrow H$	0.540	0.190

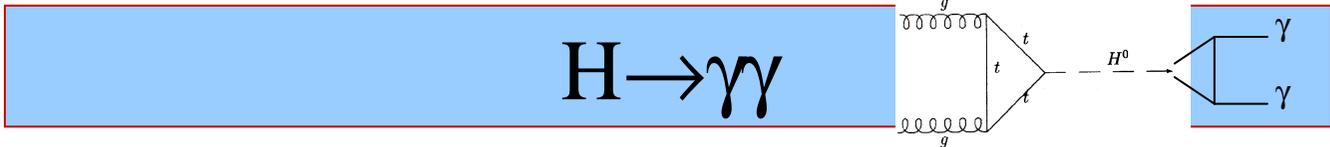
Anche il canale  $H \rightarrow WW$  risulta penalizzato a 10 TeV. La sezione d'urto del segnale si riduce del 50%, quella del fondo  $WW$  solo del 35%.

HWW meeting

23/1/2009

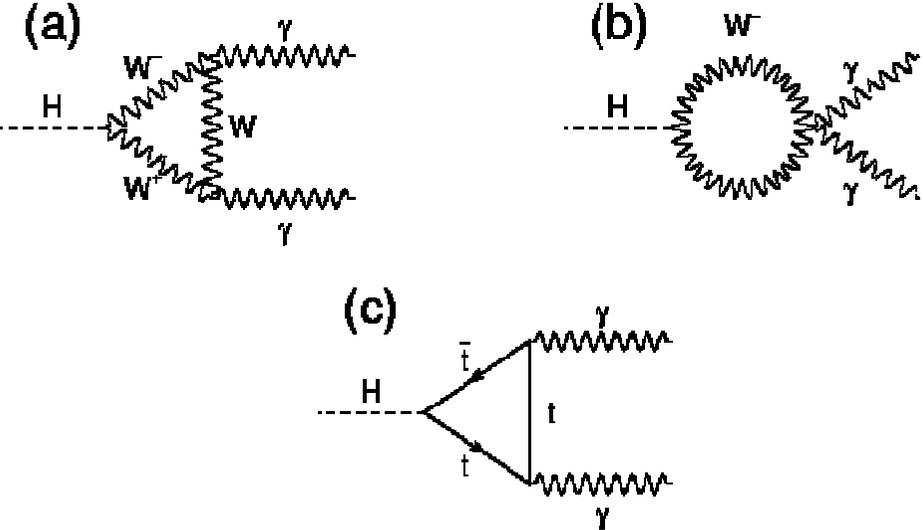
*Ezio Torassa*

**Dottorato in Fisica XXV Ciclo**



Dato che il fotone non ha massa non c'è accoppiamento diretto con il bosone di Higgs.

Il decadimento in foroni è comunque possibile mediante i seguenti diagrammi:



$M_H$	115 GeV/c <sup>2</sup>	120 GeV/c <sup>2</sup>	130 GeV/c <sup>2</sup>	140 GeV/c <sup>2</sup>	150 GeV/c <sup>2</sup>
$\sigma$ (gg fusion)	39.2 pb	36.4 pb	31.6 pb	27.7 pb	24.5
$\sigma$ (WVB fusion)	4.7 pb	4.5 pb	4.1 pb	3.8 pb	3.6
$\sigma$ (WH, ZH, ttH)	3.8 pb	3.3 pb	2.6 pb	2.1 pb	1.7
Total $\sigma$	47.6 pb	44.2 pb	38.3 pb	33.6 pb	29.7
H $\rightarrow$ $\gamma\gamma$ Branching Ratio	0.00208	0.00220	0.00224	0.00195	0.00140
Inclusive $\sigma \times B.R.$	99.3 fb	97.5 fb	86.0 fb	65.5 fb	41.5 fb

BR  $\approx 10^{-3}$   
 $\sigma * BR \approx 90$  fb



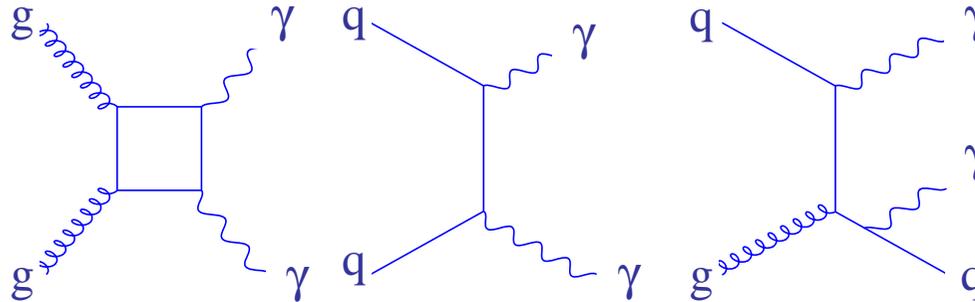
Fondi :

–  $\gamma\gamma$  (irriducibile):

$gg \rightarrow \gamma\gamma$  (box diagram)

$qq \rightarrow \gamma\gamma$  (born diagram)

$pp \rightarrow \gamma + \text{jets}$  (2 prompt  $\gamma$ )



$$\sigma_{\gamma\gamma} \approx 2 \text{ pb} / \text{GeV}$$

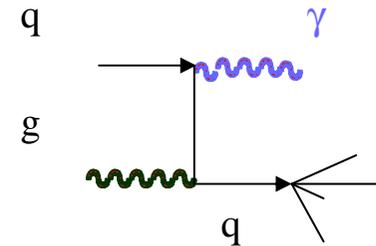
$$\Gamma_H \approx \text{MeV}$$

–  $\gamma + \text{jet}$  ,  $\text{jet} + \text{jet}$  (riducibile):

$pp \rightarrow \gamma + \text{jets}$  (1 prompt  $\gamma$  + 1 fake  $\gamma$ )

$pp \rightarrow \text{jets}$  (2 fake  $\gamma$ )

$pp \rightarrow ee$  (Drell Yan) when electrons are mis-identified as photons

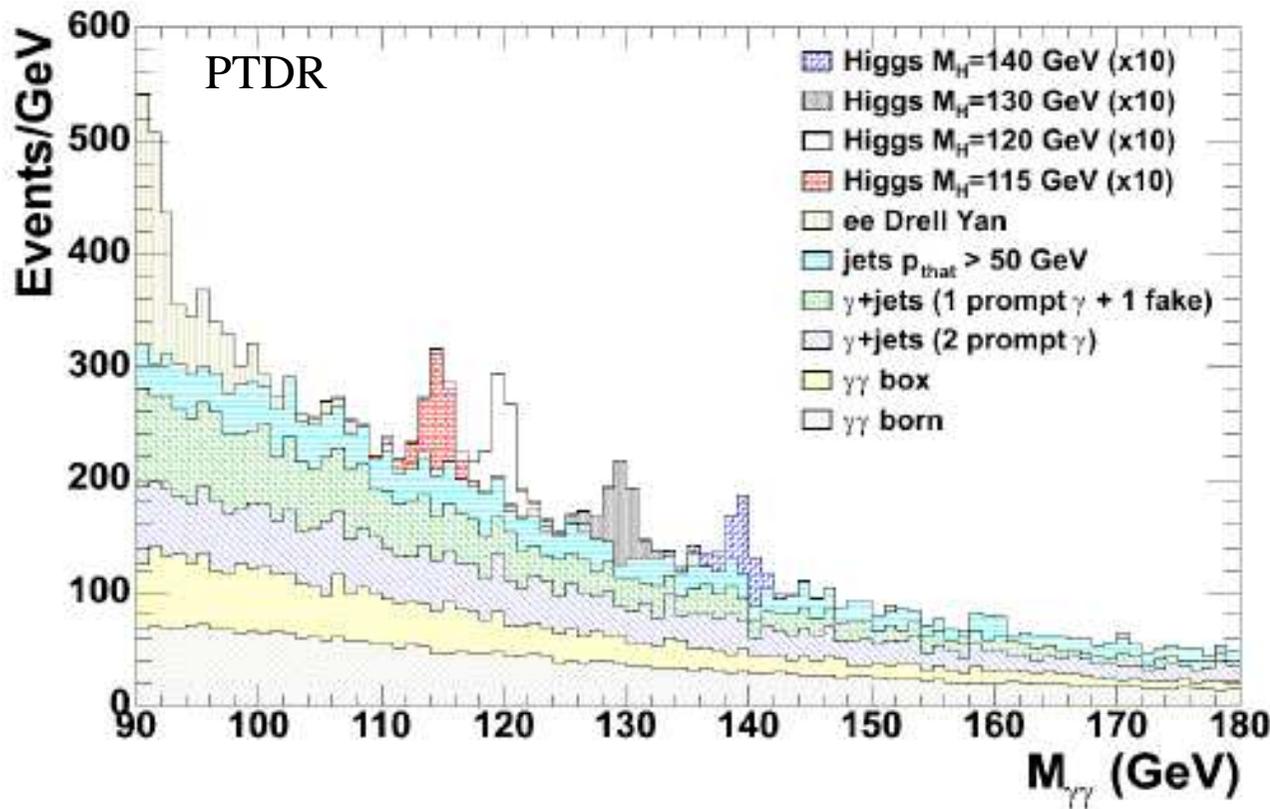


$$\sigma_{\gamma j + jj} \sim 10^6 \sigma_{\gamma\gamma}$$



- Selezione :

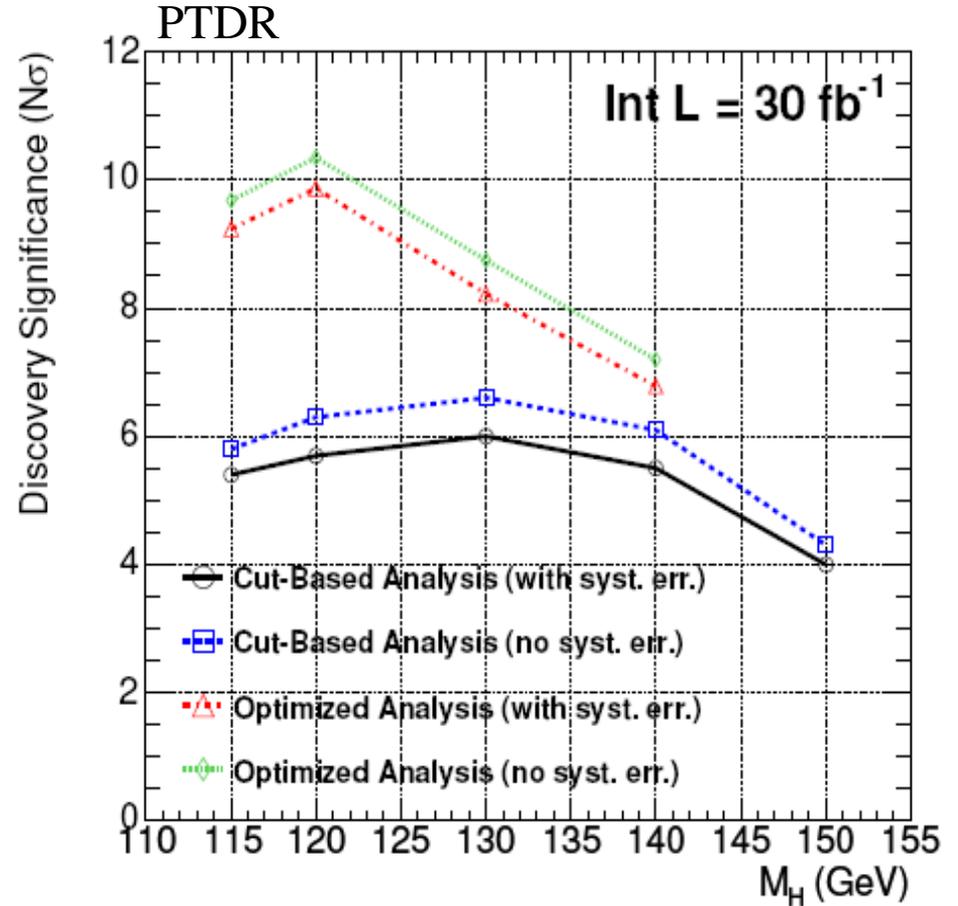
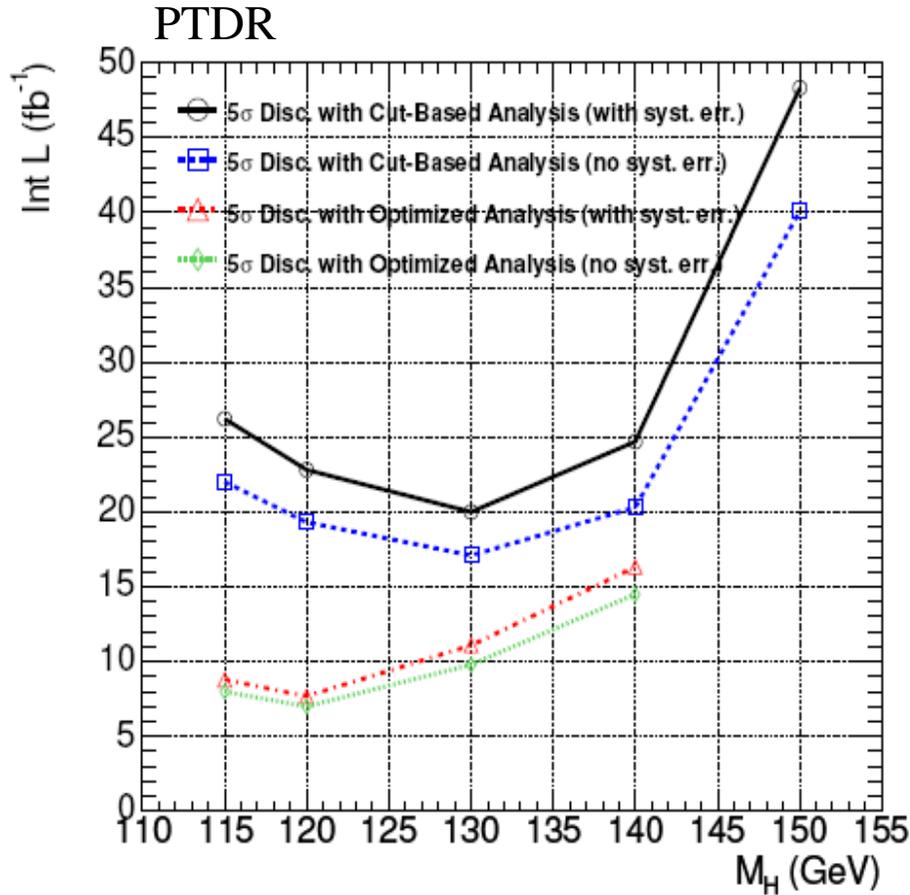
- 2 fotoni con energia trasversa maggiore di 35 GeV e 40 GeV
- Nessuna traccia con  $P_t > 1.5$  GeV in un cono  $\Delta R < 0.4$  intorno ad ogni fotone
- $E_t < 6$  GeV in HCAL in un cono  $\Delta R < 0.3$  intorno ad ogni fotone
- $E_t < 6$  GeV in ECAL (escluso il cluster del fotone candidato) in un cono  $\Delta R < 0.35$  intorno ad ogni fotone



Distribuzione di massa invariante dopo la selezione (segnale x 10) normalizzata a  $1\text{fb}^{-1}$

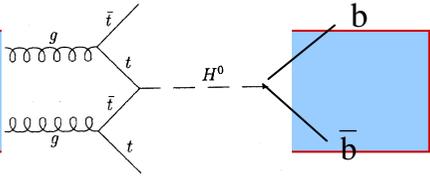


# Analisi ottimizzata: 6 variabili in ingresso di una rete neurale





# ttH → ttbb



•  $\sigma \times BR \approx 300 \text{ fb}$

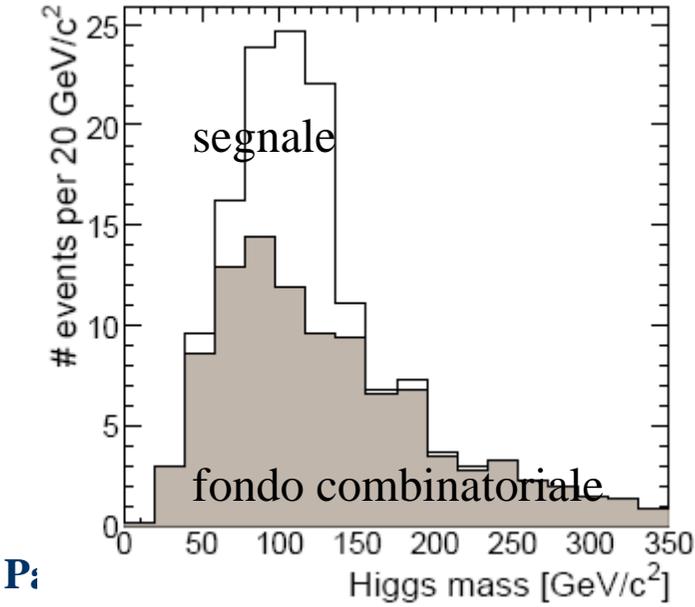
• Stato finale complesso:  $H \rightarrow b\bar{b}$ ,  $t \rightarrow bj\bar{j}$ ,  $t \rightarrow b\ell\nu$

• fondi principali:

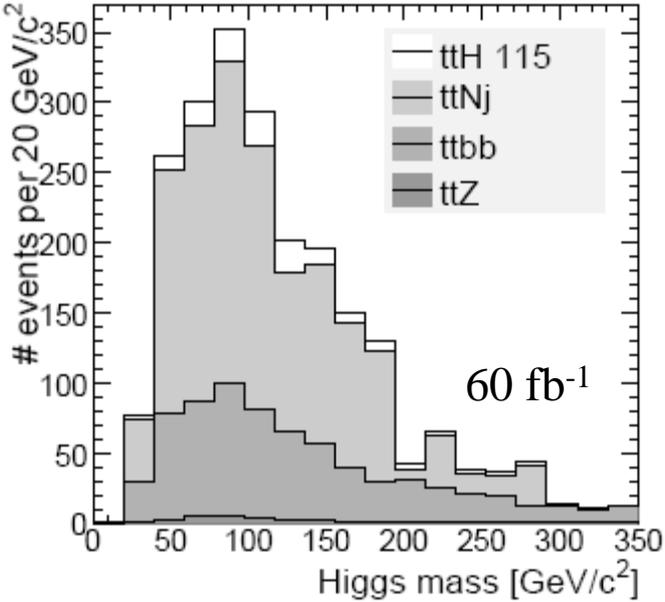
- combinatori dal segnale (4b in stato finale)
- Wjjjjjj, WWbbjj, etc.
- ttjj

$\ell = e, \mu$  per trigger e background rejection

Ridotto, ricostruendo entrambi i top  
b-tagging è cruciale



Ezio Torassa



CMS AN 2007/001



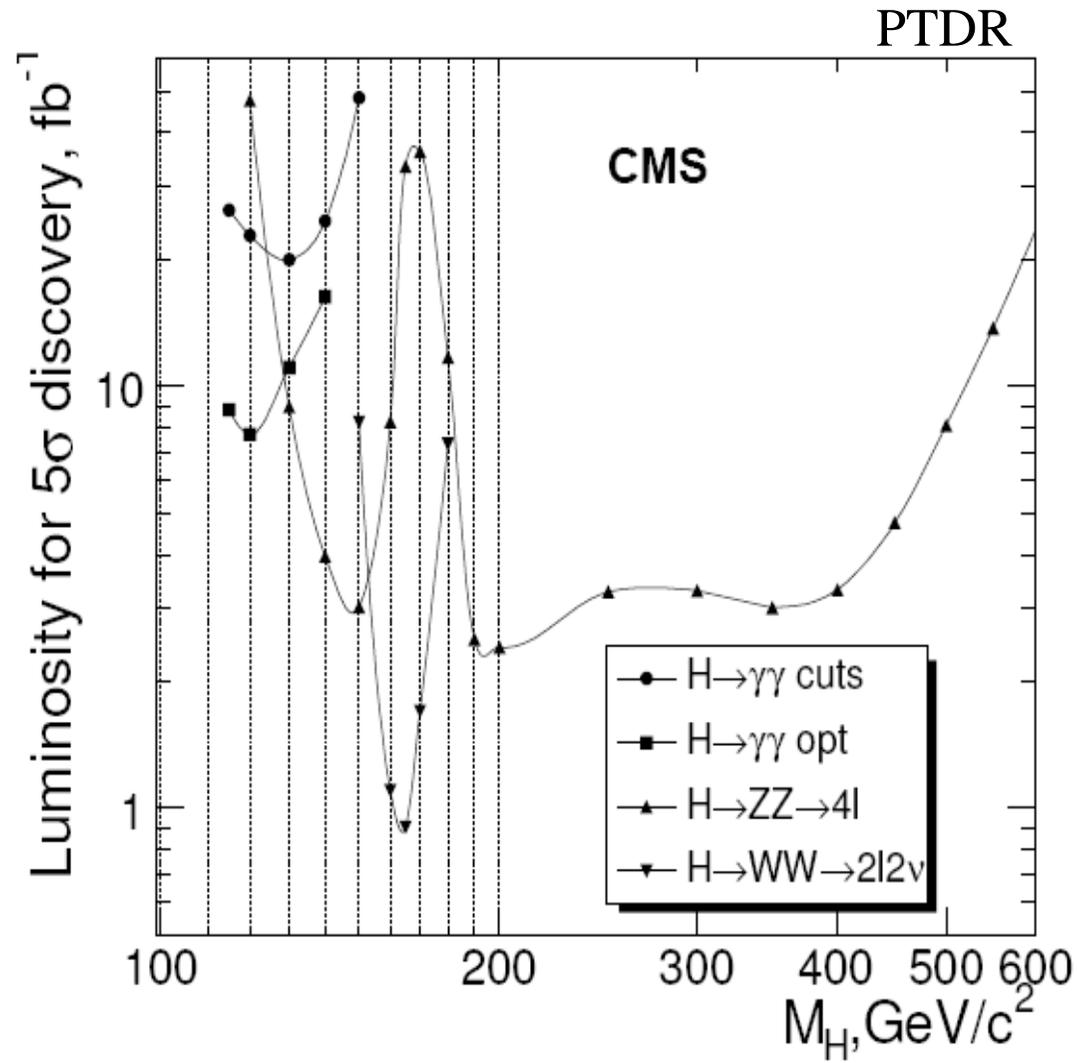
	$N_{\text{loose}}^{\text{ev}}$	$N_{\text{tight}}^{\text{ev}}$
$t\bar{t}H$ (115)	$147 \pm 5$	$48 \pm 3$
$t\bar{t}H$ (120)	$118 \pm 2$	$40 \pm 1$
$t\bar{t}H$ (130)	$80 \pm 3$	$25 \pm 2$
Total Backgr.	2230	427

Eventi attesi di segnale (per 3 differenti masse) e di fondo con  $60 \text{ fb}^{-1}$  di luminosità integrata e due diverse selezioni (loose e tight) di b-Tag

	$S/B$	$S/\sqrt{B}$	$S/\sqrt{B + dB^2}$
$\mathcal{E}_{\text{loose}}$			
$t\bar{t}H$ ( $m_H=115 \text{ GeV}/c^2$ )	0.07	3.1	0.20
$t\bar{t}H$ ( $m_H=120 \text{ GeV}/c^2$ )	0.053	2.5	0.16
$t\bar{t}H$ ( $m_H=130 \text{ GeV}/c^2$ )	0.036	1.7	0.11
$\mathcal{E}_{\text{tight}}$			
$t\bar{t}H$ ( $m_H=115 \text{ GeV}/c^2$ )	0.11	2.3	0.35
$t\bar{t}H$ ( $m_H=120 \text{ GeV}/c^2$ )	0.09	1.9	0.29
$t\bar{t}H$ ( $m_H=130 \text{ GeV}/c^2$ )	0.06	1.2	0.19

Significatività con stima dell'errore sistematico sul fondo pari a circa il 30%.

Per rapporti  $S/B$  pari a  $1/10$  l'errore sulla conoscenza del fondo deve essere ridotto a meno del 10% per fornire significatività maggiori di 1.



## **Ricerca dell'Higgs a LEP I :**

Z Physics at LEP I CERN 89-08 Vol 2 – Higgs search (pag. 58)

Search for the standard model Higgs boson in Z decays – Nucl Physics B 421 (1994) 3-37

## **Ricerca dell'Higgs a LEP II :**

Search for the Standard Model Higgs Boson at LEP – CERN-EP/2003- 011

## **Ricerca dell'Higgs a LHC:**

CMS IN-2003/046 Search for the Standard Model Higgs Boson in Four-Muon Final State  
with the CMS Detector

CMS AN 2008/050 Search strategy for the Higgs boson in the  $ZZ^{(*)}$  decay channel with the  
CMS experiment

CMS AN 2008/039 Search strategy for a standard model Higgs boson decaying to two W bosons  
in the fully leptonic final state

CMS AN 2007/001 Refined analysis of  $t\bar{t}H$  with  $H \rightarrow b\bar{b}$  at CMS

CMS Physics TDR, Volume II: [CERN-LHCC-2006-021](#), 25 June 2006