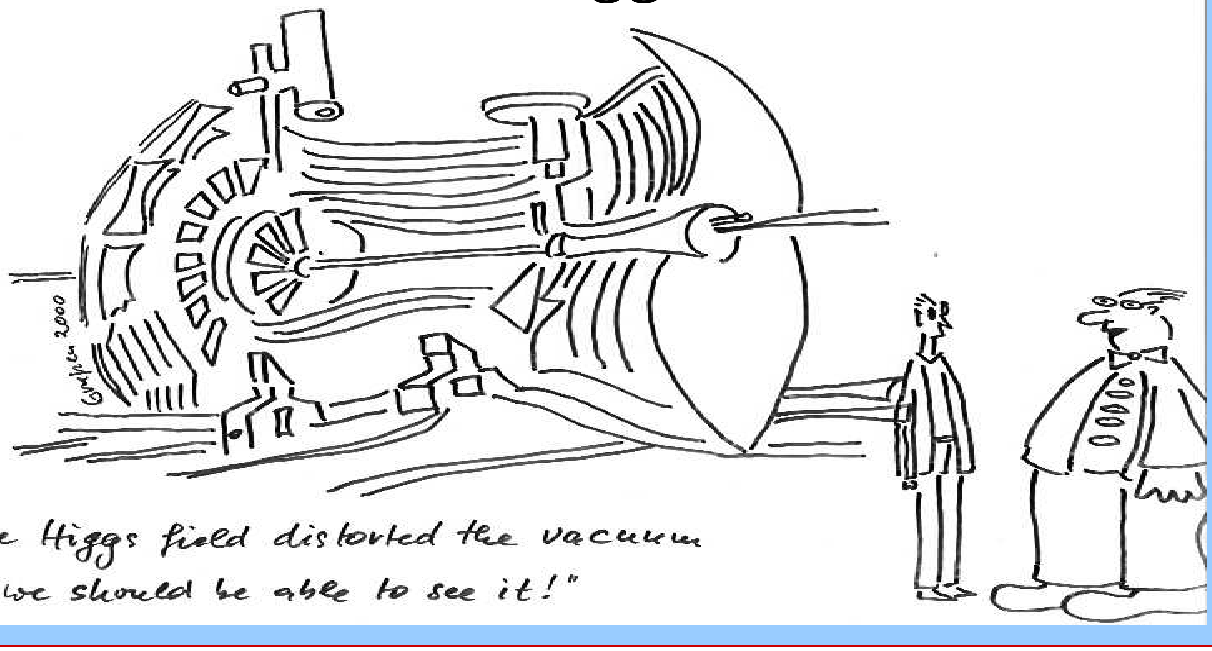
Fisica delle alte energie agli acceleratori: il Modello Standard e oltre

Lezione #4

Ricerca dell'Higgs a LHC


If the Higgs field distorted the vacuum
we should be able to see it!"
Gimpen 2000

Ricerca dell'Higgs a LHC

2009

Repair of Sector 34
Installation of protection systems for 5TeV operation
Hardware commissioning to 5TeV

Machine checkout

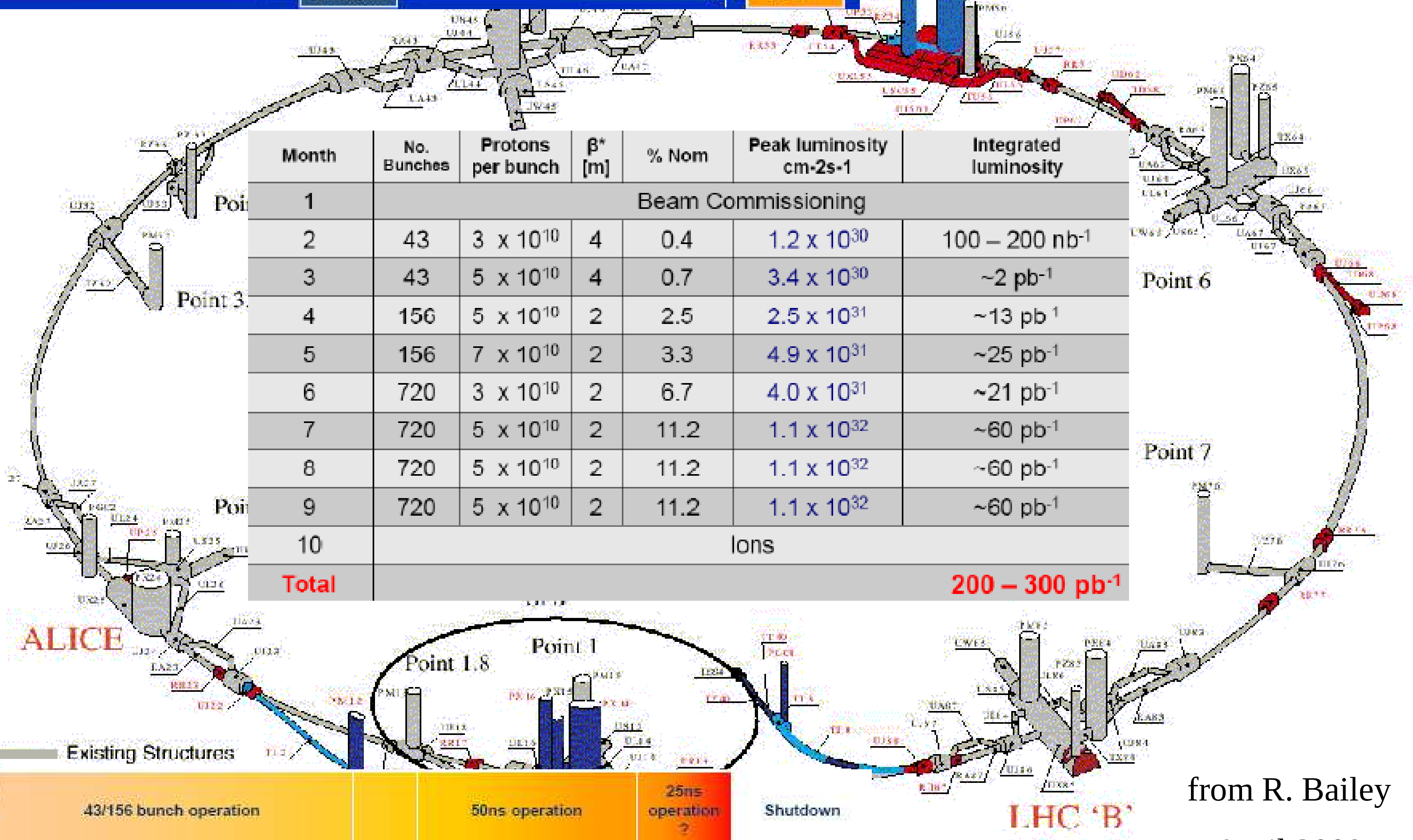
Beam commissioning 5TeV

No beam

Beam

Energy will be limited to 5TeV

(2009-2010)



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

2010

43/156 bunch operation

50ns operation

25ns operation ?

Shutdown

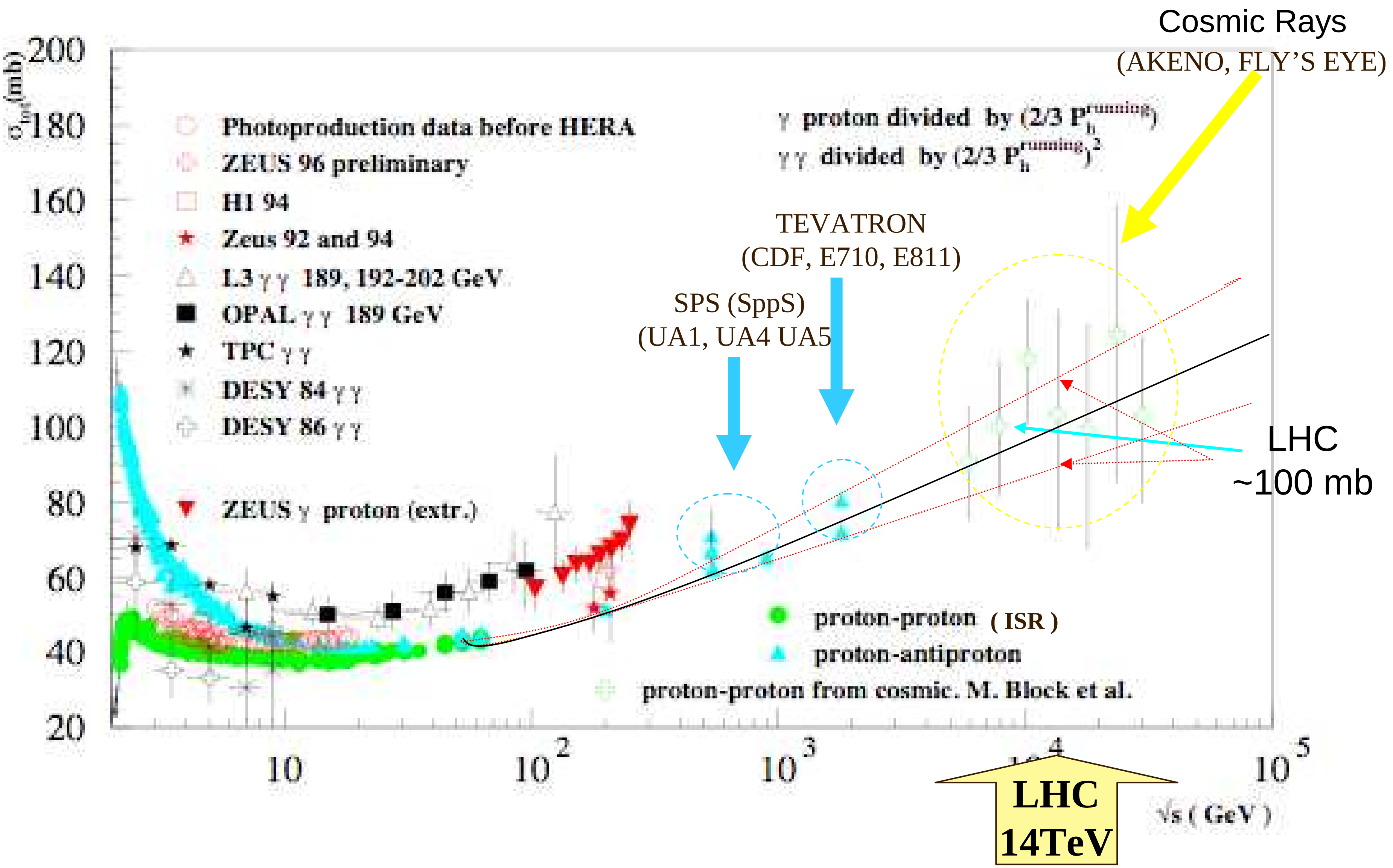
Beam

No beam

from R. Bailey

April 2009

Interazioni p-p a LHC



Cosmic Rays

(AKENO, FLY'S EYE)

TEVATRON

(CDF, E710, E811)

SPS (SppS)

(UA1, UA4 UA5

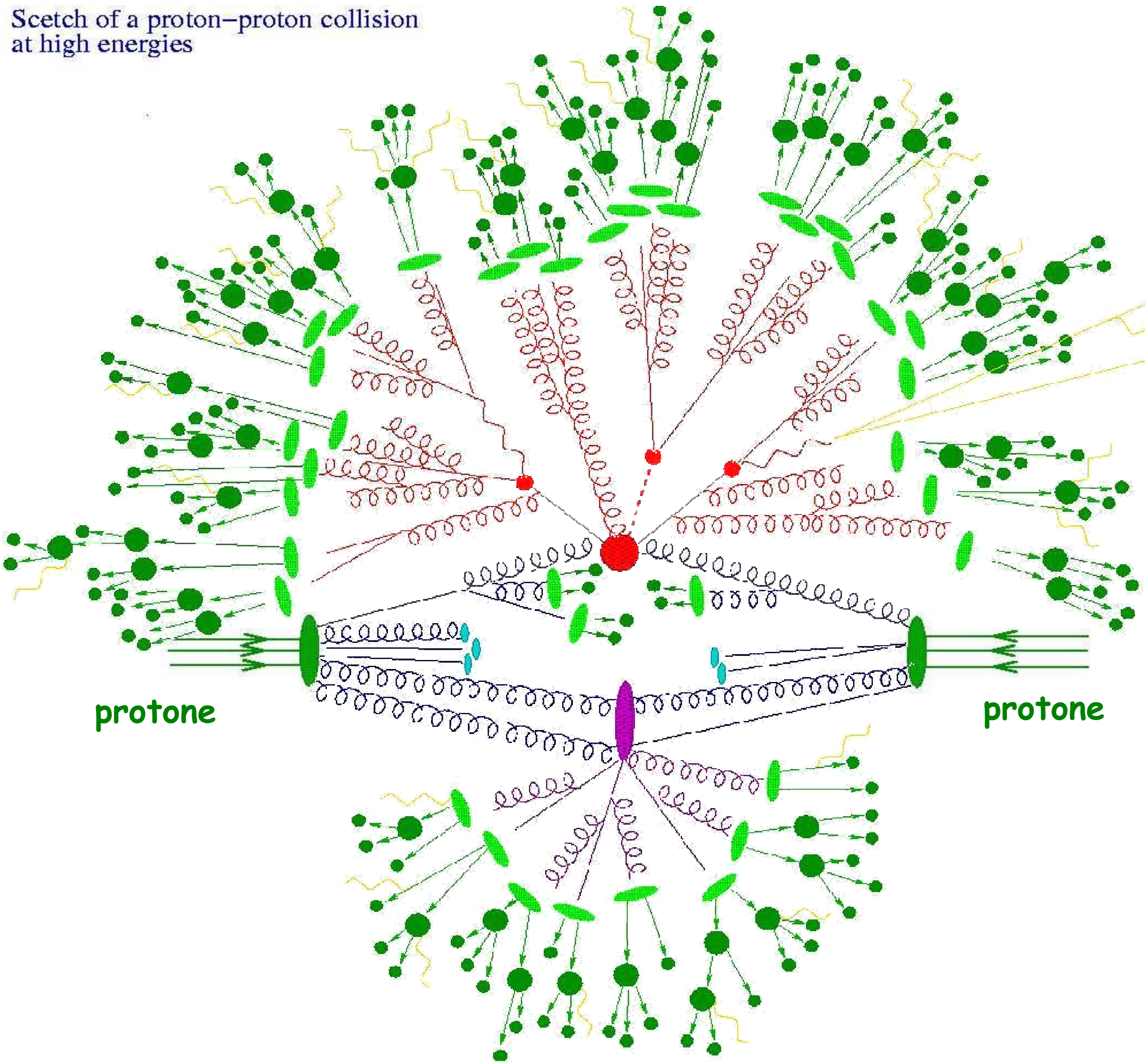
(ISR)

LHC

~100 mb

LHC

14TeV


Scetch of a proton–proton collision
at high energies
protone
protone

Interazione principale

ISR e FSR

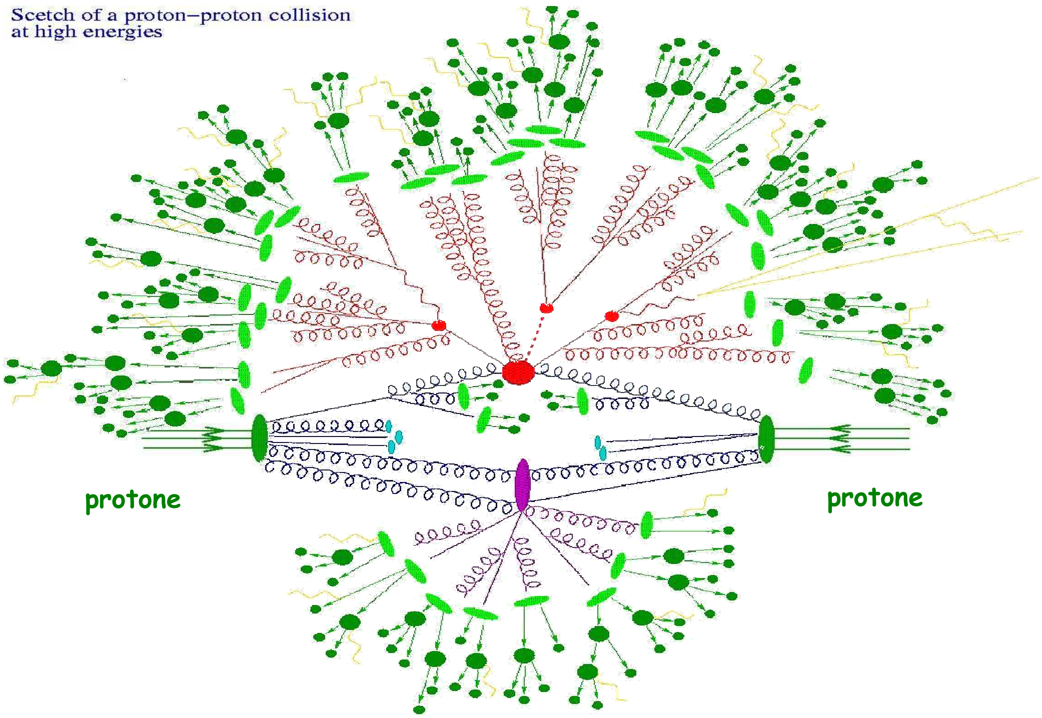
Creazione dei Jet

Frammentazione e Adronizzazione

Interazioni Multi Partoniche

Beam Remnant

Underlying Event e Minimum Bias


Scetch of a proton–proton collision
at high energies
protone
protone

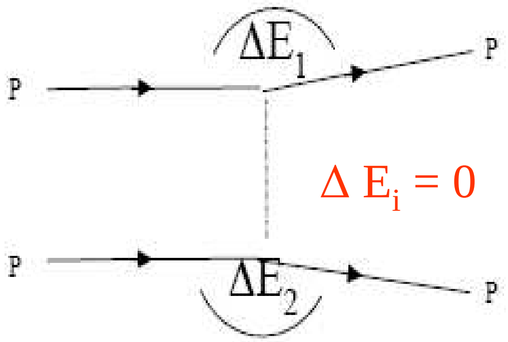
L'Underlying Event è la parte di evento che accompagna il processo ad alto impulso trasverso

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

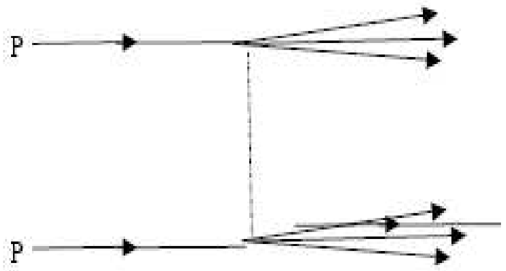
Oltre al processo p-p che ha prodotto l'evento interessante vi sono anche le interazioni p-p appartenenti allo stesso beam-crossing

Minimum Bias: Scattering inelastico soffice

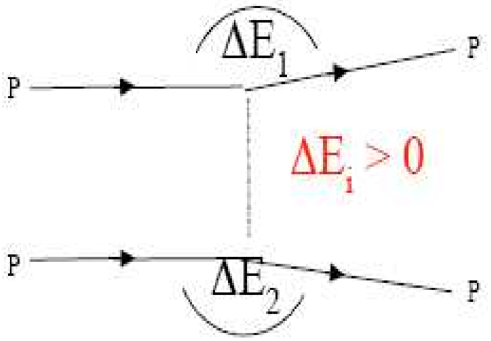
- Evento osservabile dal rivelatore (Pt minimo ~100 MeV) ← Bias minimo
- Nessuna o poche tracce prodotte ad un Pt significativo (~ 2 GeV)


P
ΔE_1
P
$\Delta E_i = 0$
P
ΔE_2
P

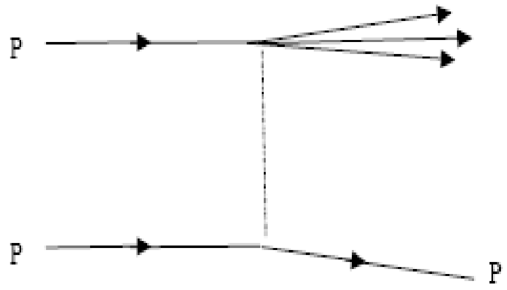
Scattering Elastico (25%)



Inelastico Non difrattivo (55%)


P
ΔE_1
P
$\Delta E_i > 0$
P
ΔE_2
P

Inelastico doppio difrattivo (8%)



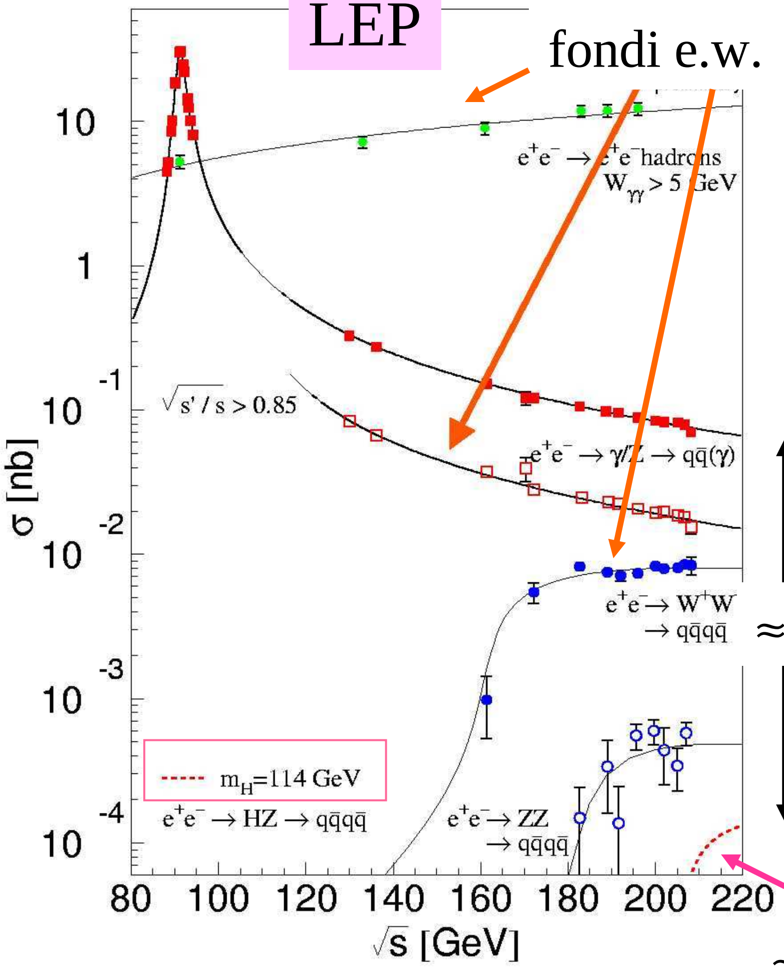
Inelastico singolo difrattivo (8%)

Da LEP a LHC

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

LEP

fondi e.w.



$\approx 10^3$

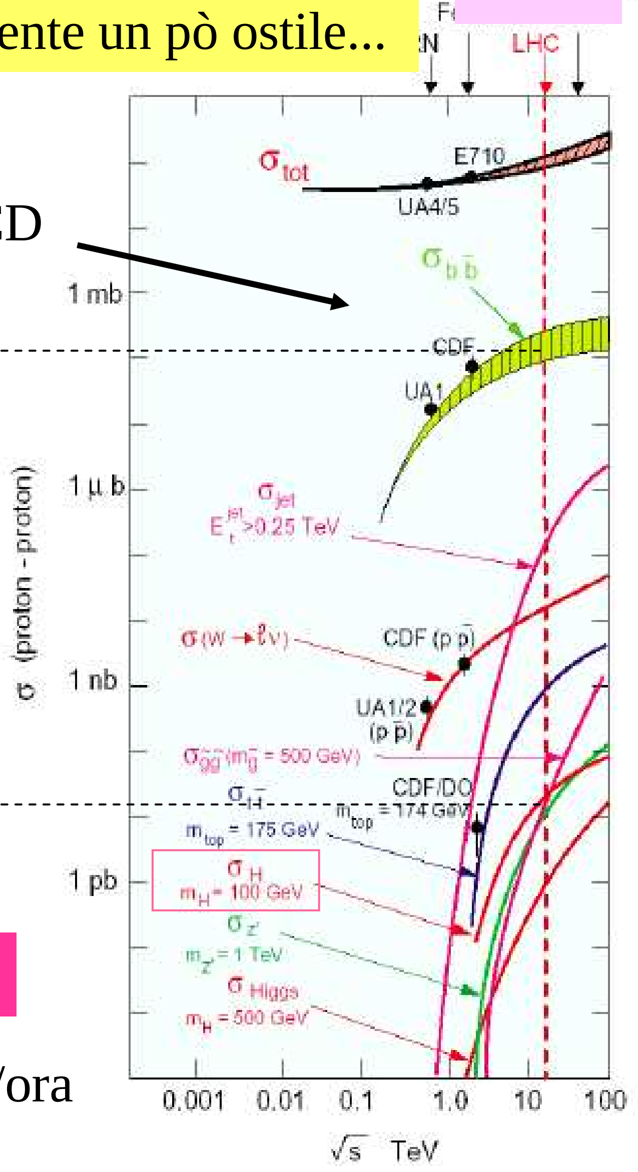
H

≈ 1/anno

LHC

fondi QCD

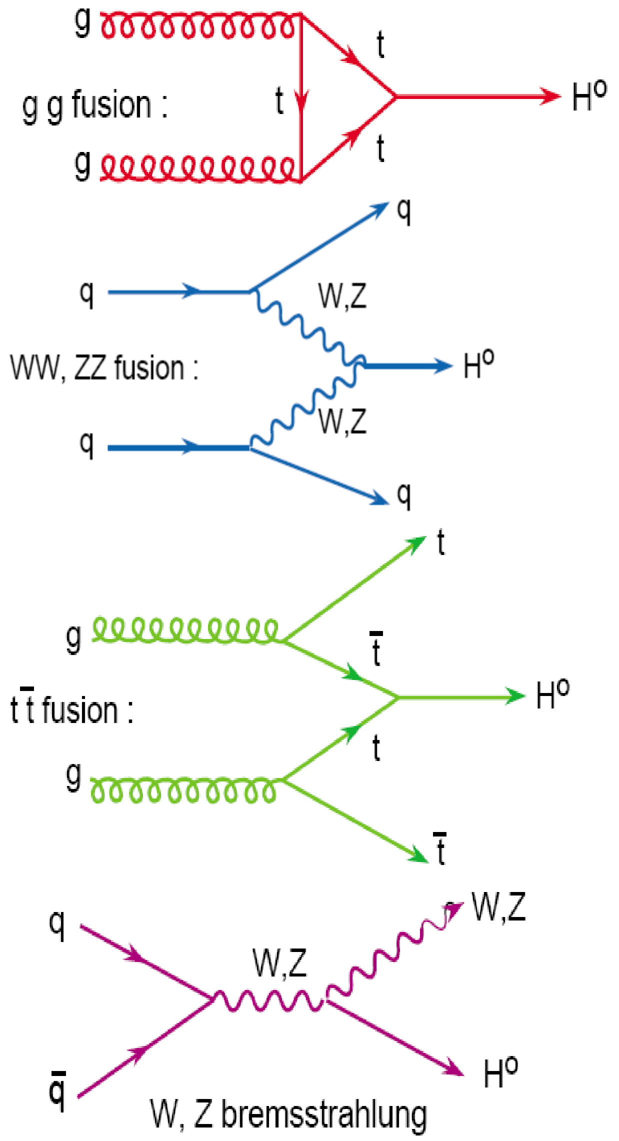
$\approx 10^7$



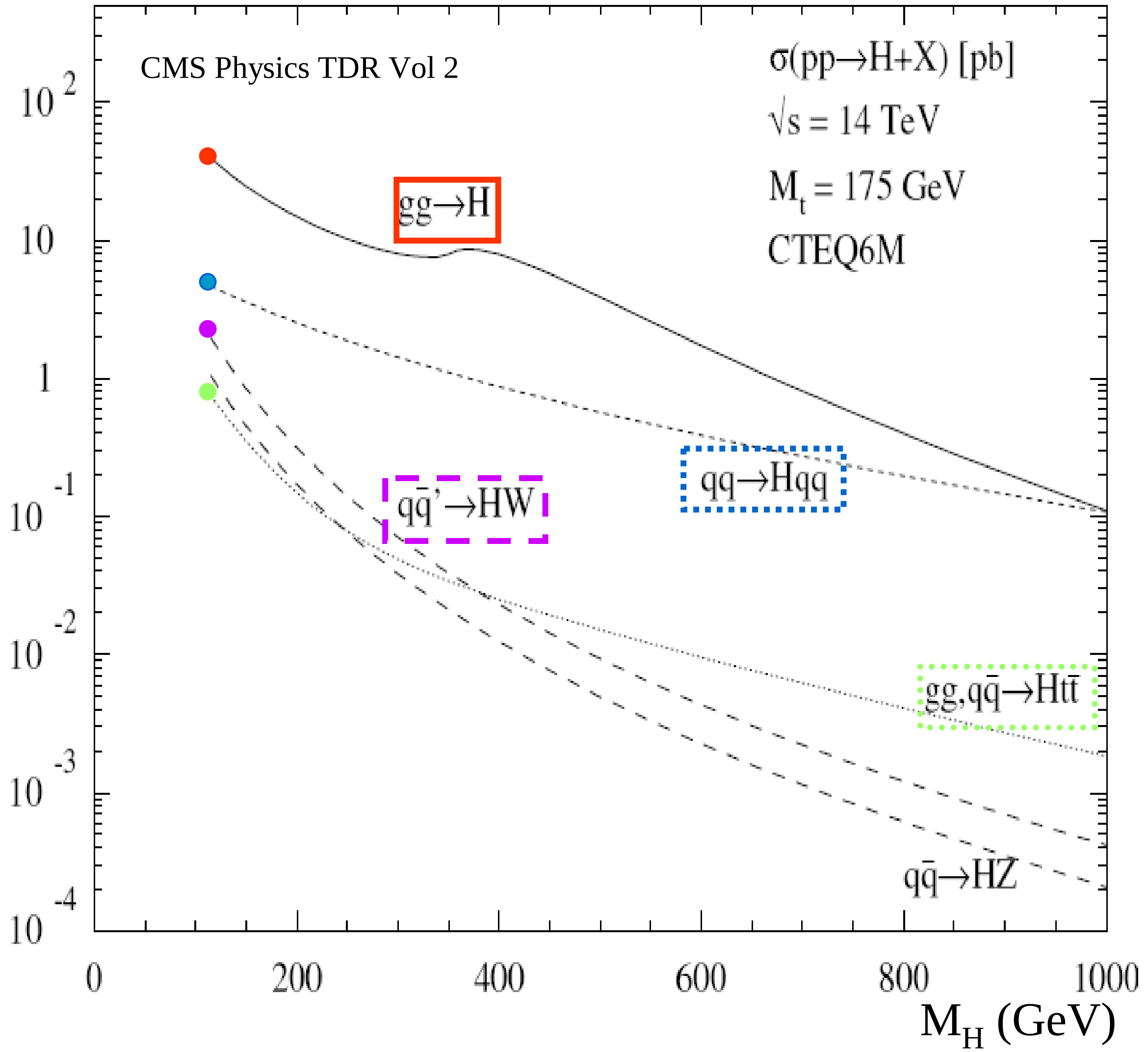
H

≈ 1/ora

Produzione del bosone di Higgs a LHC


g g fusion :
g
g
t
t
t
H°
WW, ZZ fusion :
q
q
q
q
W,Z
W,Z
H°
t t̄ fusion :
g
g
t
t̄
t
t̄
H°
q
q̄
W,Z
W,Z
H°
W, Z bremsstrahlung

SM Higgs production cross section including NLO QCD corrections



Decadimenti del bosone di Higgs

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

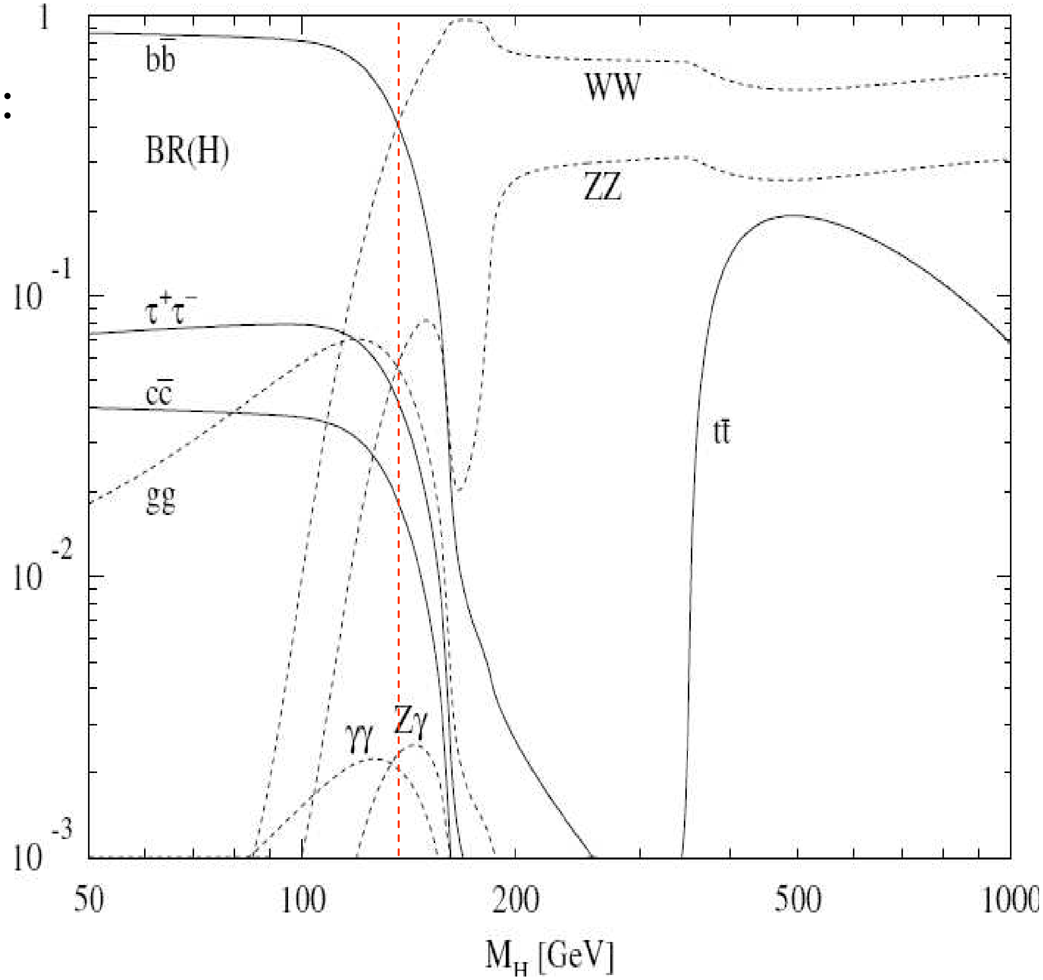
$WW^{(*)}$ and $ZZ^{(*)}$
sotto 135 GeV sono b quarks e $\tau^+\tau^-$

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

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

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

CMS Physics TDR Vol 2



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.

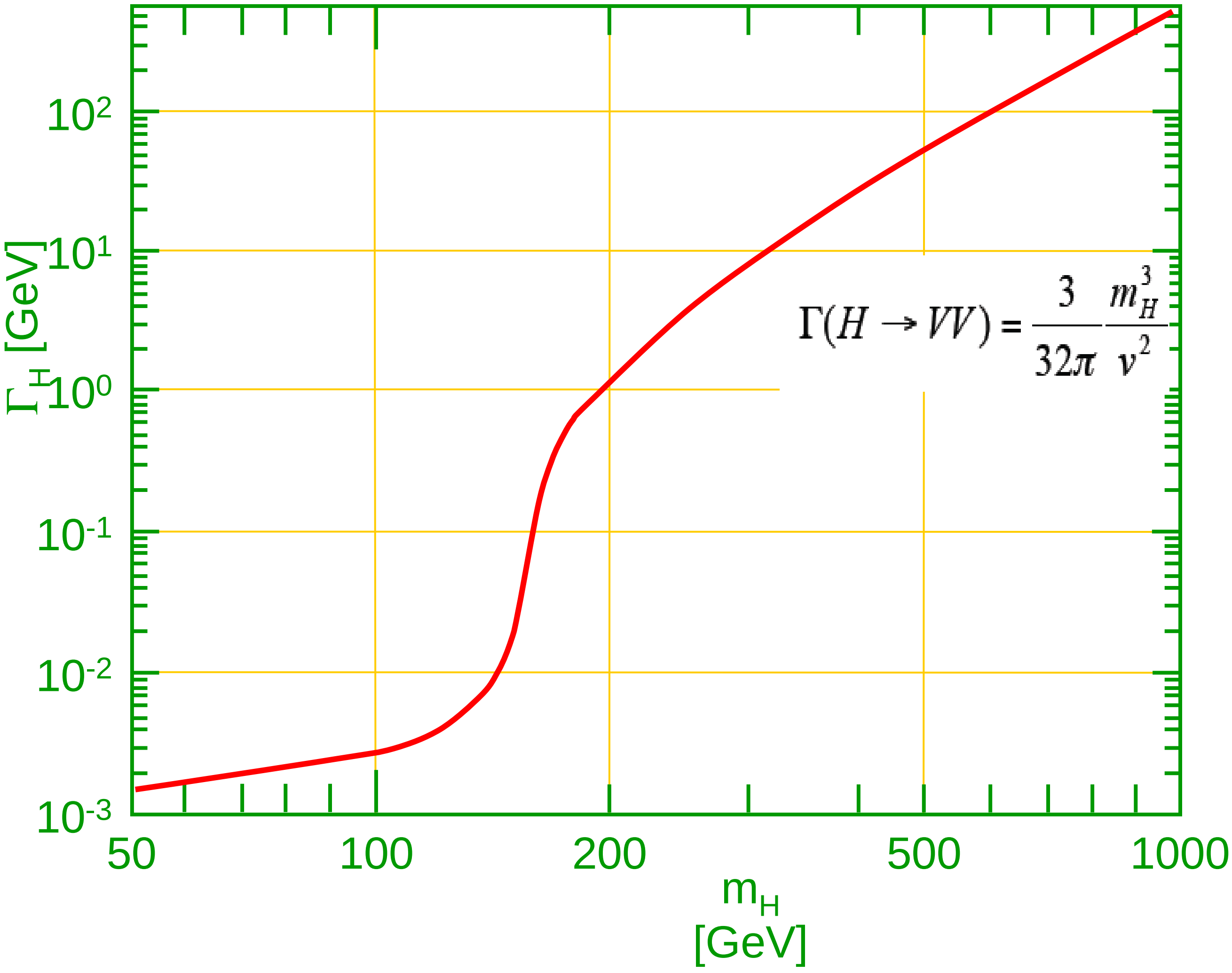
Confrontando invece le due diverse coppie di bosoni WW e ZZ risulta maggiore per un fattore ~3 la coppia con minore massa.

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

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

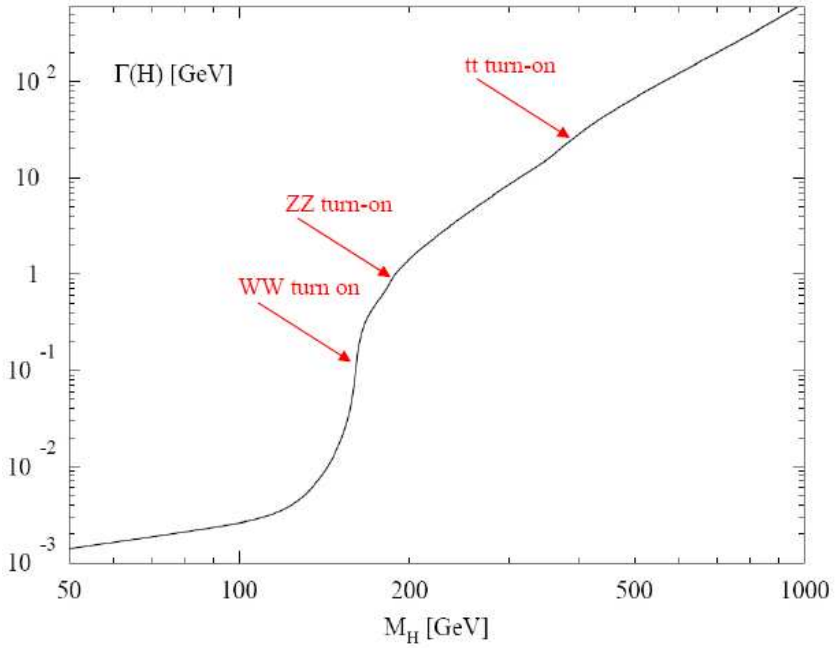
$$BR(h \rightarrow WW) / BR(h \rightarrow ZZ) = g^2_{hWW} / g^2_{hZZ} = 4M_W^2 / M_Z^2 \sim 3$$

Larghezza del bosone di Higgs



$$\Gamma(H \to VV) = \frac{3}{32\pi}\frac{m_H^3}{v^2}$$

La larghezza passa da alcuni MeV per basse masse a centinaia di GeV per alte masse a causa della dipendenza da m^3_H dell'accoppiamento H→VV



Fermions:

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

N_c=3 for quarks and =1 for leptons.

WW:

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

ZZ:

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

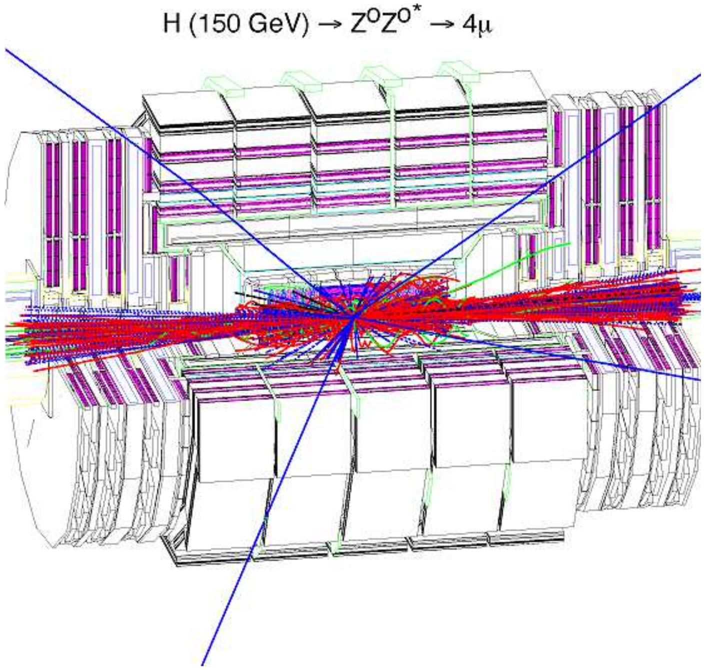
Γ_{ZZ} has a factor of two penalty in phase space in comparison to Γ_{WW}
(Z and Z are indistinguishable in comparison to W^+ and W^-)

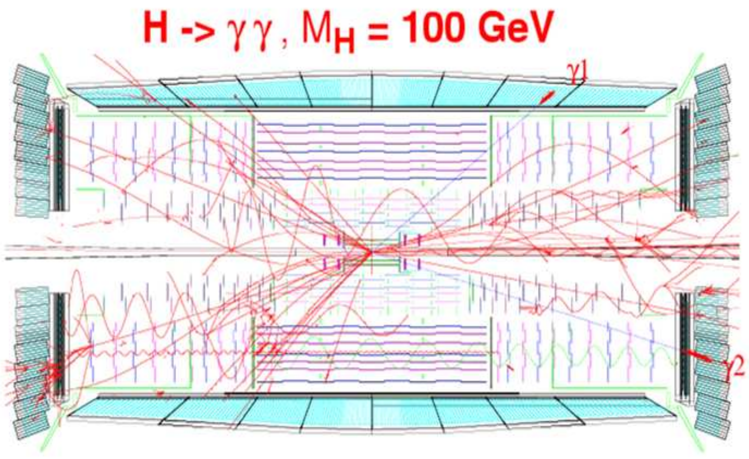
Canali di ricerca del bosone di Higgs a LHC

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

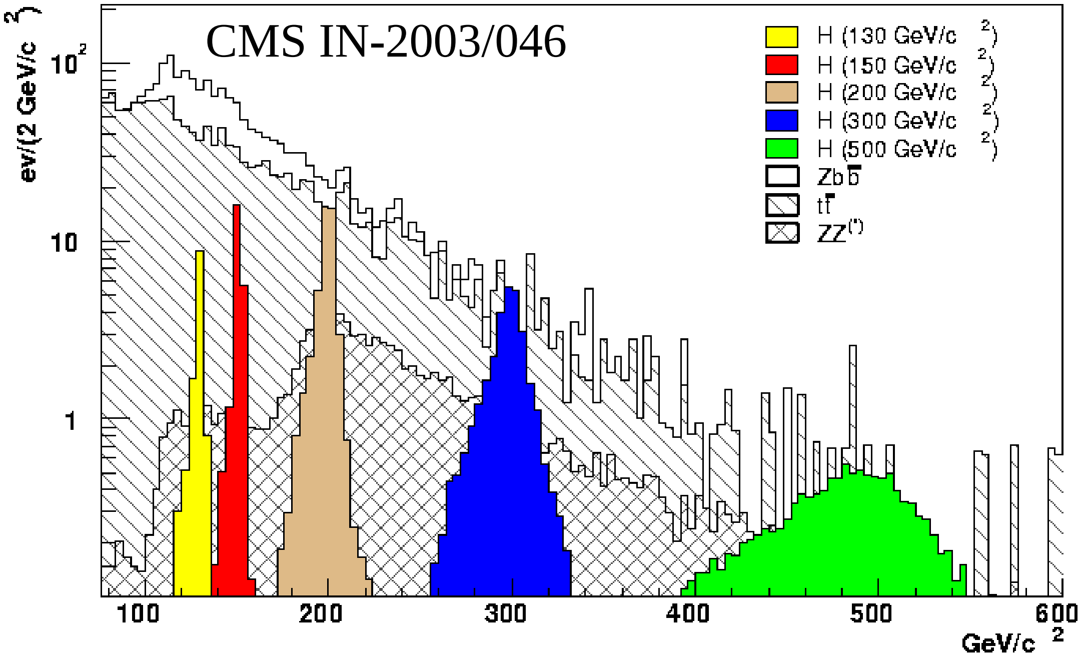
$H\to ZZ\to 4l$ $H\to WW\to 2l$ $H\to\gamma\gamma$ nelle due componenti di fusione gg e VBF e le produzioni associate (Ex. $qq\to ttH$, $H\to bb$)

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%.


$H\ (150\ \text{GeV}) \to Z^0Z^{0*} \to 4\mu$


$H \to \gamma\gamma,\ M_H = 100\ \text{GeV}$
γ1
γ2

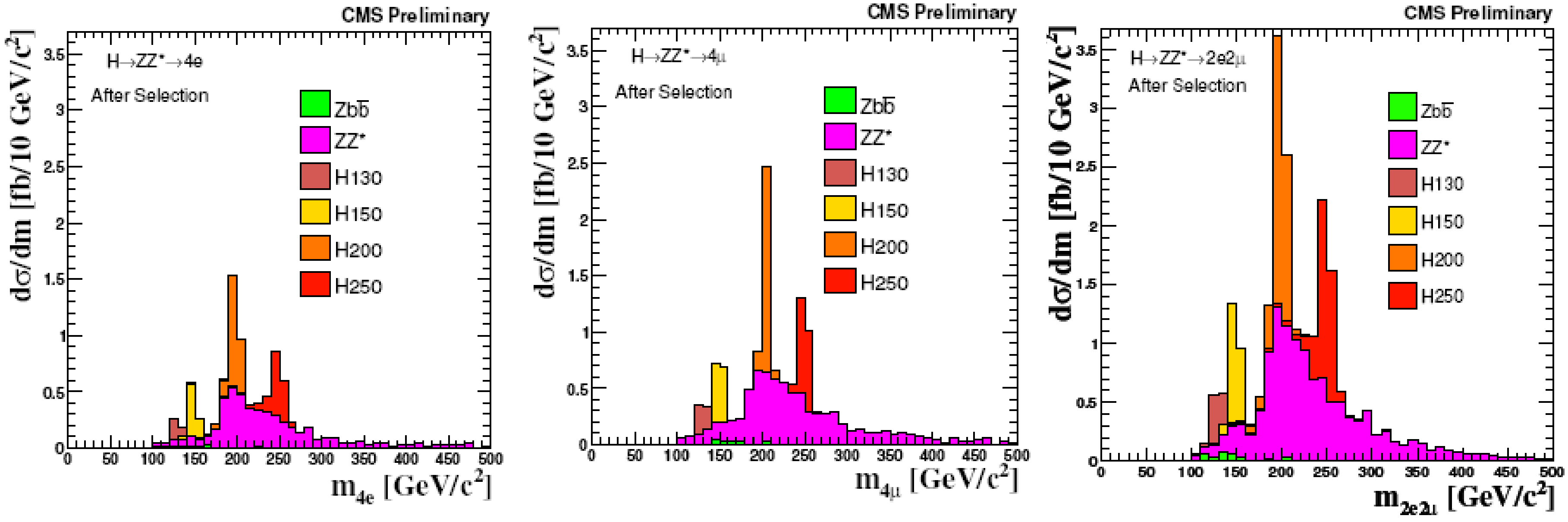
$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$



Distribuzione della massa invariante per il canale $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu$ per una luminosità integrata di 20 fb^{-1} per il segnale (5 diverse masse) e per i principali fondi.

È stata applicata la semplice preselezione di evento rivelabile:

$|\eta| < 2.5 \quad p_t < 3$ GeV



CMS AN 2008/050

Distribuzione della massa invariante per i canali:

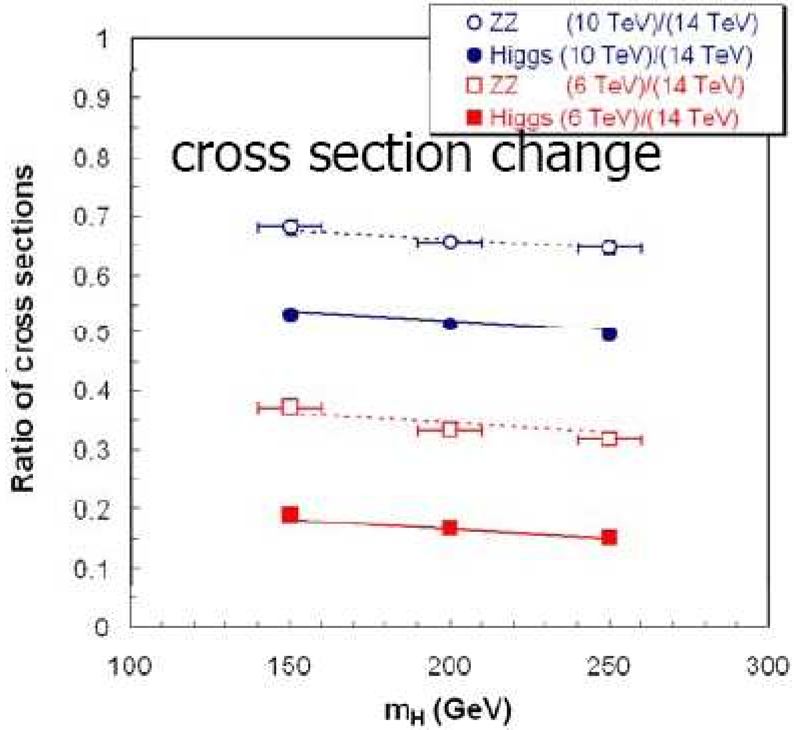
$H \to ZZ \to 4e$ $H \to ZZ \to 4\mu$ $H \to ZZ \to 2e2\mu$

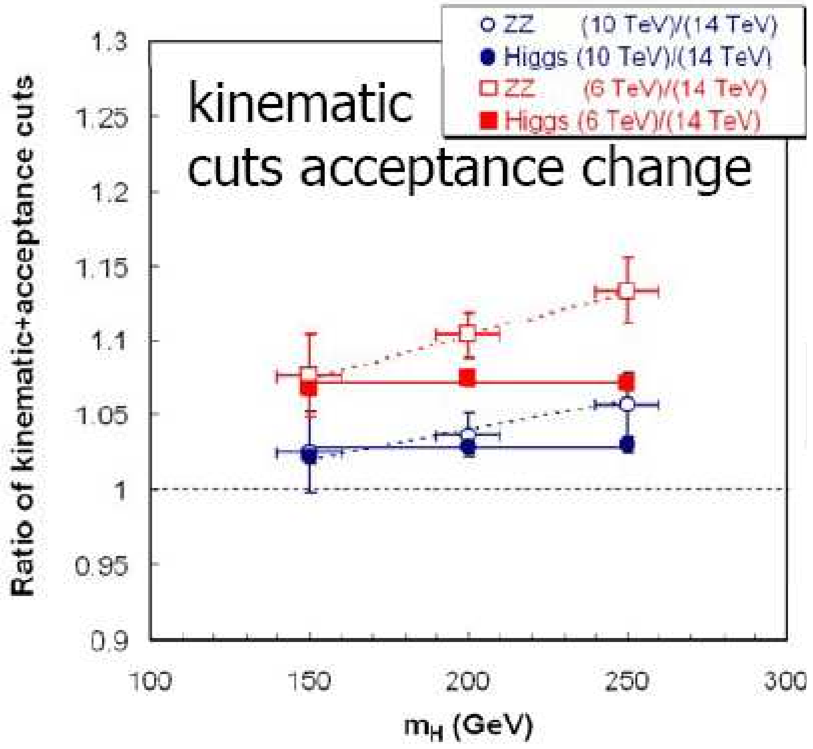
per una luminosità integrata di 1 fb^{-1} per il segnale (4 diverse masse)

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

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



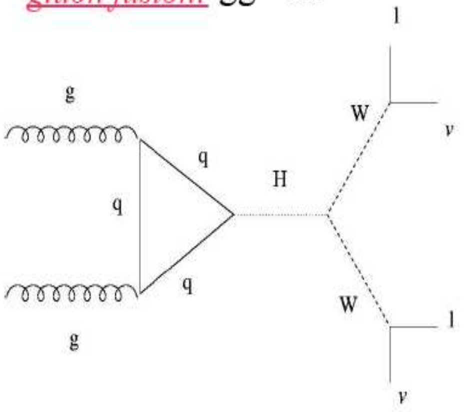


CMS Week

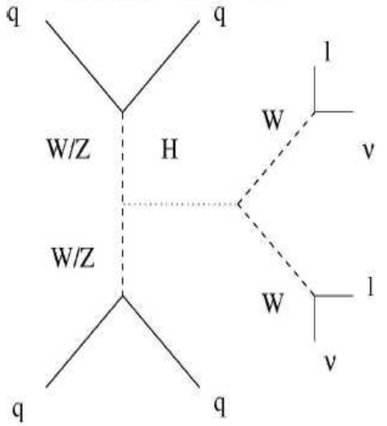
$H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow 2\ell 2\nu$

Segnale

gluon fusion: gg→H


g
q
q
q
H
W
W
l
ν
l
ν
g

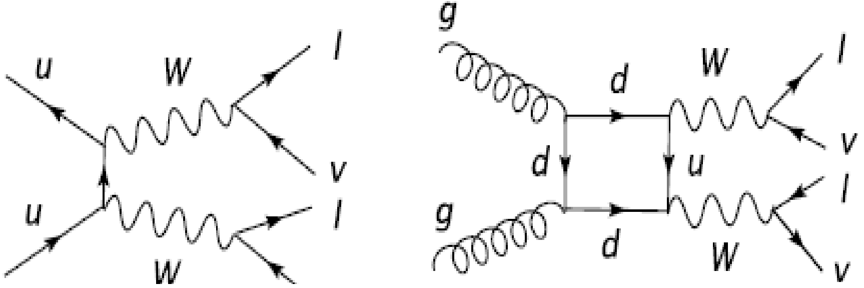
VBF: qq→qqH


q
q
W/Z
H
W/Z
W
W
l
ν
l
ν
q
q

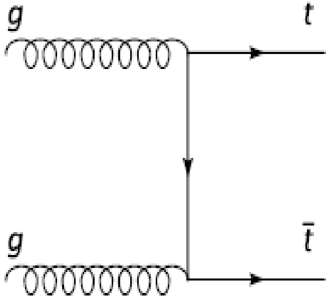
Il segnale è caratterizzato da:

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

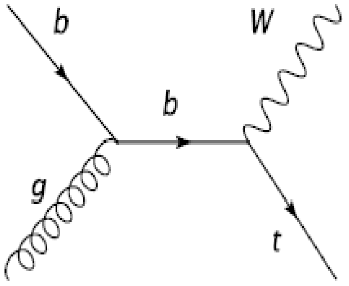
Fondo


u
W
l
ν
u
W
l
g
d
W
l
d
u
ν
g
d
W
l
ν

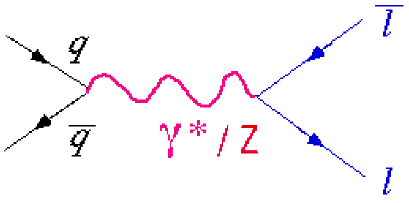
Produzione di coppie WW



$t\bar{t}$



Wt



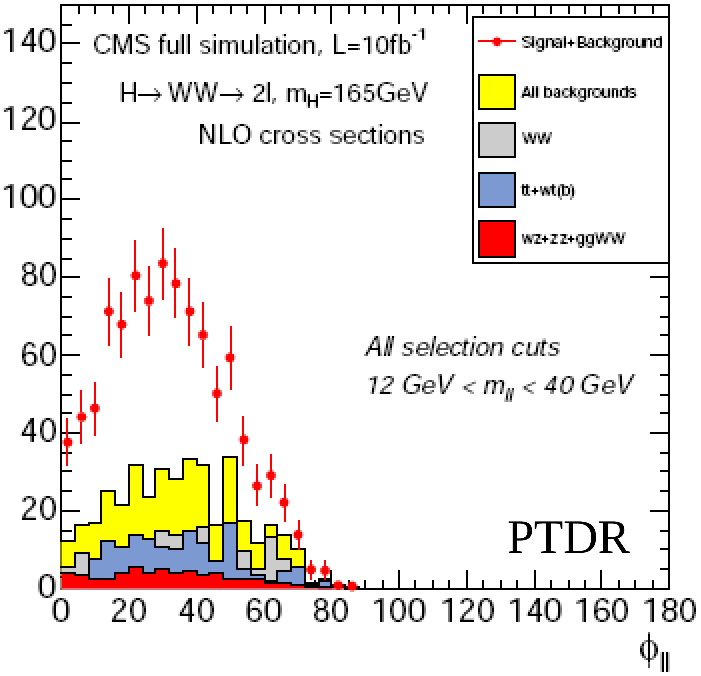
DY

L'analisi si suddivide nei tre canali:

$H \to WW \to 2e2\nu$ $H \to WW \to 2\mu 2\nu$ $H \to WW \to e\mu 2\nu$

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

Nel PTDR si è mostrato come un'analisi basata su tagli in Pt, Isolamento, Energia mancante e Jet-veto permetta di ottenere un chiaro segnale nella zona $\phi_{ll} < 45^o$ per Higss con massa intorno a 165 GeV



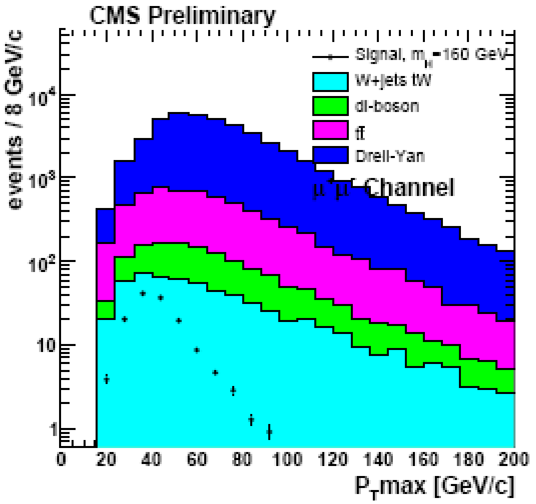
La differente distribuzione dell'angolo tra i due leptoni per WW provenienti da Higgs e da fondo deriva dalla correlazione di spin e dalla struttura V-A del decadimento del W.

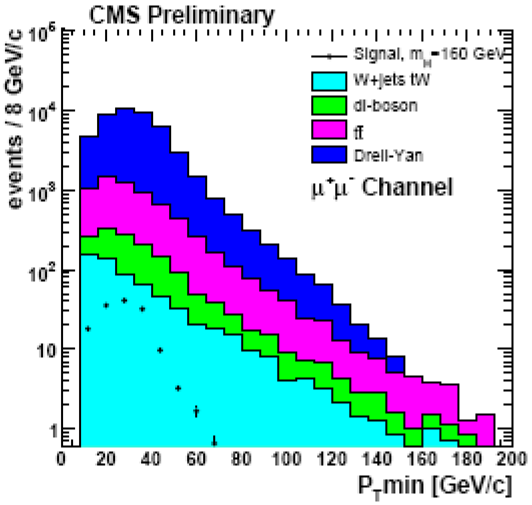
Per $M_H \leq 2 M_W$ i bosoni W sono prodotti con basso boost (seguono entrambi la direzione dell'Higgs)

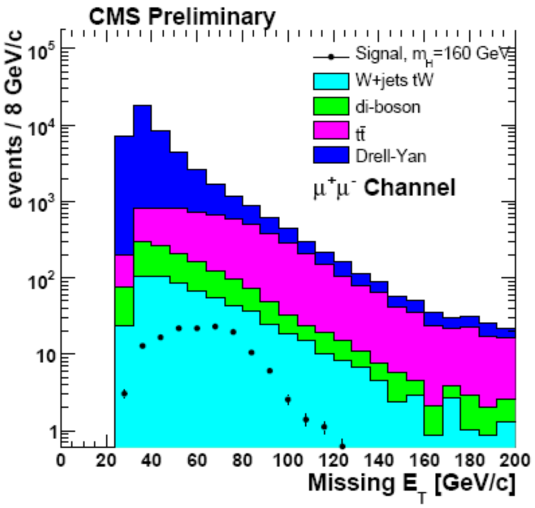
Inoltre, nel riferimento dell'Higgs, avranno direzioni opposte ma anche spin opposti, i leptoni del decadimento del W tenderanno ad avere la stessa direzione.

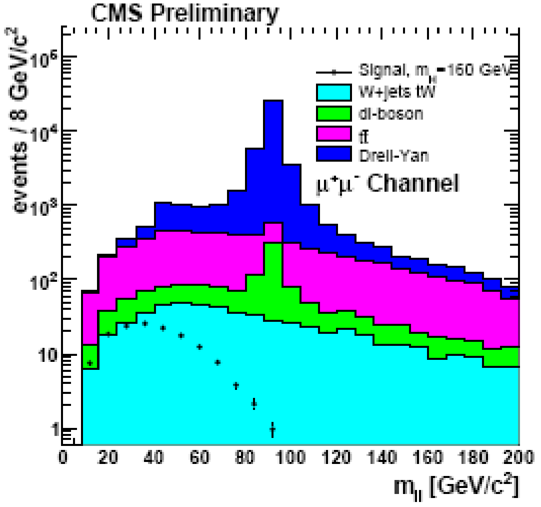
mH (GeV)	120	130	140	150	160	170	180	190	200
NS	4.9	8.7	18	9	21	17	11	5.6	4.6
NB	87	87	87	17	17	17	13.5	13.5	13.5

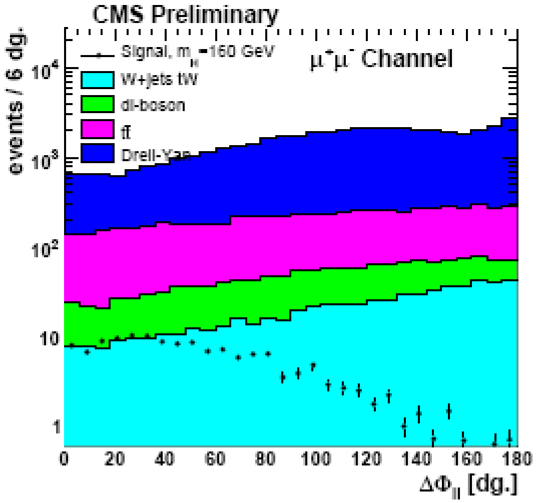
Per basse masse, pur ottimmizzando diversamente i tagli, il rapporto segnale / rumore peggiora sensibilmente. Risulta fondamentale l'ultizzo di analisi a Multivariabili che sfruttano pianamente la differente distribuzione tra segnale e fondo delle variabili.





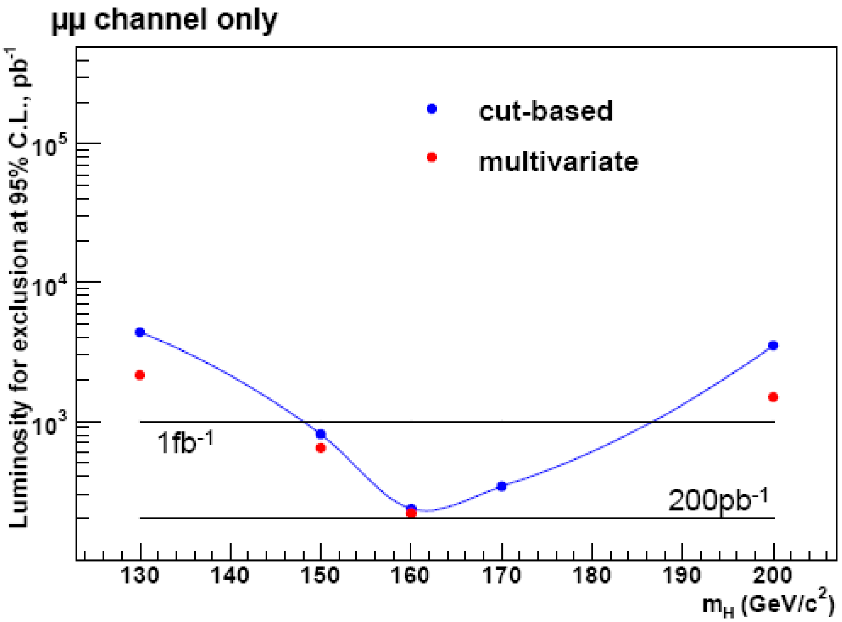






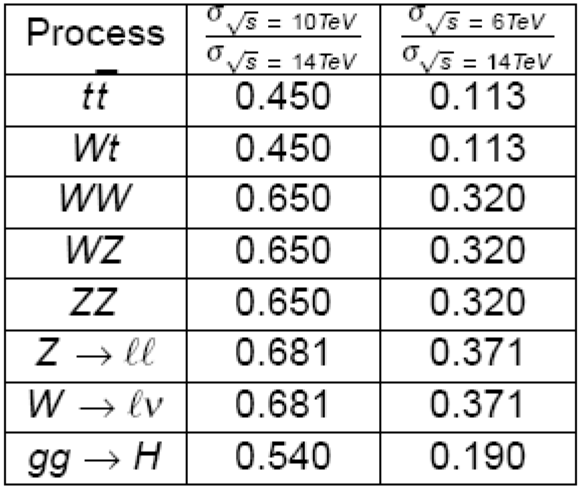
CMS AN 2008/039

Stima della luminosità integrata necessaria per l'esclusione al 95% CL per il canale μμ nella fase iniziale con energia di 10 TeV



HWW meeting

15/5/2009

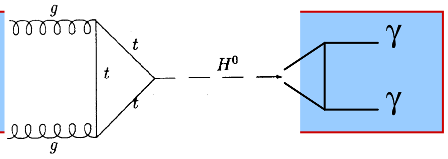


Process	$\frac{\sigma_{\sqrt{s}=10TeV}}{\sigma_{\sqrt{s}=14TeV}}$	$\frac{\sigma_{\sqrt{s}=6TeV}}{\sigma_{\sqrt{s}=14TeV}}$
$t\bar{t}$	0.450	0.113
Wt	0.450	0.113
WW	0.650	0.320
WZ	0.650	0.320
ZZ	0.650	0.320
$Z \to \ell\ell$	0.681	0.371
$W \to \ell\nu$	0.681	0.371
$gg \to H$	0.540	0.190

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

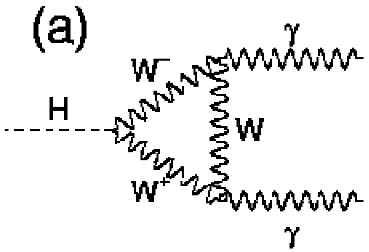
HWW meeting
23/1/2009

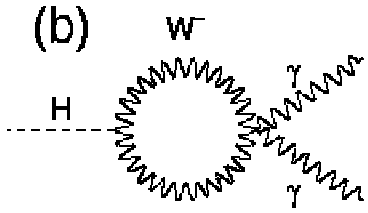
$H \to \gamma\gamma$

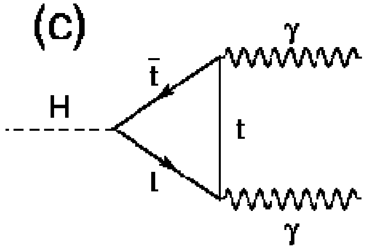


Dato che il fotone non ha massa non c’è accoppiamento diretto con il bosone di Higgs.

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







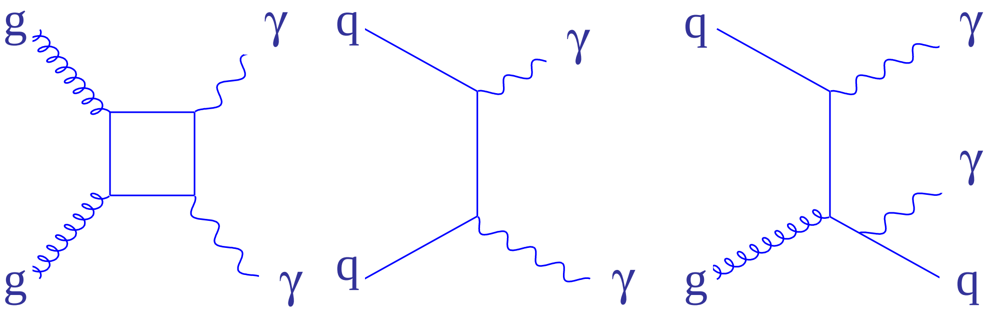
M_H	115 GeV/c^2	120 GeV/c^2	130 GeV/c^2	140 GeV/c^2	150 GeV/c^2
σ (gg fusion)	39.2 pb	36.4 pb	31.6 pb	27.7 pb	24.5
σ (WVB fusion)	4.7 pb	4.5 pb	4.1 pb	3.8 pb	3.6
σ (WH, ZH, $t\bar{t}$H)	3.8 pb	3.3 pb	2.6 pb	2.1 pb	1.7
Total σ	47.6 pb	44.2 pb	38.3 pb	33.6 pb	29.7
$H \to \gamma\gamma$ Branching Ratio	0.00208	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 $\approx 10^{-3}$

σ * BR $\approx$ 90 fb

Fondi :

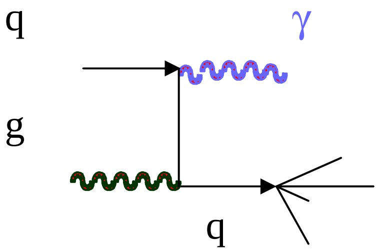
– $\gamma\gamma$ (irriducibile):



$gg \rightarrow \gamma\gamma$ *(box diagram)*
$qq \rightarrow \gamma\gamma$ *(born diagram)*
$pp \rightarrow \gamma$*+jets (2 prompt* γ*)*

$\sigma_{\gamma\gamma} \approx \mathbf{2\ pb}$ / GeV
$\Gamma_H \approx$ MeV

– γ + jet , jet + jet (riducibile):

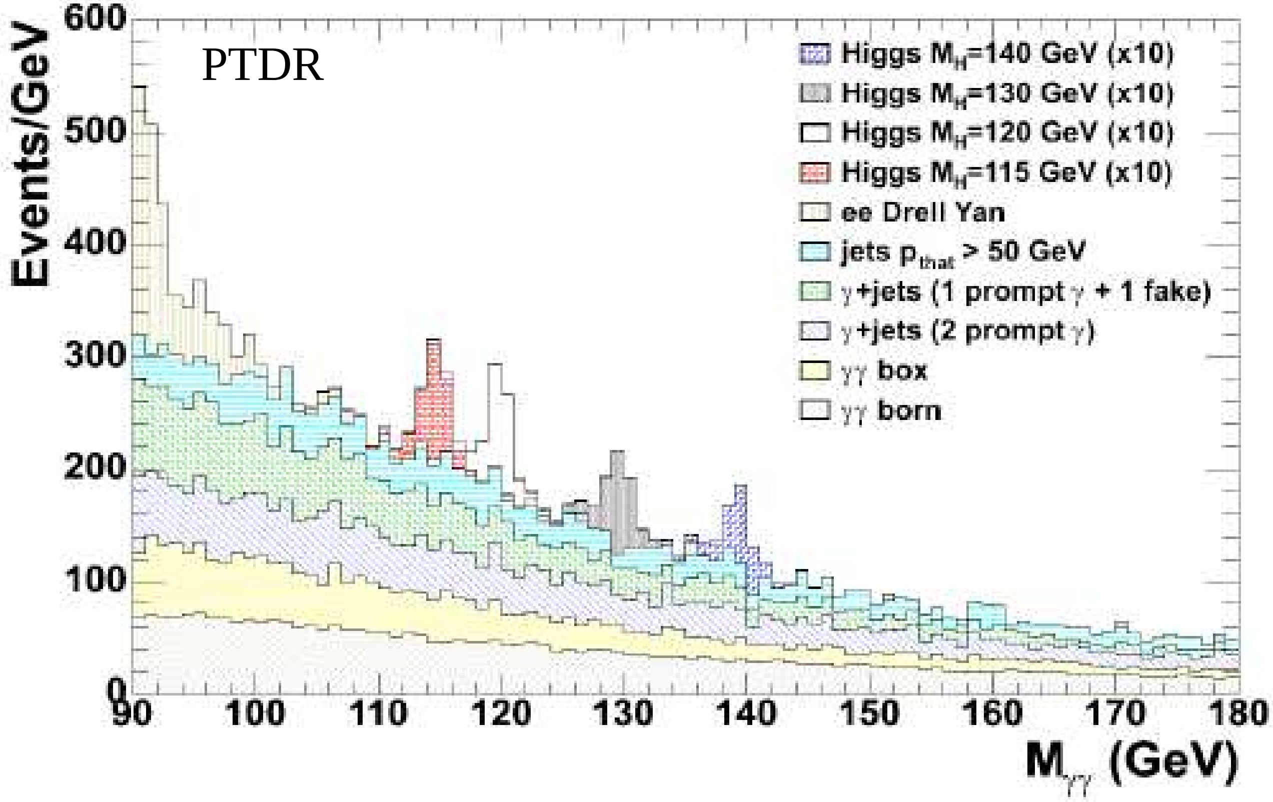


pp→ γ+jets (1 prompt γ + 1 fake γ)
pp→ jets (2 fake γ)
pp→ ee (Drell Yan) when electrons are mis-identified as photons

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

- Selezione :

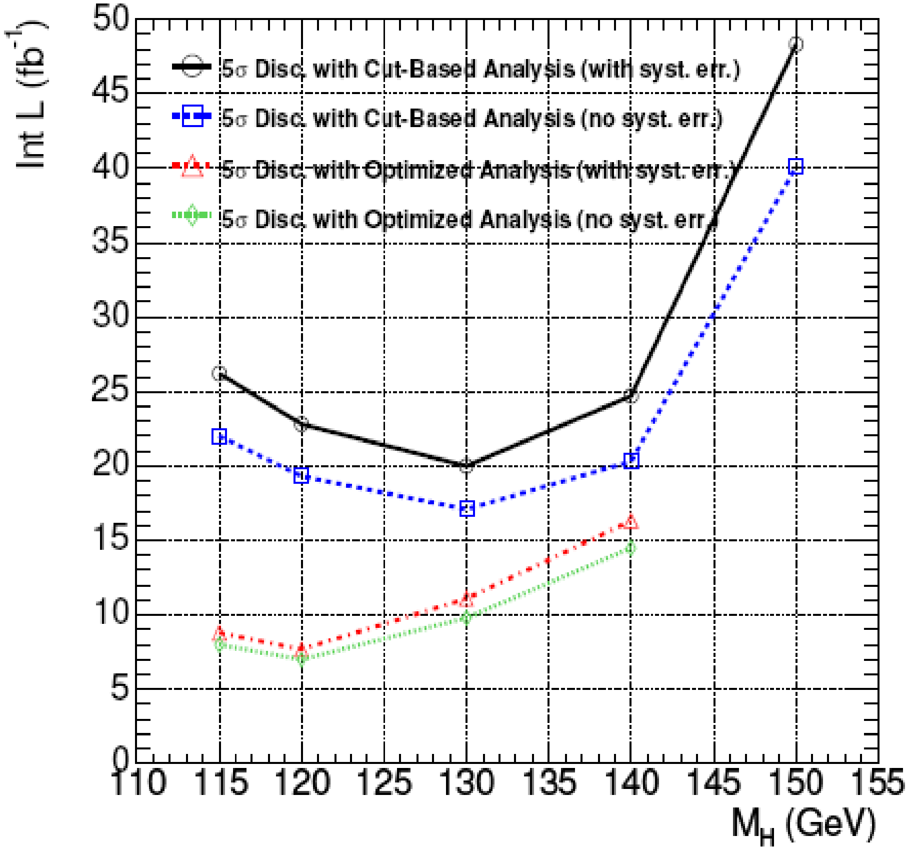
  - 2 fotoni con energia trasversa maggiore di 35 GeV e 40 GeV
  - Nessuna traccia con Pt > 1.5 GeV in un cono $\Delta R < 0.4$ intorno ad ogni fotone
  - Et < 6 GeV in HCAL in un cono $\Delta R < 0.3$ intorno ad ogni fotone
  - Et < 6 GeV in ECAL (escluso il cluster del fotone candidato) in un cono $\Delta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



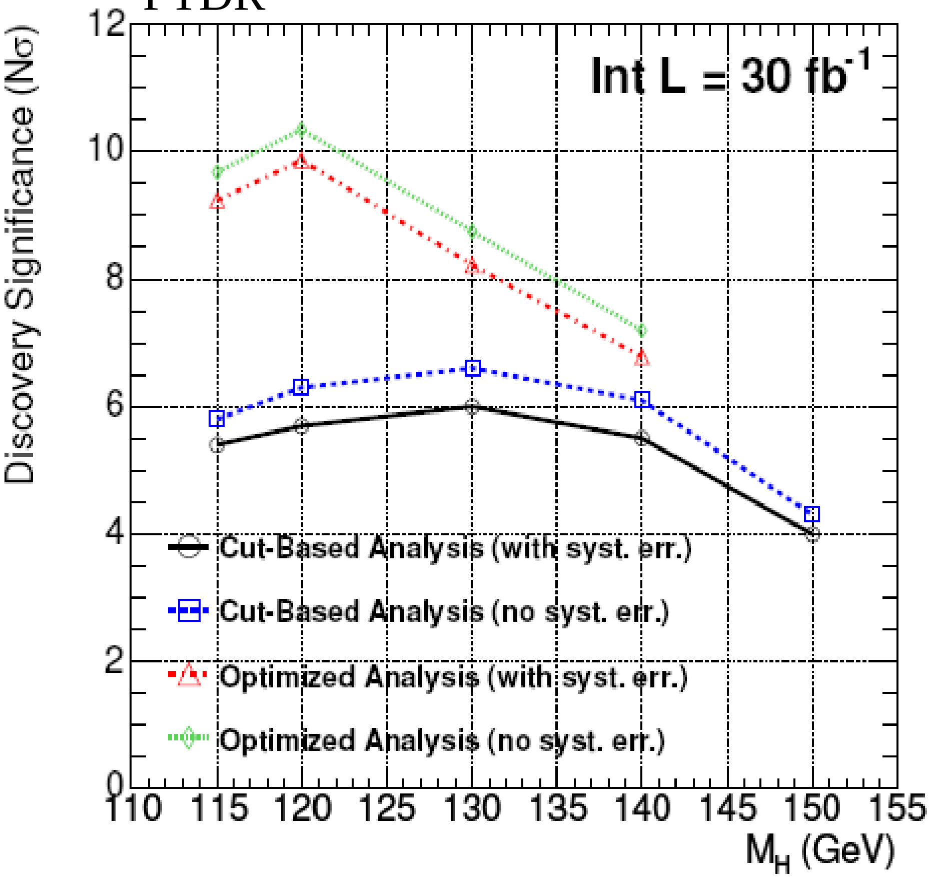
Distribuzione di massa invariante dopo la selezione (segnale x 10) normalizzata a $1 fb^{-1}$

Analisi ottimizzata: 6 variabili in ingresso di una rete neurale

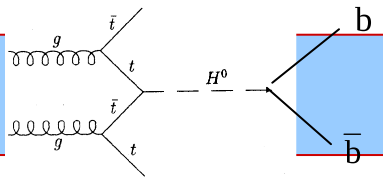
PTDR



PTDR



ttH→ttbb



- σ x BR ≈ 300 fb
- Stato finale complesso: $H \to b\bar{b}$, $t \to bjj$, $t \to b\ell\nu$

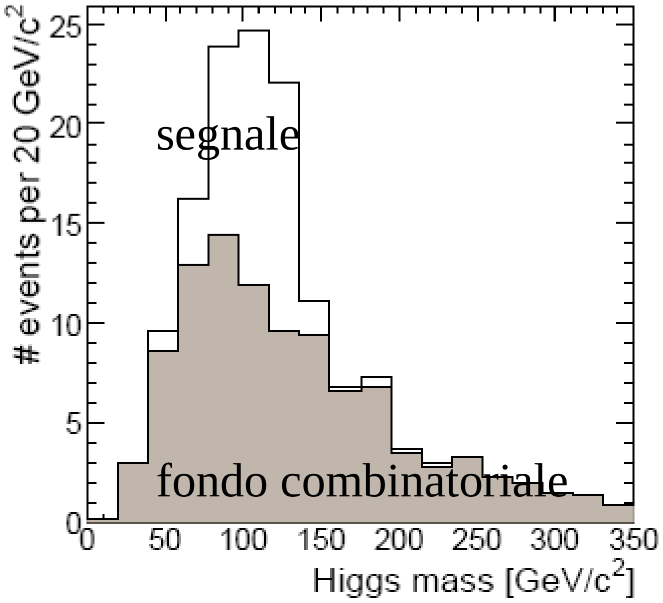
ℓ = e , μ per trigger e background rejection

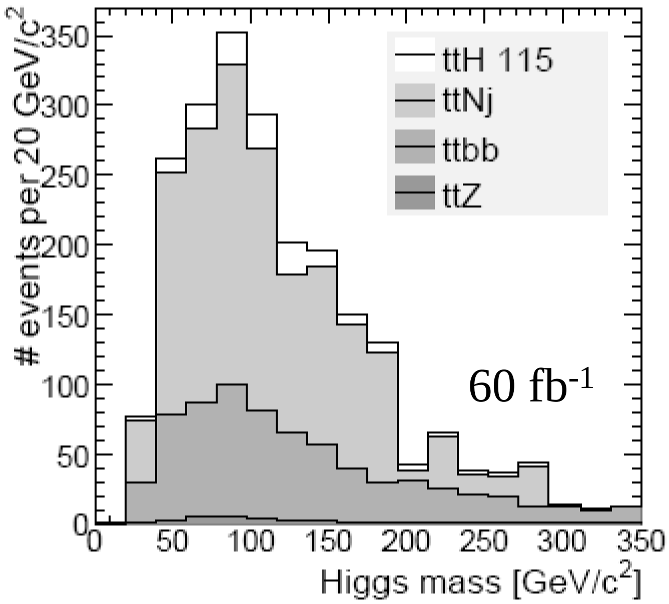
- fondi principali:

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

Ridotto, ricostruendo entrambi i top

b-tagging è cruciale





CMS AN 2007/001

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

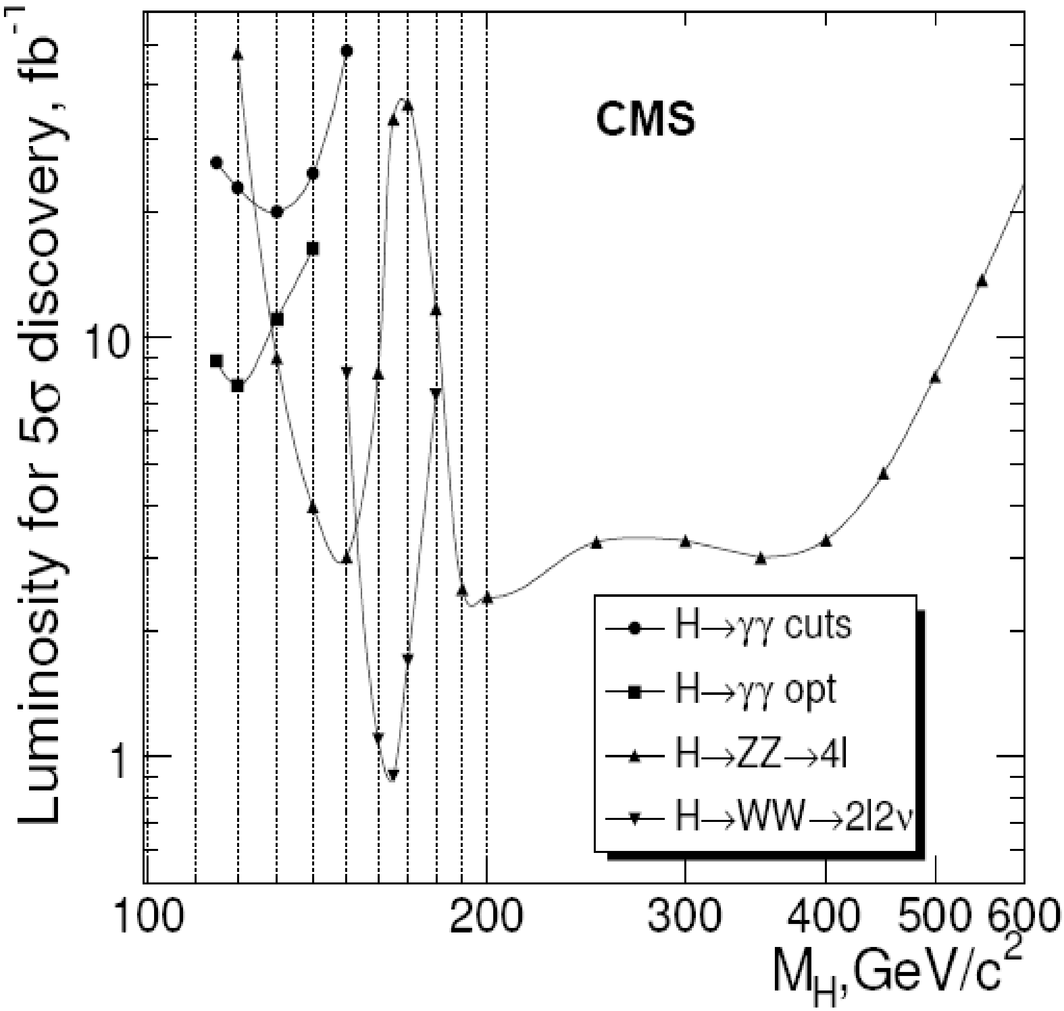
Eventi attesi di segnale (per 3 differenti masse) e di fondo con 60 fb^{-1} di luminosità integrata e due diverse selezioni (loose e tight) di b-Tag

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

PTDR


CMS
Luminosity for 5σ discovery, fb^{-1}
10
1
100
200
300
400
500
600
M_H, GeV/c^2
H→γγ cuts
H→γγ opt
H→ZZ→4l
H→WW→2l2ν

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 ttH with $H \rightarrow bb$ at CMS

CMS Physics TDR, Volume II: CERN-LHCC-2006-021, 25 June 2006