

Ricerca osservazione e misure del bosone di Higgs

Proprieta'

- $m_H = (\lambda/2)^{1/2} v$
 λ self-coupling,

v valore di aspettazione sul vuoto, $v = (\sqrt{2} G_F)^{-1/2}$

- Accoppiamenti:

$$\mathcal{L} = -g_{Hff}\bar{f}fH + \frac{g_{HHH}}{6}H^3 + \frac{g_{HHHH}}{24}H^4 \\ + \delta_V V_\mu V^\mu \left(g_{HVV}H + \frac{g_{HHVV}}{2}H^2 \right)$$

with

$$g_{Hf\bar{f}} = \frac{m_f}{v}, \quad g_{HVV} = \frac{2m_V^2}{v}, \quad g_{HHVV} = \frac{2m_V^2}{v^2} \\ g_{HHH} = \frac{3m_H^2}{v}, \quad g_{HHHH} = \frac{3m_H^2}{v^2}$$

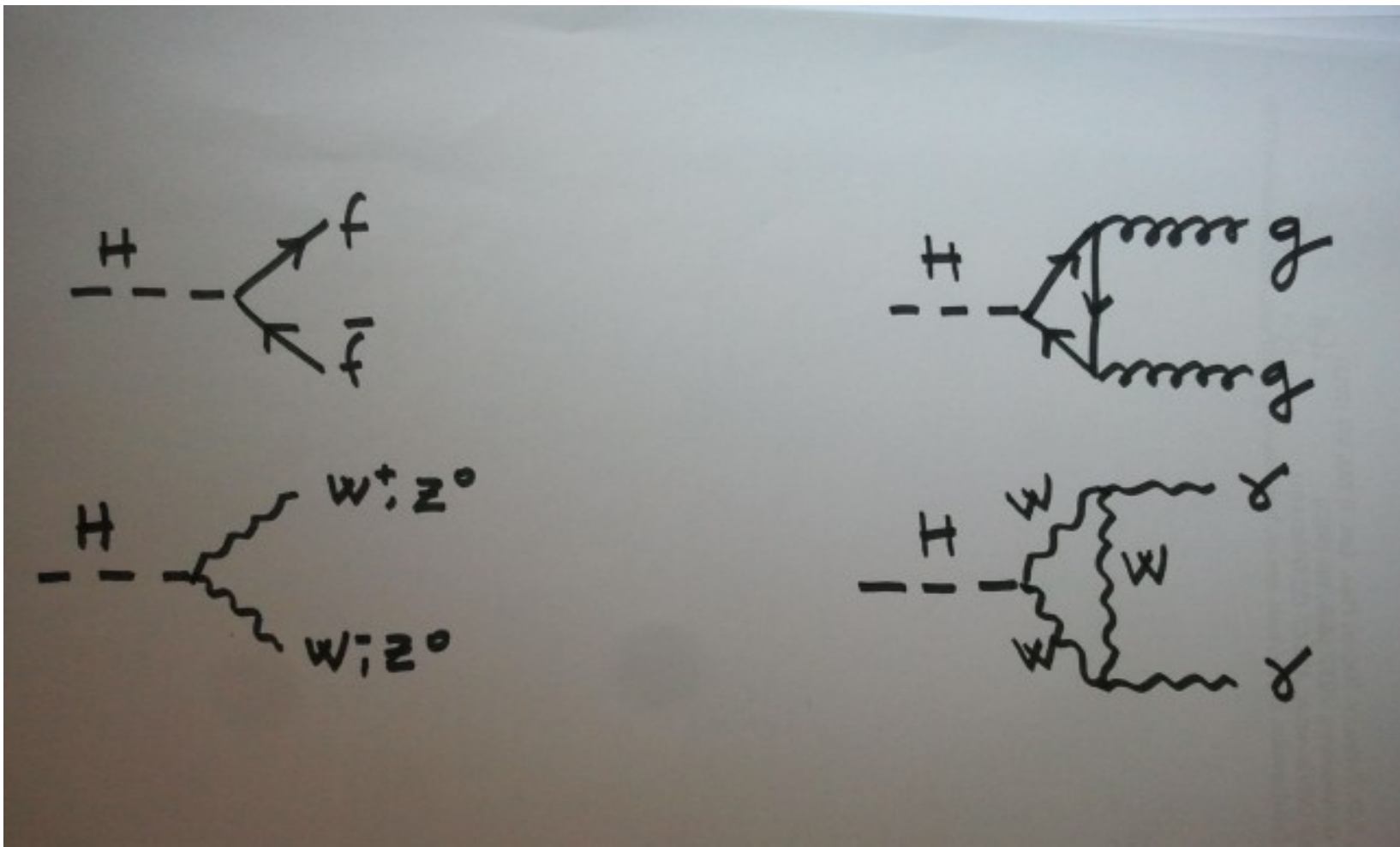
decadimenti

- $Z \rightarrow HH$ no a tutti gli ordini (spin-statistica, cfr. $\rho^0 \not\rightarrow \pi^0 \pi^0$);
- $Z \rightarrow H \gamma$ no all'ordine più basso (Z, H neutri !!!);
- $H \rightarrow \gamma \gamma$ no all'ordine più basso (H neutro !!!);
- $H \rightarrow g g$ no all'ordine più basso (Higgs non ha interazioni forti).

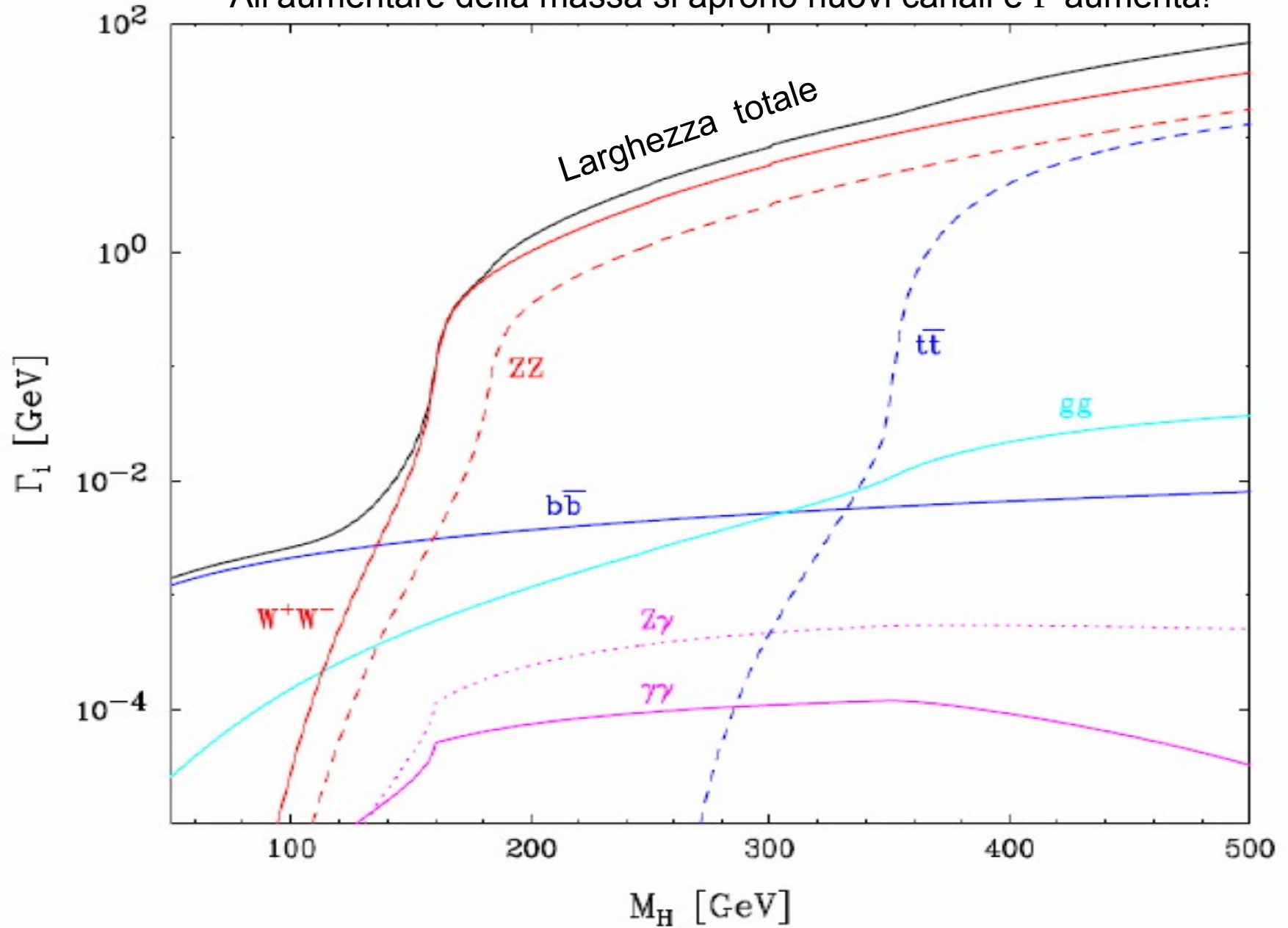
decadimenti

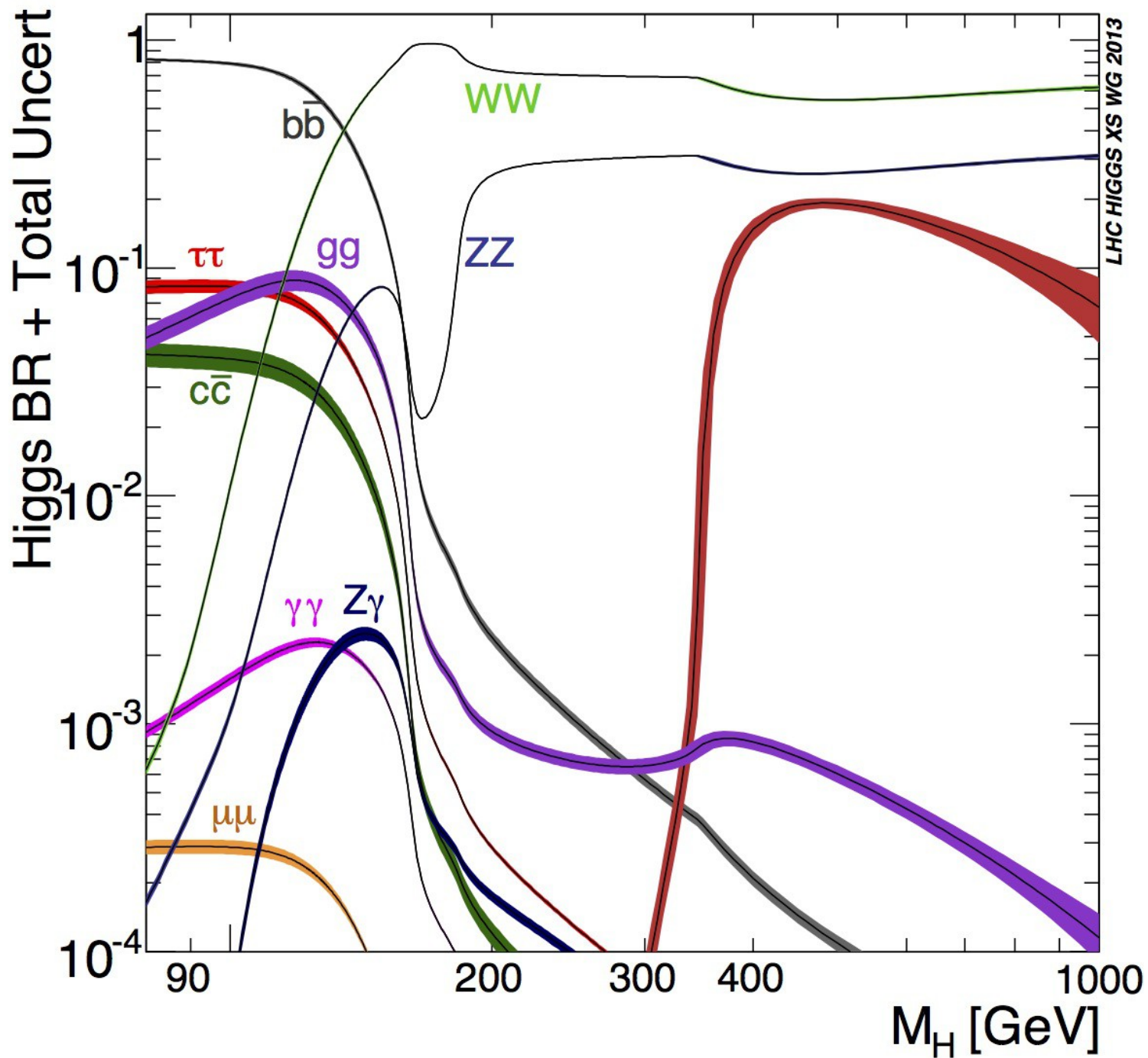
- Tree level

- 1 loop



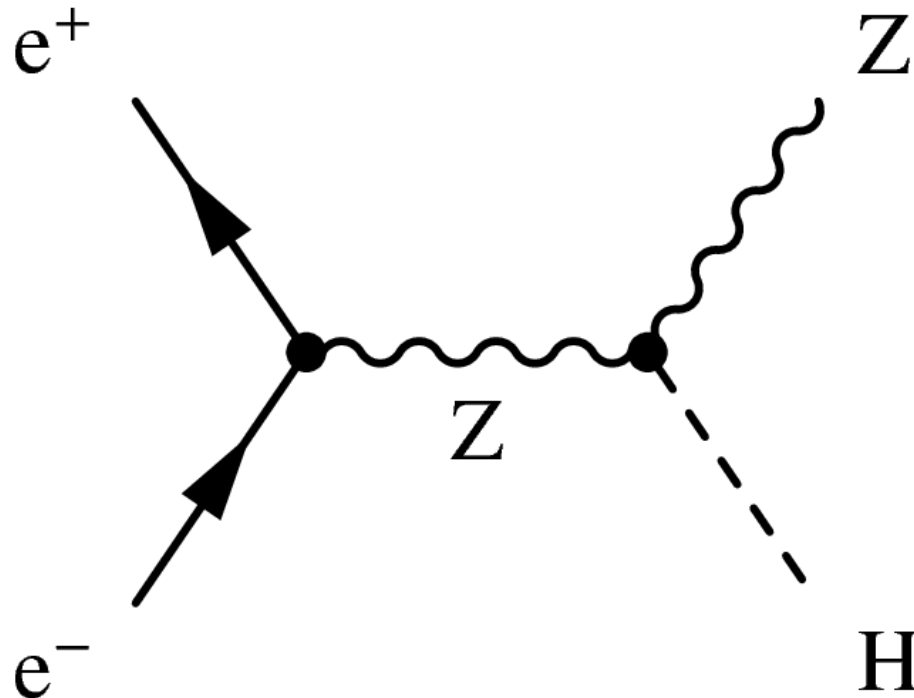
All'aumentare della massa si aprono nuovi canali e Γ aumenta!



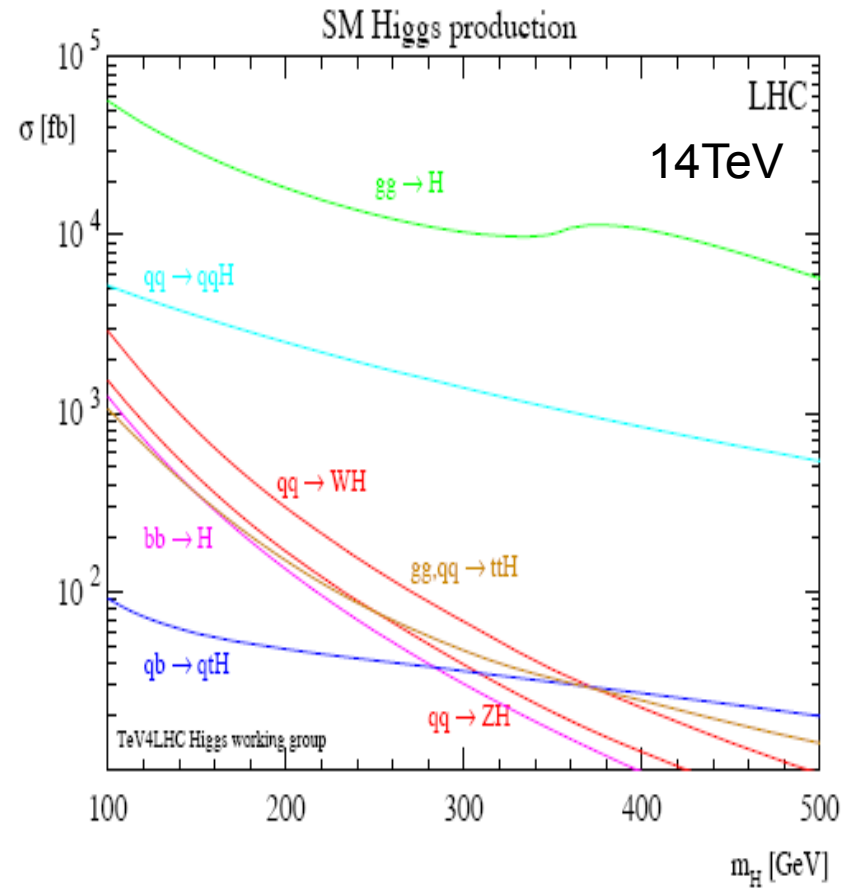
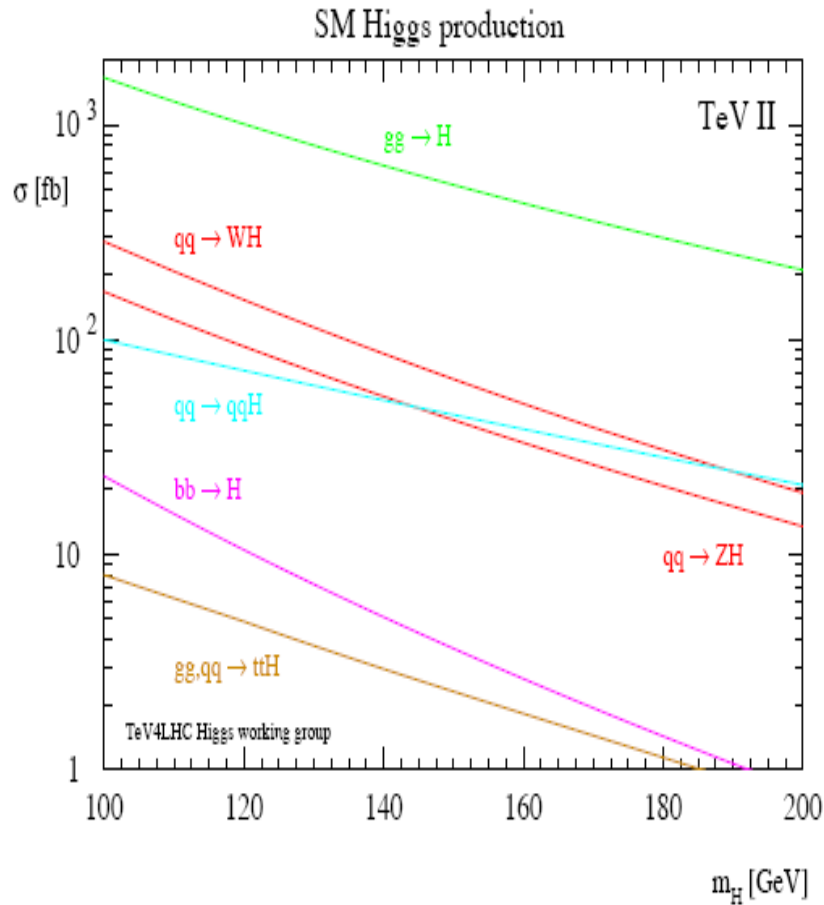


Produzione in e^+e^-

- Costante di accoppiamento con elettrone molto piccola
- Si cercano processi che coinvolgano masse elevate
- Meccanismo principale: Higgsstrahlung

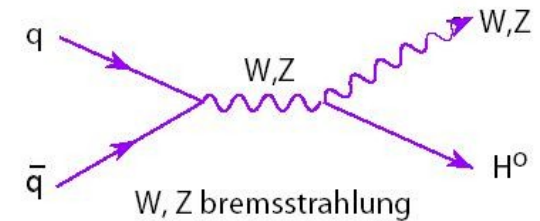
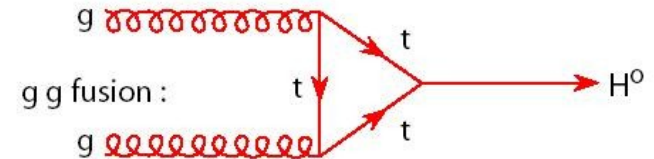


Produzione ai collider adronici



Tevatron

- Processi dominanti:
 - Gluon-gluon fusion
 - Produzione associata con bosoni vettori
- Per $m_H < 135$ GeV:
 - Produzione associata con decadimento coppie $b\bar{b}$
- Per $m_H > 135$ GeV:
 - Entrambi i canali di produzione
 - Decadimento in WW^*

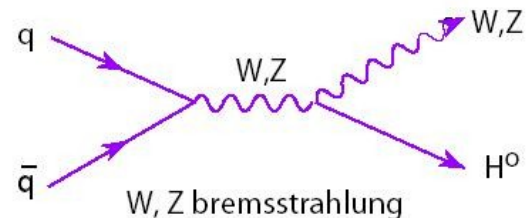
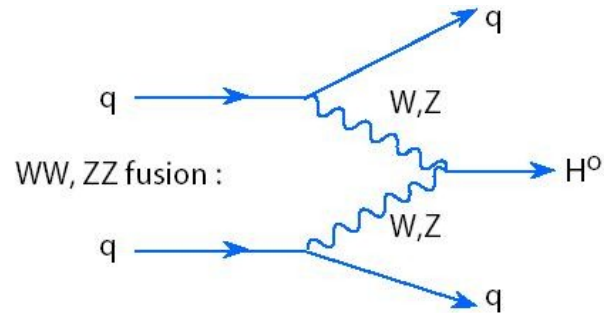
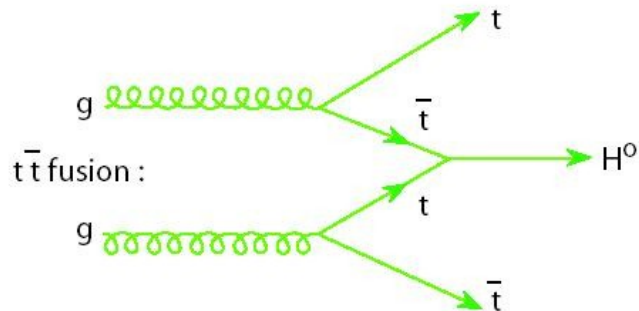
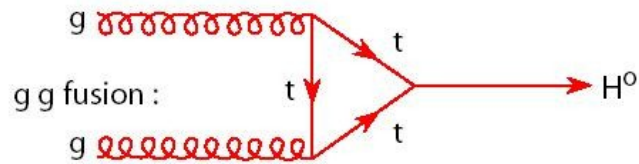


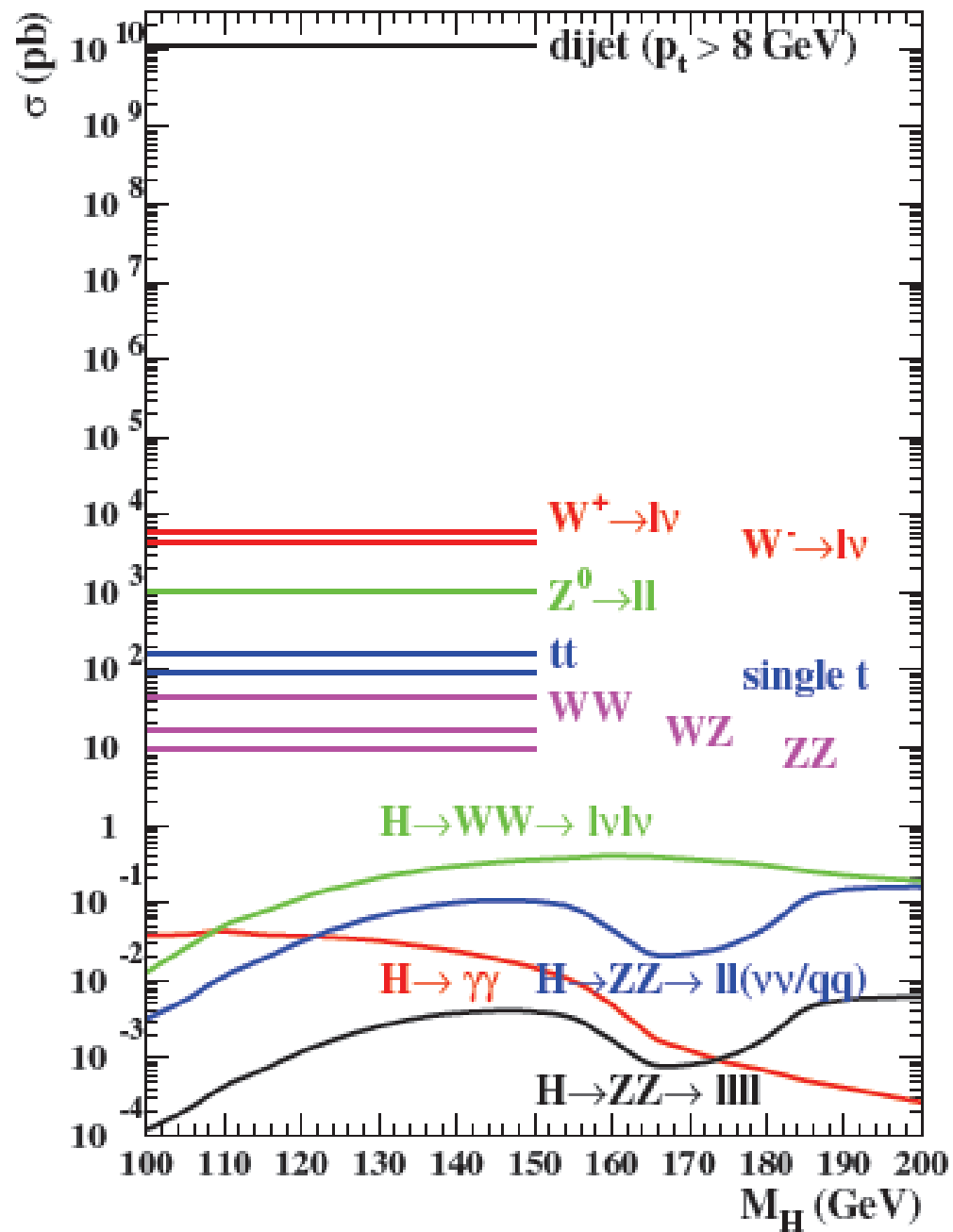
**Principale fondo:
produzione di top
 $Wb\bar{b}$ nello stato
finale**

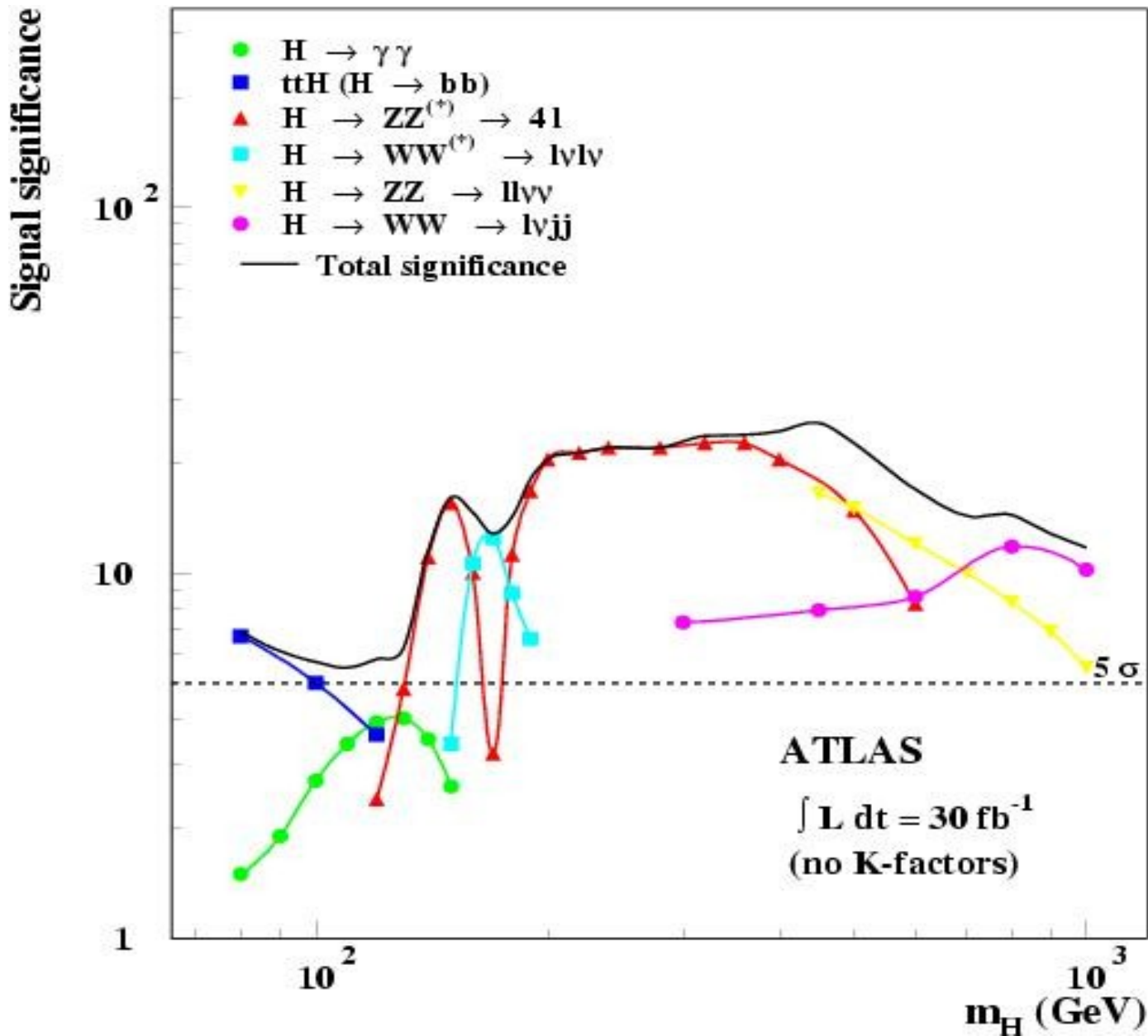
- ❖ $m_H < 150$ GeV : $pp \rightarrow HX$, $H \rightarrow \gamma\gamma$;
- ❖ $m_H < 150$ GeV : $pp \rightarrow W^\pm HX, ZHX, ttHX, W/Z/tt \rightarrow \ell^\pm, H \rightarrow \gamma\gamma$;
- ❖ $m_H < 120$ GeV : $pp \rightarrow W^\pm HX, ZHX, ttHX, H \rightarrow bb$;
- ❖ $120 < m_H < 150$ GeV : $pp \rightarrow HX, H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell^\pm$;
- ❖ $150 < m_H < 200$ GeV : $pp \rightarrow HX, H \rightarrow WW^{(*)}, \rightarrow \ell^+ \nu \ell^- \bar{\nu}$;
- ❖ $m_H > 170$ GeV : $pp \rightarrow HX, H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell^\pm, \ell^+ \ell^- \nu \bar{\nu}$;
- ❖ $m_H < 300$ GeV : $pp \rightarrow HX, H \rightarrow WW, ZZ \rightarrow \ell^\pm \nu jj, \ell^+ \ell^- jj$;

LHC

- Processi dominanti:
 - Gluon-gluon fusion (ggF)
 - Vector boson fusion (VBF)
 - Produzione associata con bosoni vettori (VH)
 - Produzione associata con quark pesanti (ttH)







Higgs Discovery Potential (ATLAS Technical Design Report 1999)

Ricerca del bosone di Higgs a LHC

- **Rivelatori progettati per cercare il bosone di Higgs in un ampio intervallo di massa**
 - **Ricerca di molteplici canali di decadimento (“golden channel” $ZZ \rightarrow 4\text{leptoni}$)**
 - **Estensione della rivelazione fino ad alte intensita' e impulsi (ad esempio toroide in aria di ATLAS per muoni di alto p_T)**
 - **Estensione della rivelazione verso le basse masse (calorimetro a cristalli di CMS per $\gamma\gamma$)**
- **Analisi effettuata in tutti i canali accessibili e in particolare inizialmente in di-bosoni: $\gamma\gamma$, ZZ in 4 leptoni, WW in $l\nu l\nu$.**



4 luglio 2012

I seminari del 4 luglio 2012

<https://cds.cern.ch/record/1459513>

<https://www.youtube.com/watch?v=0Tnd8bxDYOs>

**E la successiva
fondamentale
pubblicazione...**

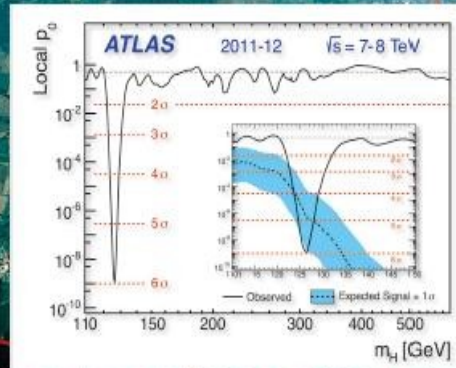
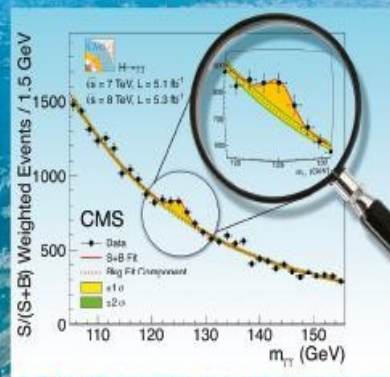




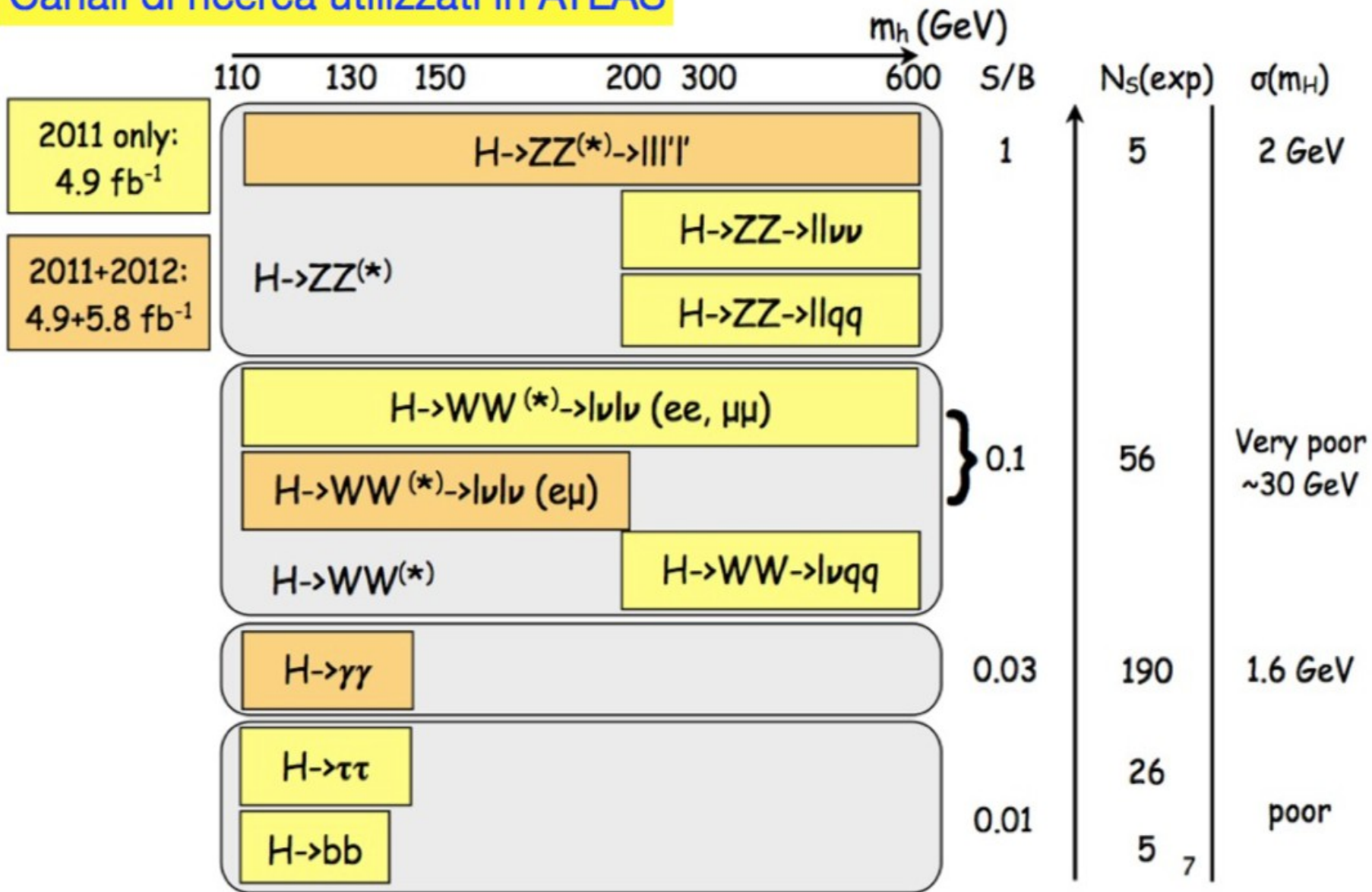
PHYSICS LETTERS B

Available online at www.sciencedirect.com

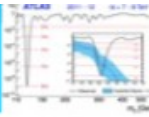
SciVerse ScienceDirect



Canali di ricerca utilizzati in ATLAS



H → 2γ

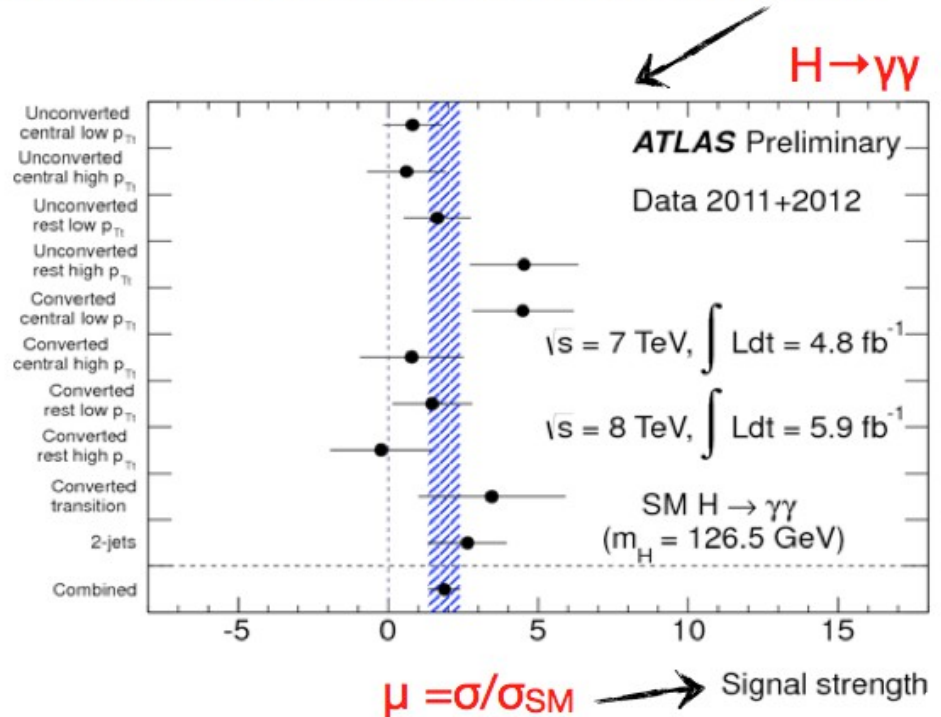
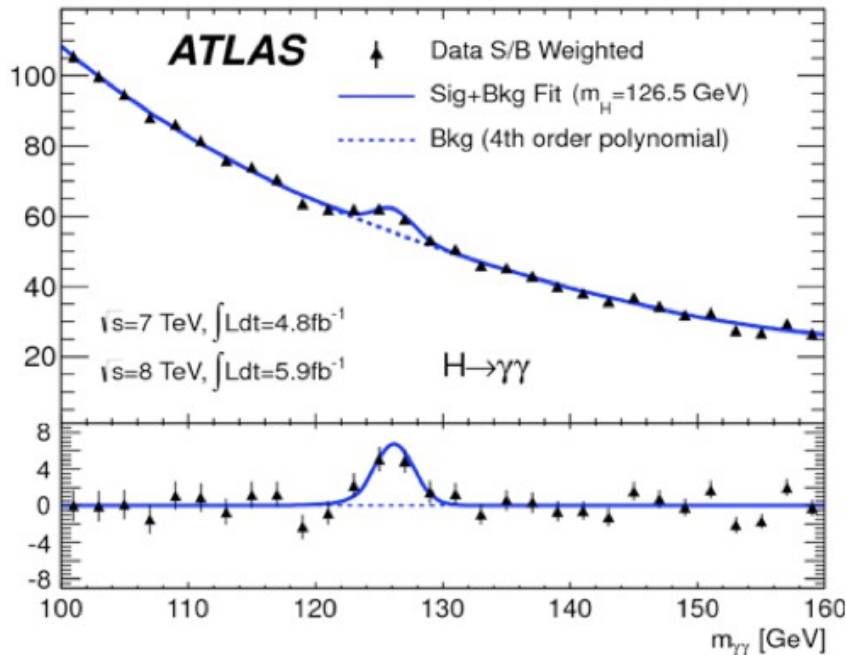


Il canale più sensibile per la scoperta di un Higgs di massa <125 GeV

- Alta rate di eventi: ~ 20 higgs/fb⁻¹ @ 125 GeV, ma bassissimo S/B ~ 0.03
- **Processi di fondo:**
 - irriducibile: continuo $\gamma\gamma$
 - riducibili: γ -Jet, Jet-Jet (Jet → π^0)
 - **Richieste sperimentali:** eccellente risoluzione in massa invariante (~ 1.6 GeV) e separazione γ /Jet
- **Analisi 2012:**
 - algoritmi dedicati per l'identificazione del vertice primario in condizioni di alto pileup
 - suddivisione in categorie multiple per aumentare la sensibilità: segnale estratto da fit simultaneo di $m_{\gamma\gamma}$ in 10 categorie

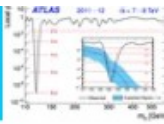


Phys. Lett. B 716 (2012) 1-29



$\mu = \sigma/\sigma_{SM}$ → Signal strength

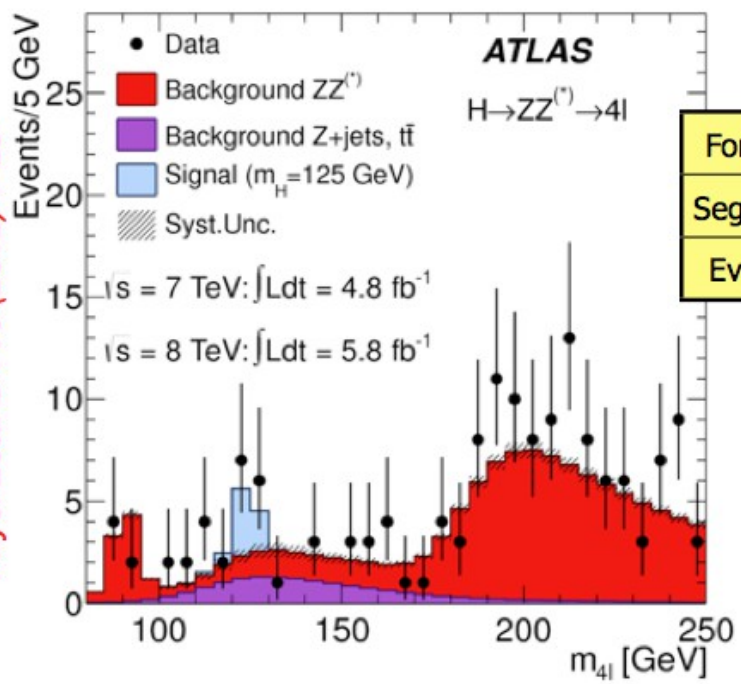
H → ZZ(*)



Golden channel: 4 leptoni (4e, 4μ, 2e2μ)

- segnatura pulitissima: (S/B~1), ricostruzione massa invariante con alta risoluzione (~2 GeV) → misura della massa
- rate di eventi penalizzata dal ridotto BR leptonico ~ 0.5 higgs/fb-1 @125 GeV
- **Processi di fondo:**
 - ZZ* → 4l (~irriducibile), Zbb, Z+jets, tt:
 - soppressi tramite richieste di isolamento leptonico, e tagli sul parametro di impatto dei leptoni più soffici
 - stimati utilizzando dati reali in regioni di controllo + estrapolazioni MC nella regione di segnale
- **Richieste sperimentali chiave:**
 - alta efficienza di ricostruzione e identificazione per leptoni fino a p_T di pochi GeV/c
 - eccellente risoluzione in massa (constraint cinematici)

Phys. Lett. B 716 (2012) 1-29



120 < m_{4l} < 130 GeV

Fondo atteso	5.1 ± 0.6
Segnale atteso	5.3 ± 0.8
Eventi osservati	13

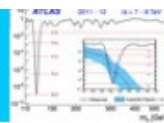
Ma anche

- ll_{nnu} e ll_{qq} a masse piu' alte
- ll_{qq} basse masse (120-180 GeV)

Forte coinvolgimento italiano
RM1, RM2, LNF, Na



H → WW(*) → |v|v

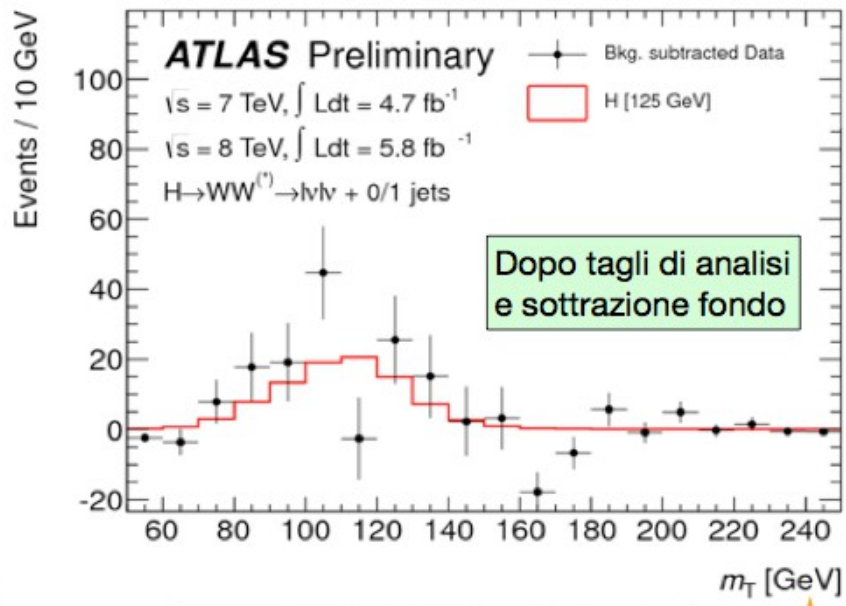
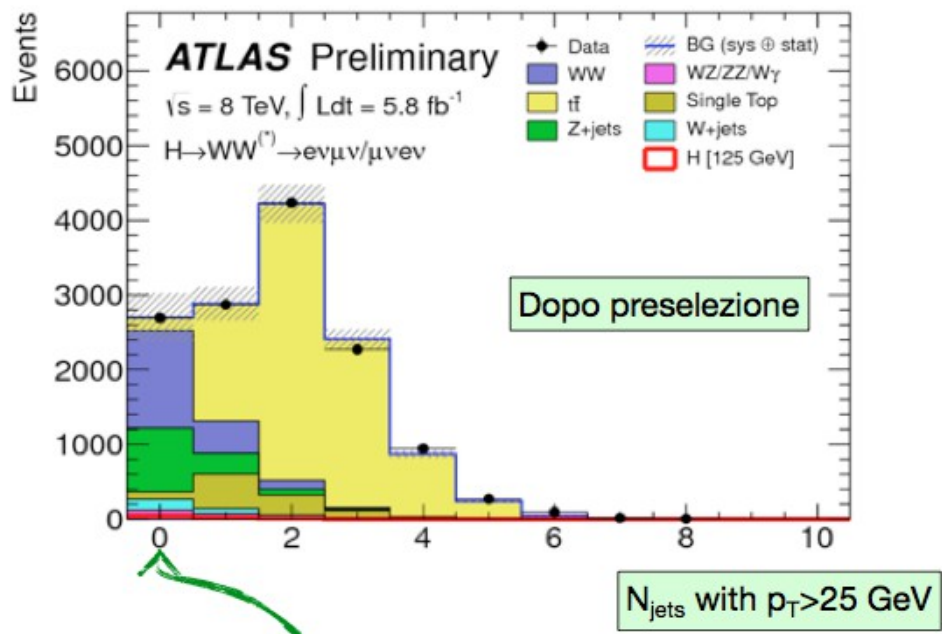


- Alta sezione d'urto × BR
- Analisi molto complessa:
 - non è possibile ricostruire la massa invariante dell'Higgs
 - controllo preciso dei processi di fondo diventa cruciale
- Fondi dominanti: WW, W/Z+Jets, top → stimati con tecniche data-driven
- **Analisi preliminare dati 2012:** solo canale eμ per controllare l'aumentato fondo da DY a causa del pileup doppio rispetto al 2011



Analisi esclusiva in bin di molteplicità dei jet

$$m_T = \sqrt{(E_T^{\ell\ell} + E_T^{\text{miss}})^2 - (\mathbf{P}_T^{\ell\ell} + \mathbf{P}_T^{\text{miss}})^2}$$



0-jet: massima purezza (no top BG), uso di MET, corr. angolari
 ≥ 1-jet: fondo da top dominante, uso di b-jet veto

	Signal	Total Bkg.	Obs.
H + 0-jet	20 ± 4	142 ± 16	185
H + 1-jet	5 ± 2	26 ± 6	38
H + 2-jet	0.34 ± 0.07	0.35 ± 0.18	0

Tutta la statistica 2011+2012

gamma-gamma

ZZ

WW

Anatomia di una scoperta

- **Come si fa ad affermare di avere osservato qualcosa?**
- **Cosa si misura?**
- **Bisogna verificare che si tratti veramente del bosone di Higgs...**
- **125 GeV: un valore fortunato per la massa, abbiamo molti canali accessibili e abbiamo quindi molti strumenti per misure e verifiche**
- **Accoppiamenti:**
 - **Oltre ai bosoni vediamo gli accoppiamenti con i fermioni?**
 - **Le relazioni tra i diversi accoppiamenti sono quelle corrette?**
- **Spin?**
- **CP?**

Talk di M.Antonelli al Cairo (Marzo 2014)

<http://cds.cern.ch/record/1668618/files/ATL-PHYS-SLIDE-2014-110.pdf>

Il Bosone di Higgs a Roma Tre

Canale di decadimento H in WW - Run I

- **ggF e VBF:**
 - **Biagio Di Micco editor del paper HWW in preparazione: combinazione couplings ggF+VBF+VH e limite di esclusione ad alta massa (fino a 1 TeV)**
 - **Attivita' Roma Tre su**
 - **Incertezze teoriche**
 - **Combinazione con VH**
- **VH(WW) (Michela Biglietti analysis contact):**
 - **paper in preparazione (Editors Michela Biglietti e Domizia Orestano)**
 - **Attivita' Roma Tre:**
 - **Canale Inulnulu, in particolare MVA**
 - **Con 1 tau adronico (tempi piu' lunghi)**

Canale di decadimento H in WW - Run I

- **ggF e VBF:**
 - **Biagio Di Micco editor del paper HWW in preparazione: combinazione couplings ggF+VBF+VH e limite di esclusione ad alta massa (fino a 1 TeV)**
 - **Attivita' Roma Tre su**
 - **Incertezze teoriche**
 - **Combinazione con VH**
- **VH(WW) (Michela Biglietti analysis contact):**
 - **paper in preparazione (Editors Michela Biglietti e Domizia Orestano)**
 - **Attivita' Roma Tre:**
 - **Canale Inulnulu, in particolare MVA**
 - **Con 1 tau adronico (tempi piu' lunghi)**

Canale di decadimento H in WW - Run I

- **Persone coinvolte**

- **Toni Baroncelli: analisi VH in 3 leptoni – background normalisation**
- **Michela Biglietti: VH analysis contact**
- **Valerio Bortolotto: (PhD concluso) analisi statistica VH**
- **Biagio Di Micco: ggF, VBF e combinazione con VH**
- **Ada Farilla: analisi VH in 3 leptoni - MVA**
- **Domizia Orestano: analisi VH in generale**
- **Fabrizio Petrucci: analisi VH con tau finale**
- **Daniele Puddu: (secondo anno PhD) analisi VH in 3 leptoni – MVA**
- **Cecilia Taccini: (Assegnista) analisi statistica VH in 3 leptoni e combinazione con ggF, VBF**
- **Monica Trovatelli: (terzo anno PhD) produzioni analisi VH, analisi VH con tau finale**

Canale di decadimento H in WW - Run 2

- **ggF e VBF:**
 - Interesse soprattutto su VBF e distribuzioni differenziali
- **VH(WW)**
 - Intenzione di proseguire con questo canale che dovrebbe arrivare all'osservazione!
 - Contatti con VVV Standard Model: scale di tempi diverse per Run I ma forse possibile integrazione in Run II?

**Da Aprile:
Giuseppe Salamanna @ Roma Tre**



ttH->lep@Roma3