

Università degli Studi di Napoli "Federico II"



# Studio del processo $H \rightarrow ZZ \rightarrow q\bar{q}l\bar{l}$ nell'esperimento ATLAS ad LHC

---

Lorena Paolillo  
matr. 60/943

Relatori:

Prof. MariaGrazia Alviggi

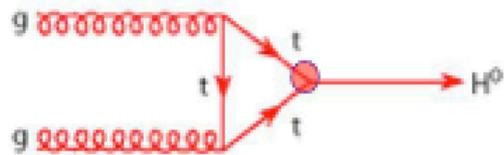
Dott. Francesco Conventi

# *Sommario:*

- *Il bosone di Higgs nel Modello Standard*
- *LHC e l'apparato sperimentale ATLAS*
- *La ricostruzione degli eventi*
- *Analisi del canale di decadimento  $H \rightarrow ZZ \rightarrow qqll$*
- *Risultati e conclusioni*

# Meccanismi di produzione del bosone di Higgs ad LHC

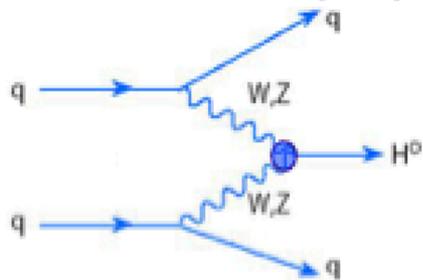
## gluon gluon Fusion (ggF)



90% →

Meccanismo dominante alle energie del LHC

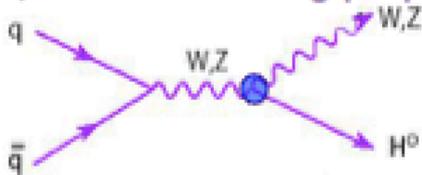
## Vector Boson Fusion (VBF)



7% →

Stato finale con 2 jets aggiuntivi

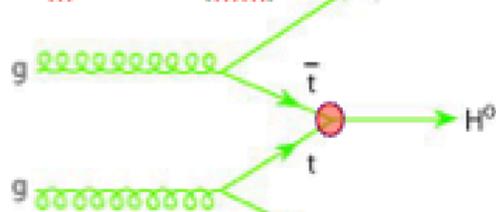
## W,Z bremsstrahlung (VH)



2.5% →

Higgs + W,Z → leptons consente una riduzione dei processi di fondo

## tt fusion (ttH)

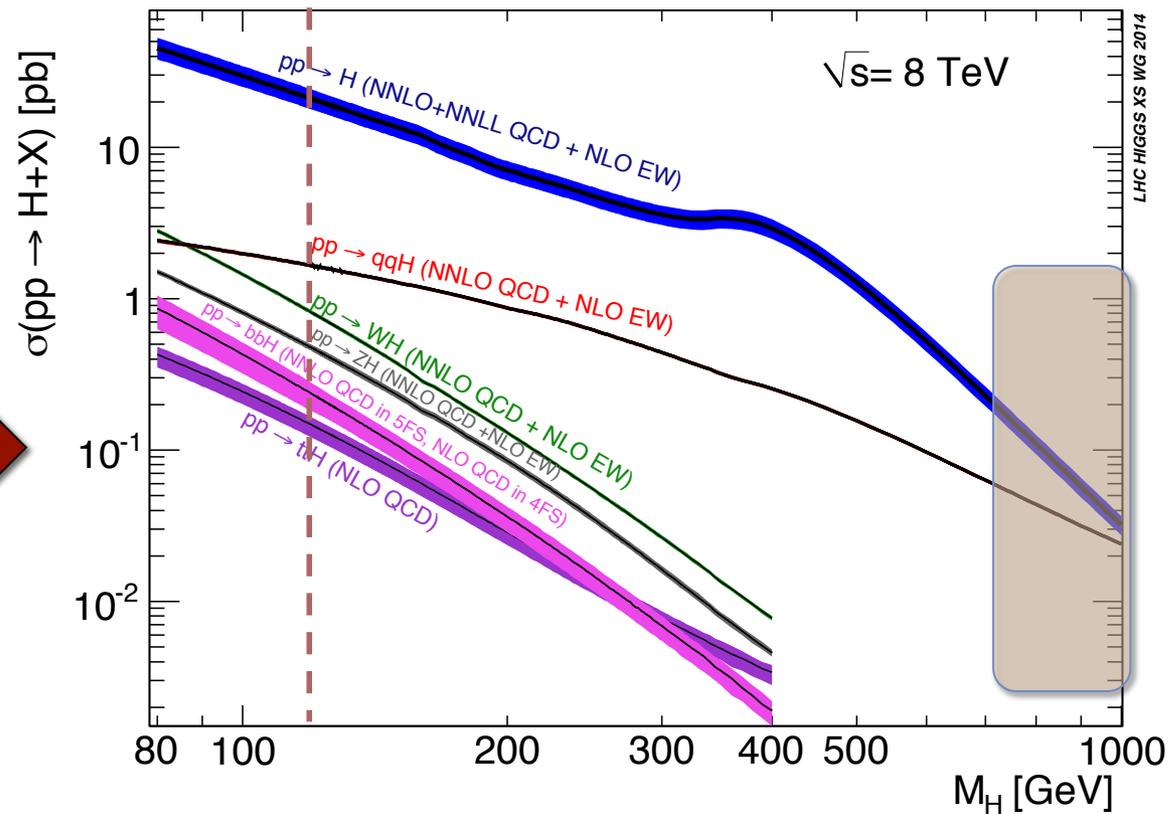
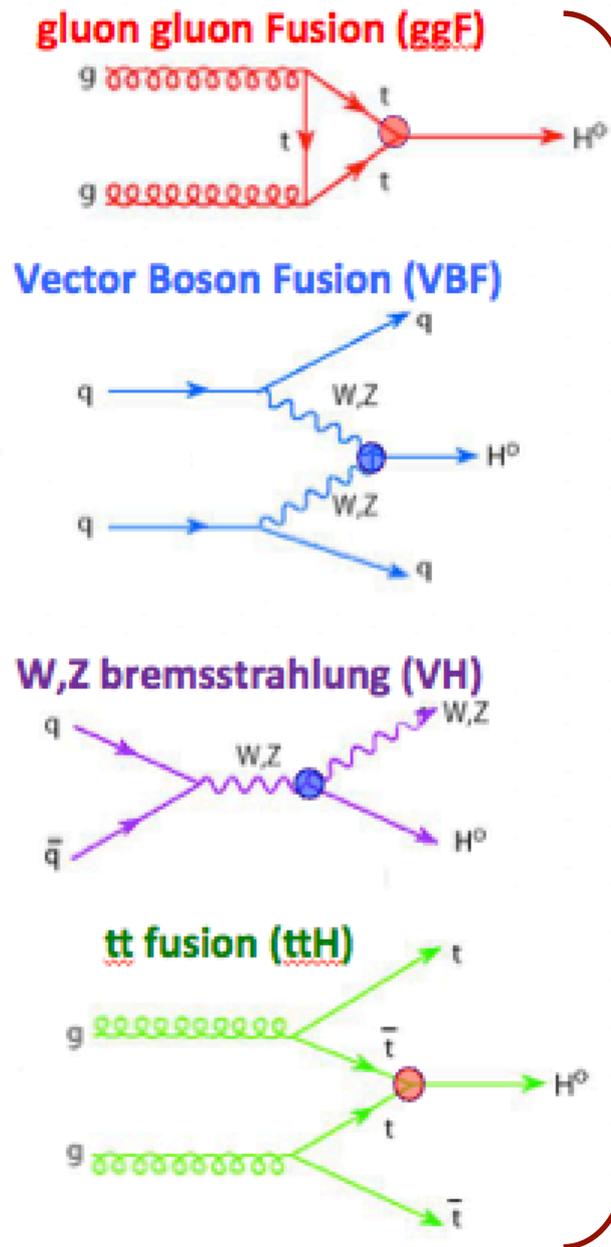


<1% →

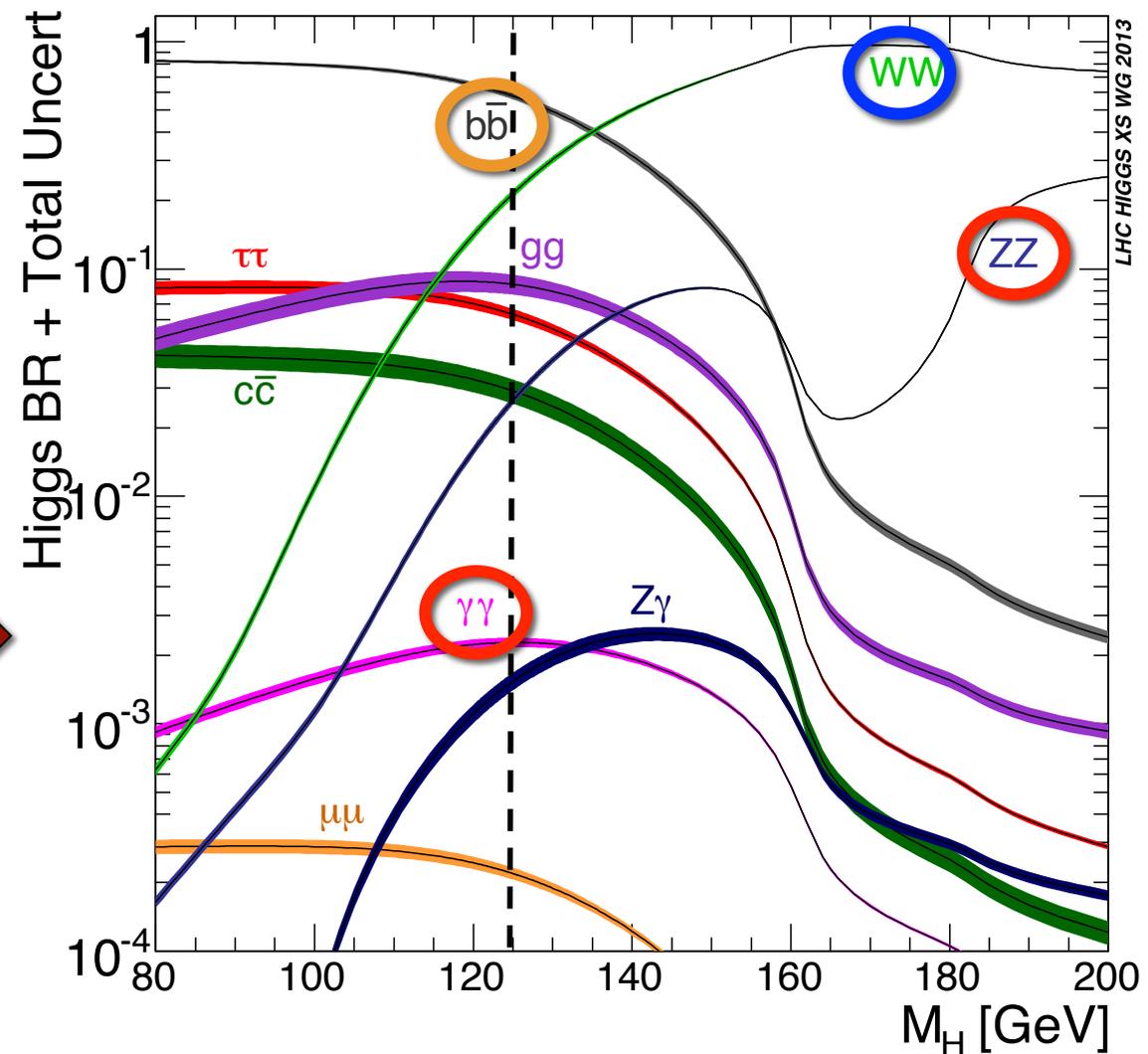
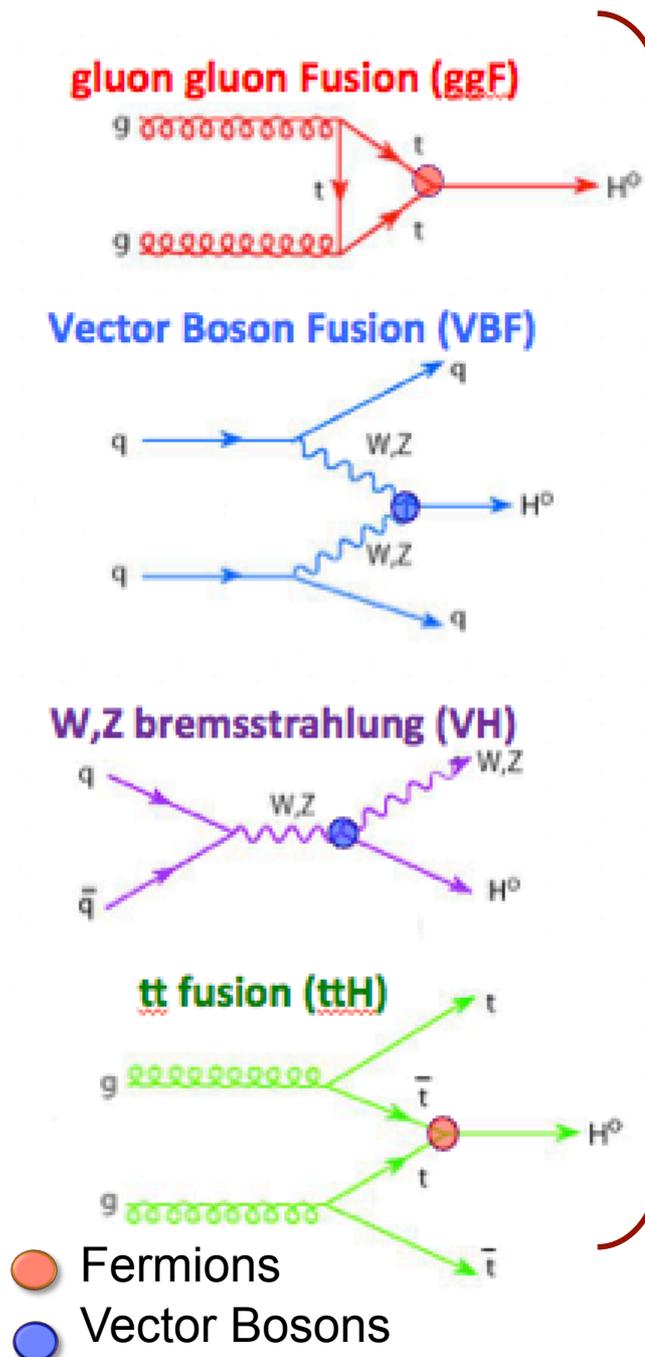
Stato finale caratterizzato da 2 b-jets + leptoni.

-  Fermions
-  Vector Bosons

# Meccanismi di produzione del bosone di Higgs ad LHC



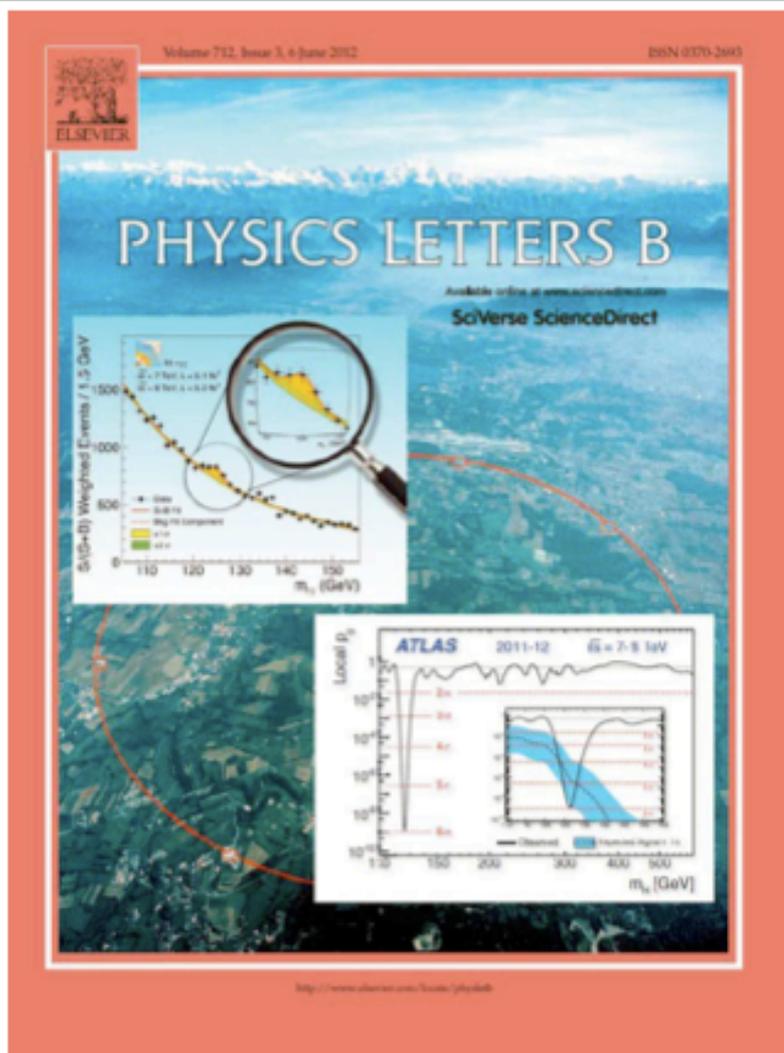
# Decadimenti del bosone di Higgs ad LHC



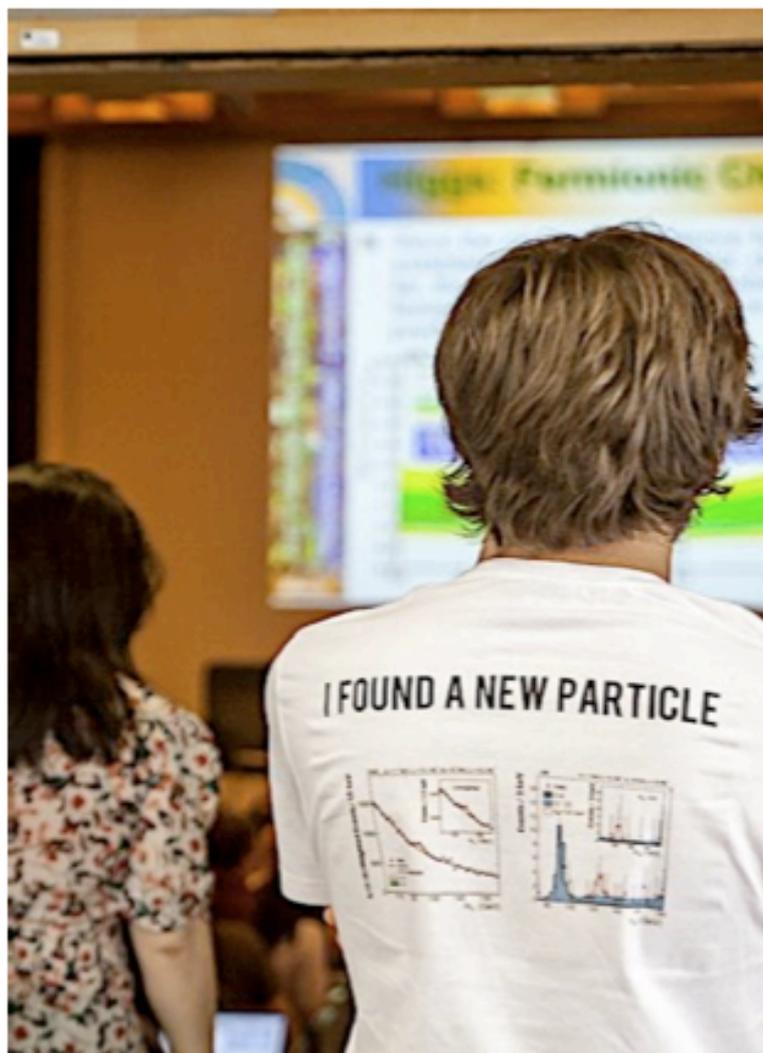
Frazioni di decadimento per  $m_H < 200$  GeV

Golden channel per la scoperta: **ZZ(4l)** and  **$\gamma\gamma$**

# 4/7/2012: Osservazione di una nuova particella



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

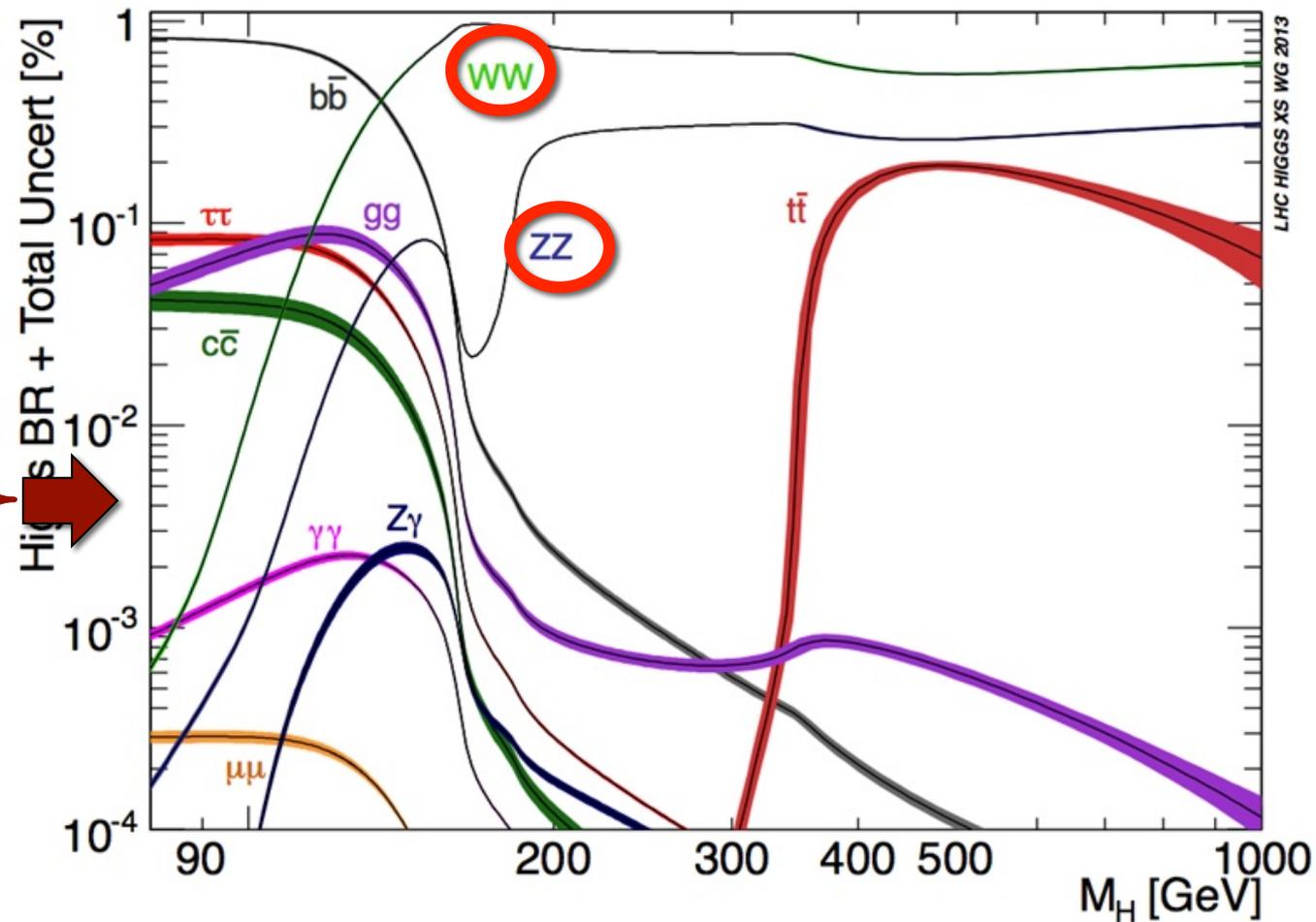
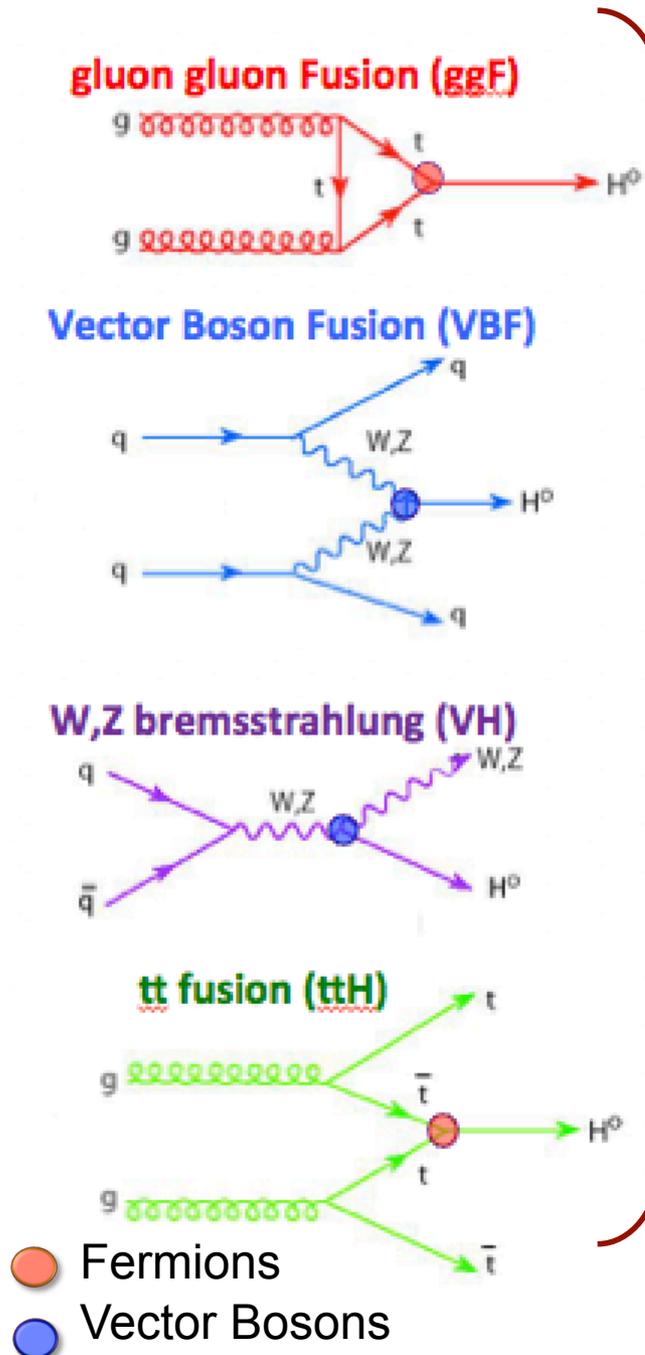


Phys. Lett. B 716 (2012) 30-61 (CMS)

# Higgs oltre il Modello Standard

- La consistenza della nuova particella osservata ad LHC con massa  $\sim 125$  GeV con il bosone di Higgs e' stata rafforzata dalle misure sulle proprieta' come spin, CP ed accoppiamenti
- Esistono numerosi modelli in estensione del Modello Standard che prevedono un settore di Higgs piu' complesso e che sono compatibili con le osservazioni sperimentali ad LHC (SUSY, modelli 2HDM, decadimenti esotici in particelle invisibili, etc..)
- Il più semplice tra questi e' il modello EWS che prevede l'esistenza di un secondo bosone "H" ( singoletto elettrodebole) di massa superiore al bosone "h" e stesse modalita' di decadimento del bosone di Higgs del MS.

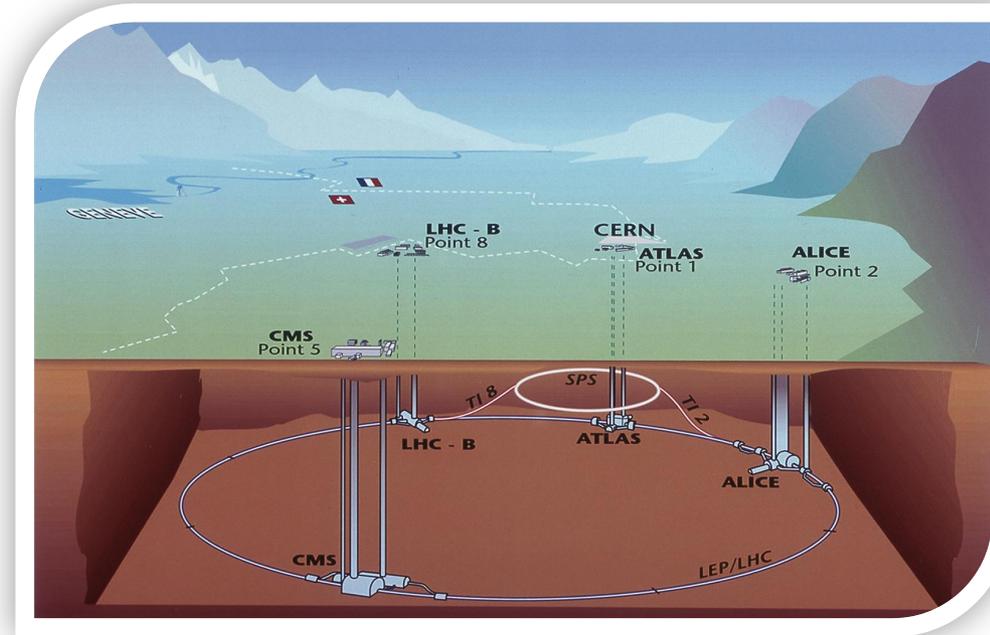
# Decadimenti del bosone di Higgs ad LHC



Frazioni di decadimento per  $m_H < 1000$  GeV

# LHC: Large Hadron Collider

- 27 km di circonferenza
- 100 m di profondità sotto il confine Francia – Svizzera
- Collisioni protone – protone in 4 diversi punti, in corrispondenza di 4 esperimenti
- *Run I*: prima fase di funzionamento di LHC (2011 – 2012)
- *Run II*: seconda fase di funzionamento di LHC (2015 – 2018)

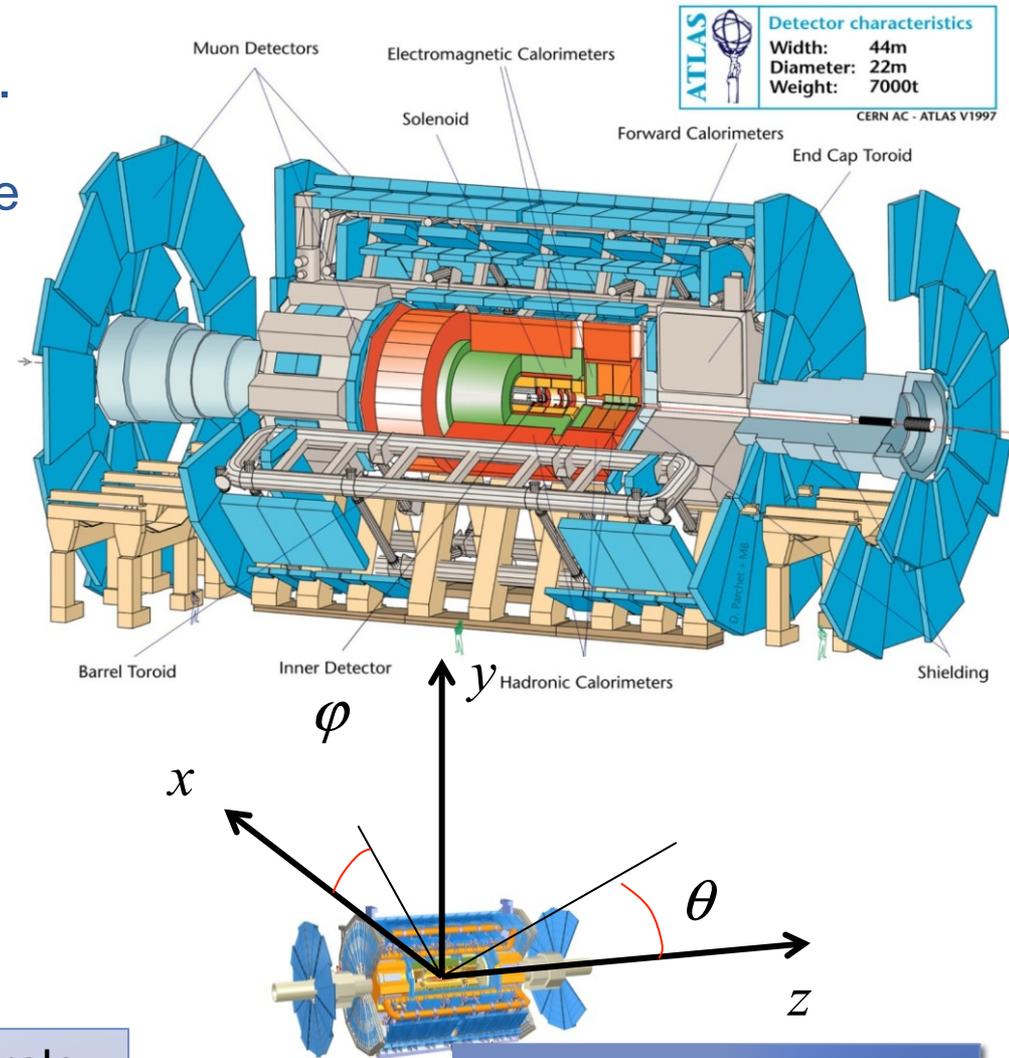


Caratteristiche	Run I		Run II	
	2011	2012	2015	2016-2018
Energia nel CM ( $\sqrt{s}$ )	7 TeV	8 TeV	13 TeV	14 TeV
Bunch-spacing	50 ns	50 ns	50 ns – 25 ns	25 ns
Luminosità istantanea	$10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$5-8 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
Luminosità integrata	$5.6 \text{ fb}^{-1}$	$23.3 \text{ fb}^{-1}$	Tra $2 \text{ fb}^{-1}$ e $5 \text{ fb}^{-1}$	$100 \text{ fb}^{-1}$

# ATLAS: A Toroidal LHC Apparatus

- **Rivelatore Interno** (*Inner Detector, ID*): misura l'impulso di tutte le particelle cariche.
- **Calorimetri**: misurano le energie trasportate dalle particelle
- **Spettrometro per muoni**: identifica e misura gli impulsi dei muoni.
- **Sistema di magneti**: genera campi magnetici che curvano la traiettoria delle particelle per permetterne l'identificazione.
- **Sistema di trigger**: seleziona online gli eventi da conservare, riducendo il rate dai 40 MHz iniziali a circa 200 Hz.

- *Barrel region*, BR ( $|\eta| < 1.05$ ), regione centrale
- *End-cap region*, ER ( $1.05 < |\eta| < 2.7$ ), regione più esterna



$$\eta = -\ln(\tan\theta/2)$$

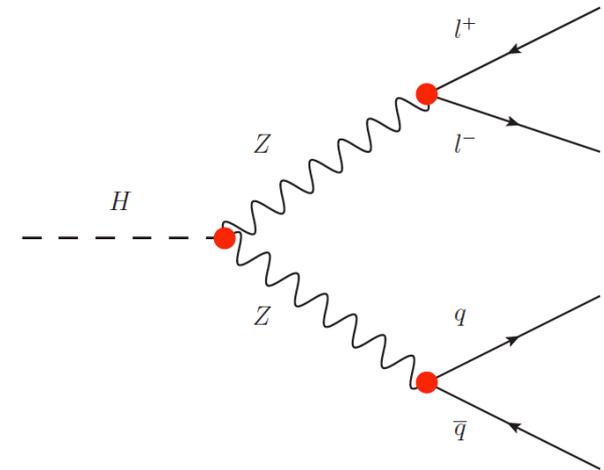
# Il canale $H \rightarrow ZZ \rightarrow llqq$

- Stato finale favorito da un alto valore  $\sigma \cdot BR$

$$\sigma(m_H=130 \text{ GeV}) \approx 85 \text{ fb}$$

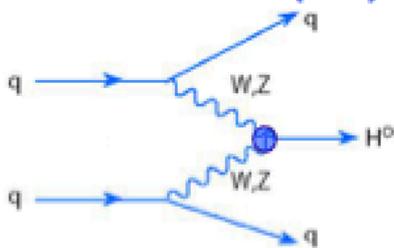
$$\sigma(m_H=600 \text{ GeV}) \approx 15 \text{ fb}$$

- Segnatura sperimentale con 2 leptoni di carica opposta e stesso sapore ( $ee, \mu\mu$ ) e 2 jets.
- I processi di fondo ( $Z$ +jets,  $tt$ ) comportano un basso rapporto segnale/fondo iniziale  $\approx 10^{-4}$

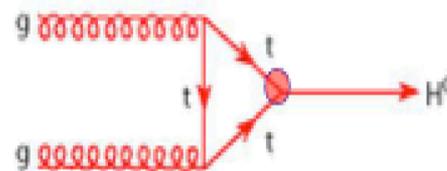


- L'analisi è suddivisa in sottocanali per massimizzare la significatività statistica :

## Vector Boson Fusion (VBF)



## gluon gluon Fusion (ggF)



0,1 bjets stato finale  
(**untagged channel**)

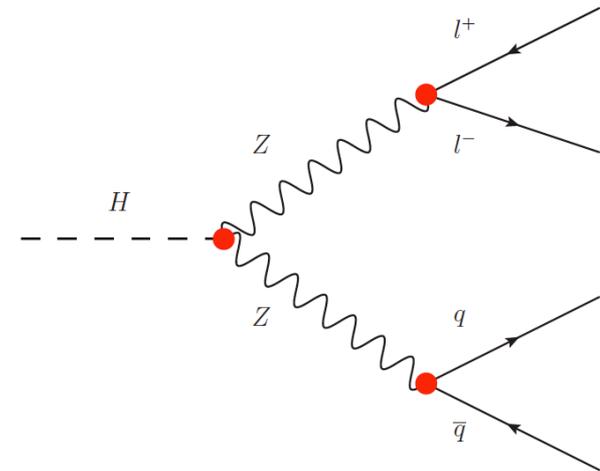
2 bjets stato finale  
(**tagged channel**)

1 jet stato finale  
(**merged channel**)

# Il canale $H \rightarrow ZZ \rightarrow llqq$

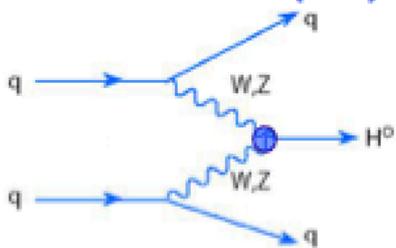
## Processi di fondo:

- $Z(ll)+jets$  (fondo dominante, soprattutto canale UNTAGGED)
- fondo da coppie  $t\bar{t}$  (importante nel canale con 2-b jets tagged)
- dibosoni ( $WW, ZZ$ , studio da MC + dati)
- multijets da processi QCD (stima data driven)
- **I processi di fondo ( $Z+jets, t\bar{t}$ ) comportano un basso rapporto segnale/fondo iniziale  $\approx 10^{-4}$**

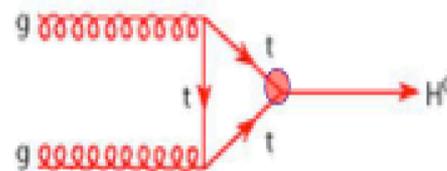


Processo	Generatore MC	$\sigma \times BR$
Z + jets	Sherpa 1.4.1	14.5 nb
$t\bar{t}$	POWHEG	252.9 pb
WW	POWHEG	52.4 pb
ZZ	POWHEG	3.2 pb

## Vector Boson Fusion (VBF)



## gluon gluon Fusion (ggF)



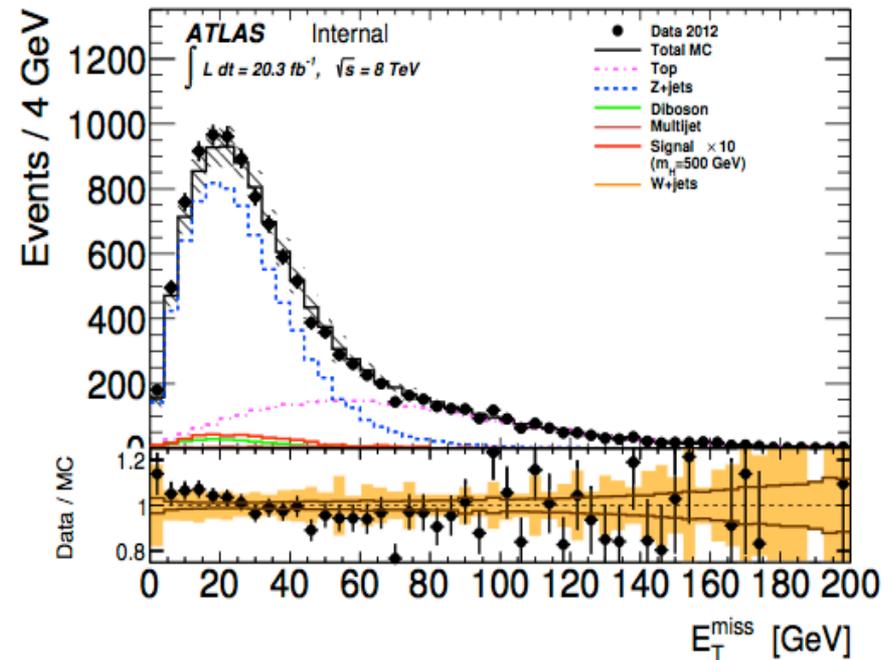
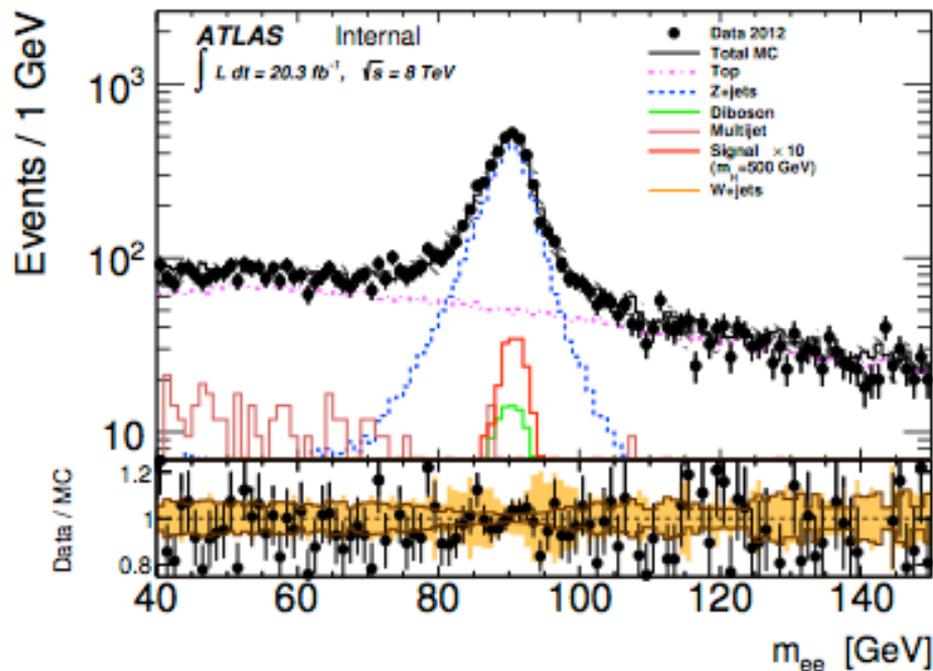
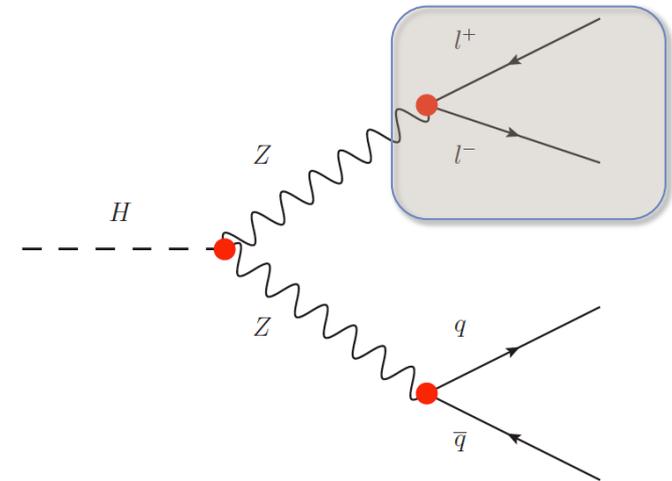
0,1 bjets stato finale  
(untagged channel)

2 bjets stato finale  
(tagged channel)

1 jet stato finale  
(merged channel)

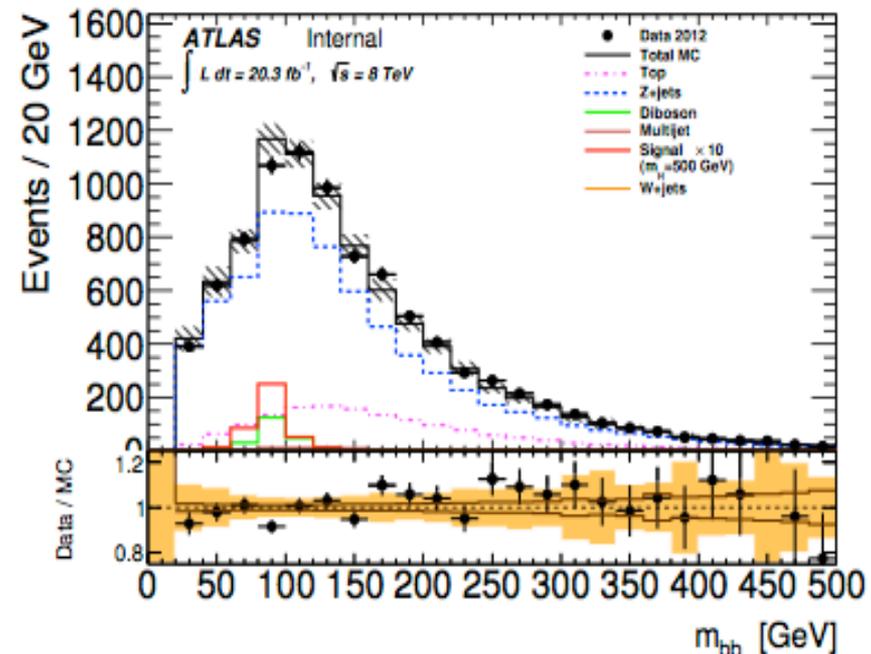
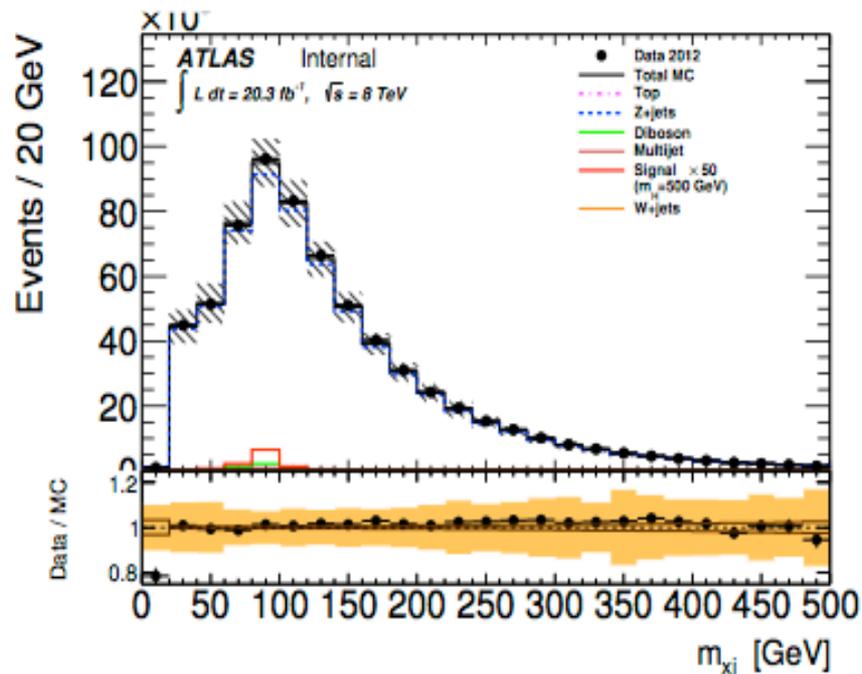
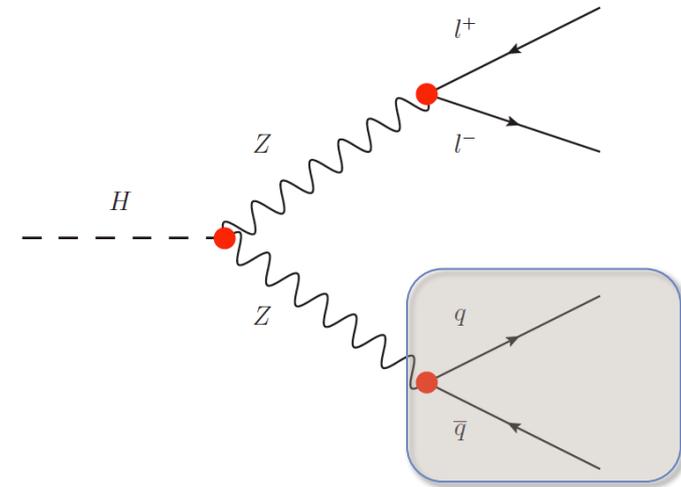
# La selezione degli eventi nel canale $H \rightarrow ZZ \rightarrow llqq$

- **Trigger:** singolo leptone ( $e, \mu$ ) con soglia  $p_T > 25$  GeV
- 2 leptoni di stesso sapore e carica opposta ( $ee, \mu\mu$ )
- Massa invariante del sistema dileptonico compatibile con la massa del bosone Z:  $83 < m_{ll} < 99$  GeV (Z)
- $ET_{\text{MISS}} < 60$  GeV (riduce il contributo da tt canale tagged)



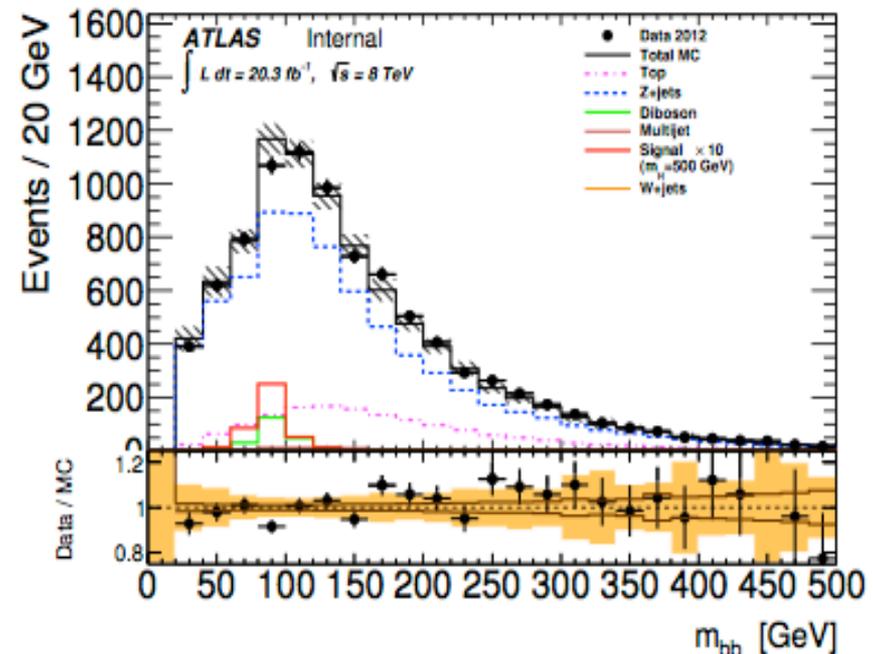
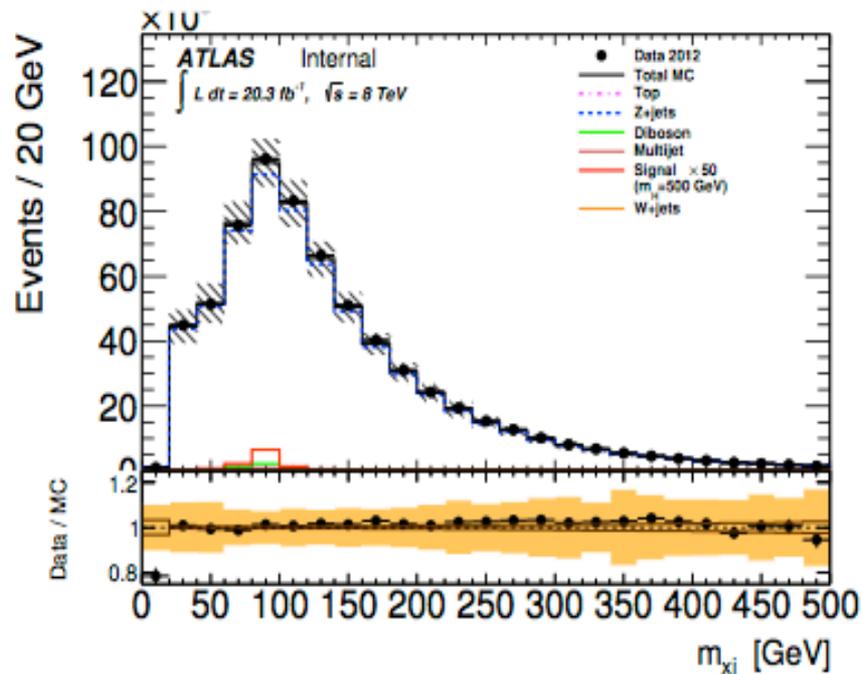
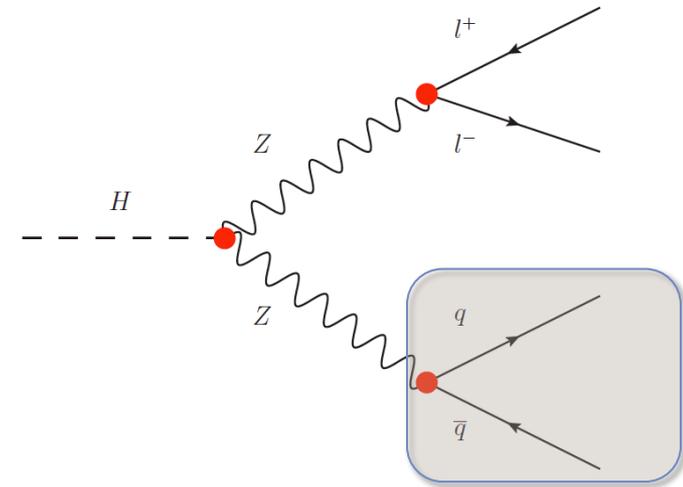
# La selezione degli eventi nel canale $H \rightarrow ZZ \rightarrow llqq$

- **Trigger:** singolo leptone ( $e, \mu$ ) con soglia  $p_T > 25$  GeV
- Almeno 2 jets con  $p_T > 20$  GeV
- Il sistema di-jets dato dalla coppia di jets con piu' alto  $p_T$
- Massa invariante del sistema di-jets compatibile con la massa del bosone Z:  $70 < m_{jj} < 105$  GeV (Z)



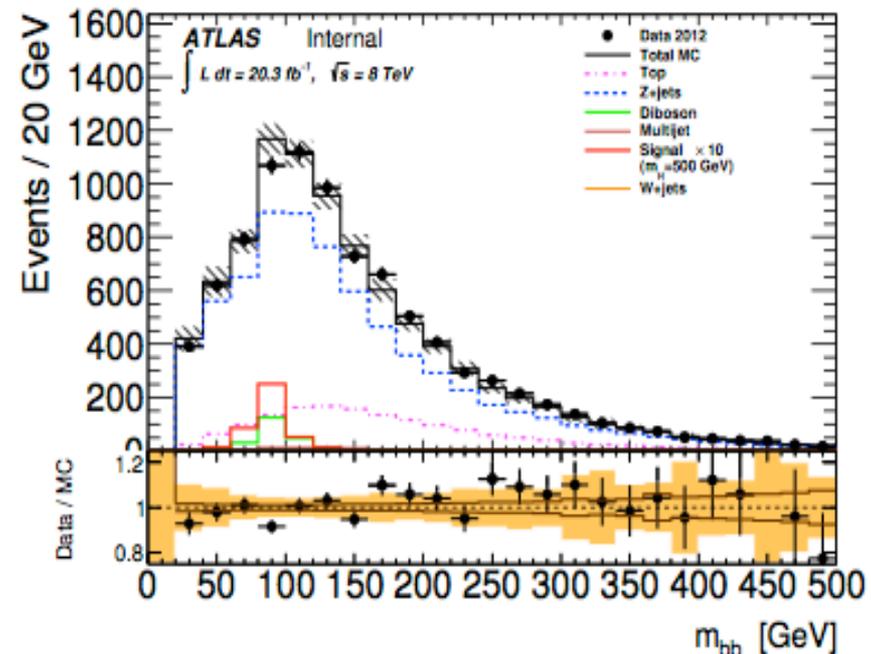
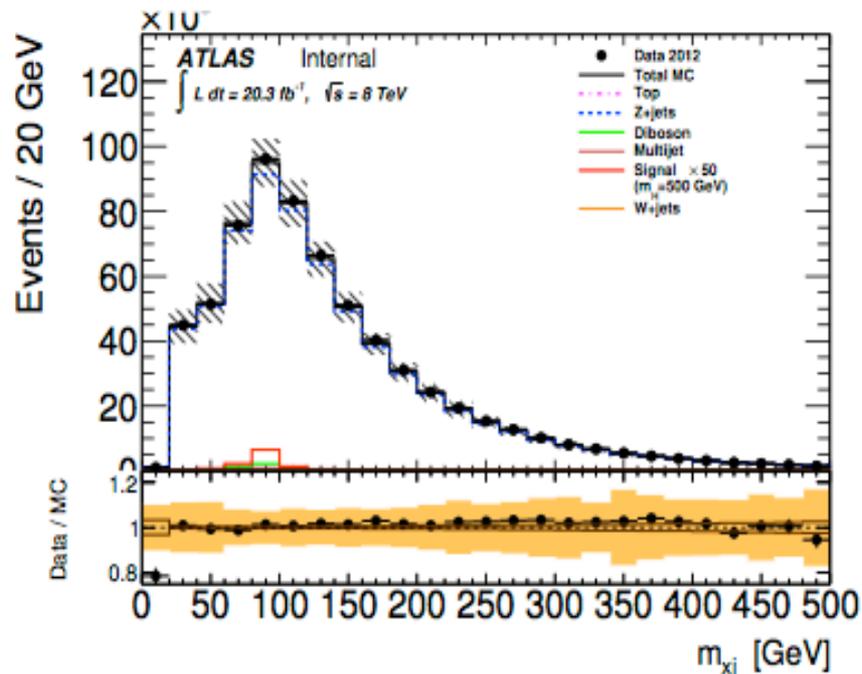
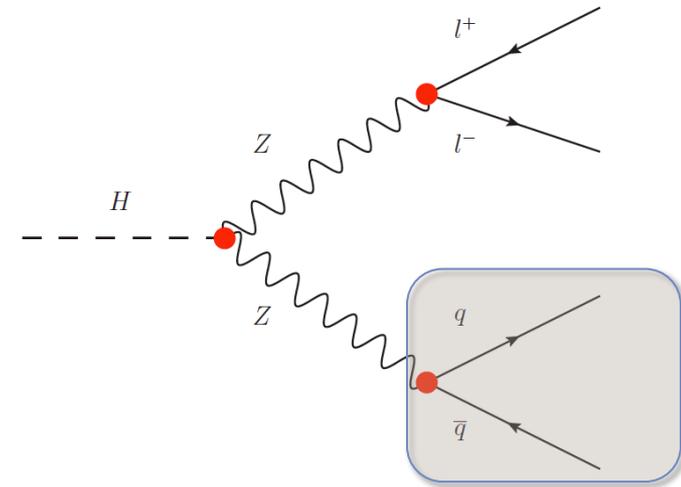
# La selezione degli eventi nel canale $H \rightarrow ZZ \rightarrow llqq$

- **Trigger:** singolo leptone ( $e, \mu$ ) con soglia  $p_T > 25$  GeV
- Almeno 2 jets con  $p_T > 20$  GeV
- Il sistema di-jets dato dalla coppia di jets con piu' alto  $p_T$
- Massa invariante del sistema di-jets compatibile con la massa del bosone Z:  $70 < m_{jj} < 105$  GeV (Z)



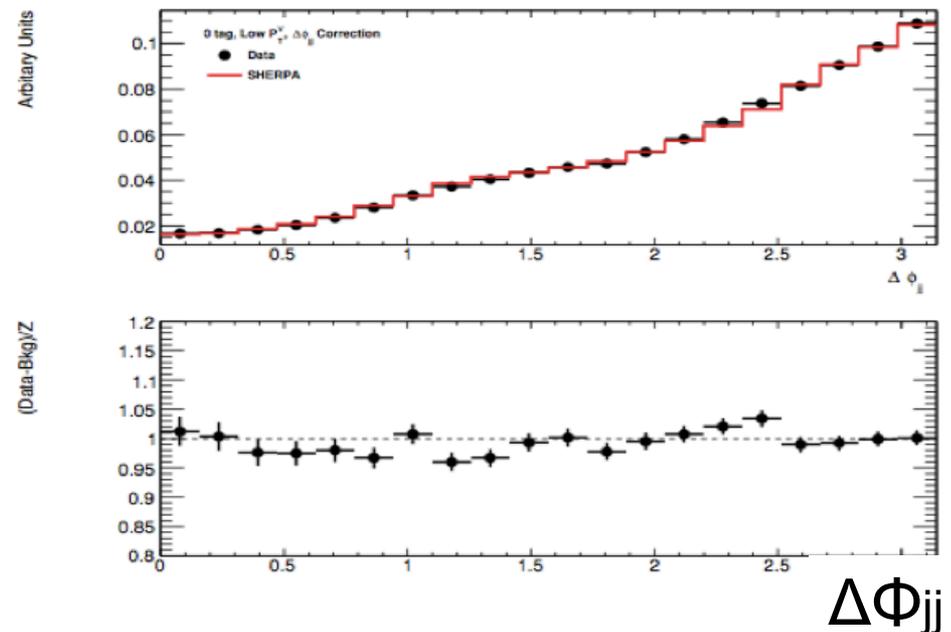
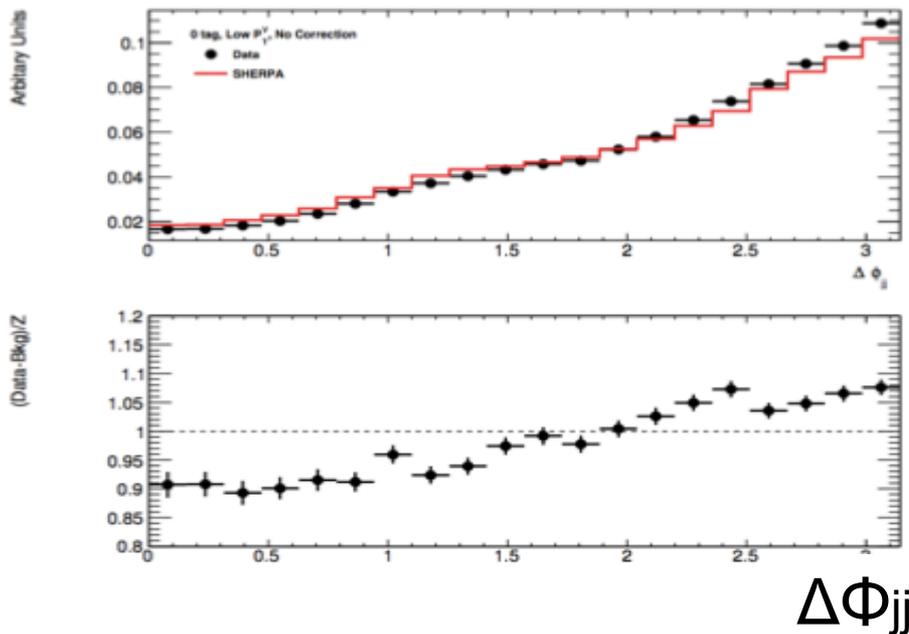
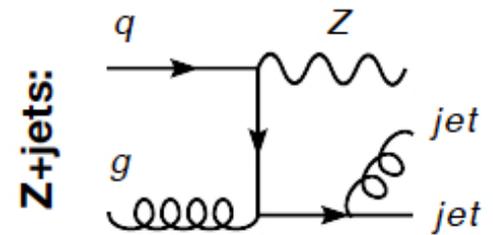
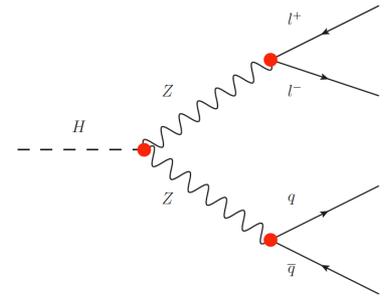
# La selezione degli eventi nel canale $H \rightarrow ZZ \rightarrow llqq$

- **Trigger:** singolo leptone ( $e, \mu$ ) con soglia  $p_T > 25$  GeV
- Almeno 2 jets con  $p_T > 20$  GeV
- Il sistema di-jets dato dalla coppia di jets con piu' alto  $p_T$
- Massa invariante del sistema di-jets compatibile con la massa del bosone Z:  $70 < m_{jj} < 105$  GeV (Z)



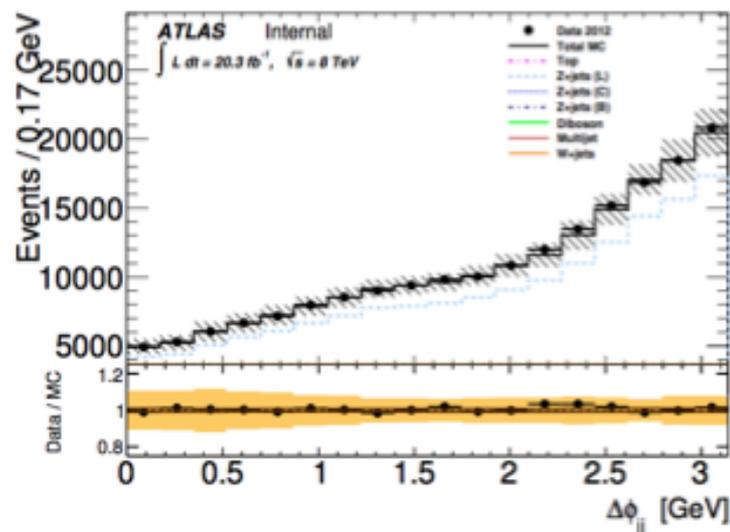
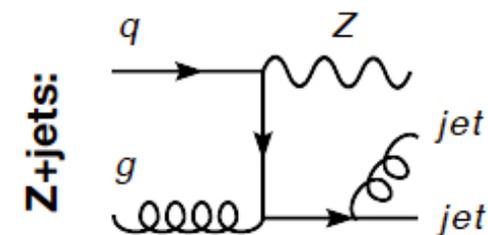
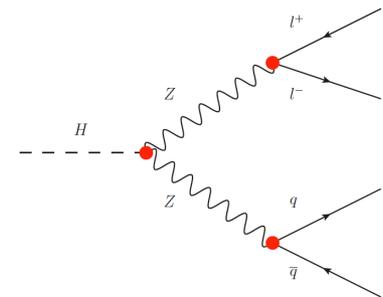
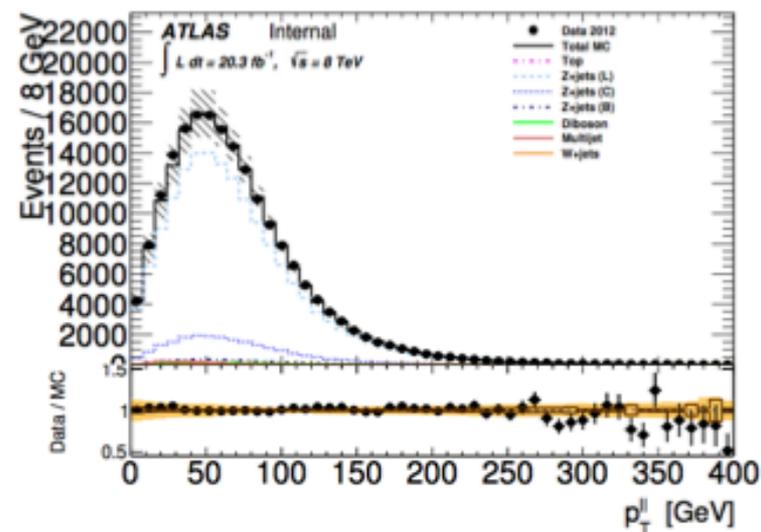
# H → ZZ → llqq: studio dei processi di fondo

- Utilizzo combinato delle simulazioni MC e dei dati sperimentali
- Definizione di Control Region (CR) per lo studio dei fondi a partire dai dati.
- CR(Z+jets):  $50 < m_{jj} < 70$ ,  $105 < m_{jj} < 150$  GeV
- Utilizzate per fissare il fondo Z+jets e porre correzioni ad alcune osservabili utilizzate nell'analisi e non descritte adeguatamente dal MC:  $\Delta\Phi_{jj}$  e  $p_{T}(l)$



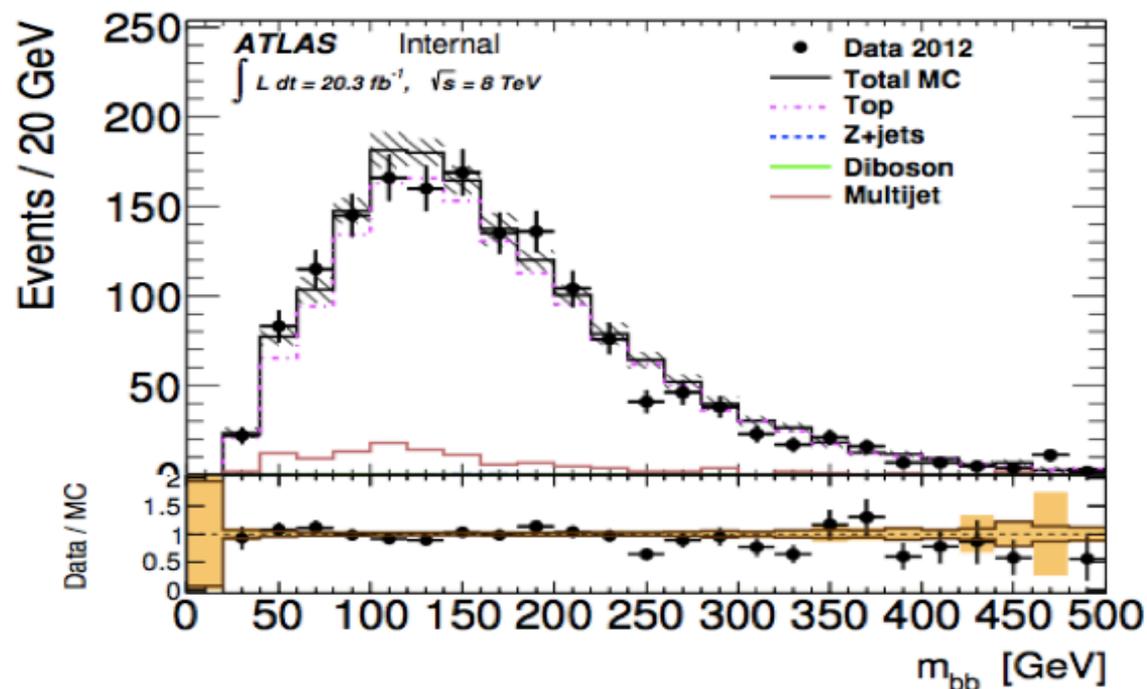
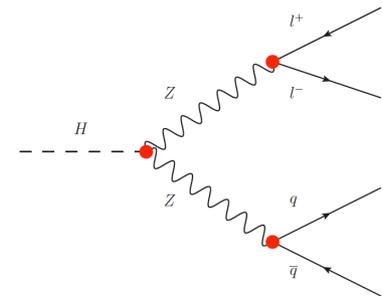
# $H \rightarrow ZZ \rightarrow llqq$ : studio dei processi di fondo

- Utilizzo combinato delle simulazioni MC e dei dati sperimentali
- Definizione di Control Region (CR) per lo studio dei fondi a partire dai dati.
- CR(Z+jets):  $50 < m_{jj} < 70$ ,  $105 < m_{jj} < 150$  GeV
- Utilizzate per fissare il fondo Z+jets e porre correzioni ad alcune osservabili utilizzate nell'analisi e non descritte adeguatamente dal MC:  $\Delta\Phi_{jj}$  e  $p_T(l)$


 $\Delta\Phi_{jj}$ 

 $\Delta\Phi_{jj}$

# $H \rightarrow ZZ \rightarrow llqq$ : studio dei processi di fondo

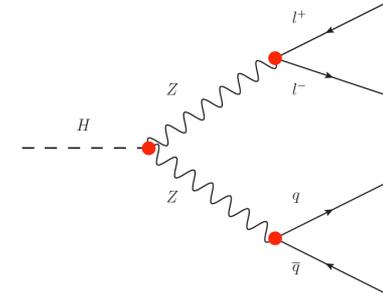
- Utilizzo combinato delle simulazioni MC e dei dati sperimentali
- Definizione di Control Region (CR) per lo studio dei fondi a partire dai dati.
- CR(tt): coppia di leptoni ( $e\mu$ ) +  $ET_{\text{miss}} > 60 \text{ GeV}$



Buon accordo dati/MC nella shape delle distribuzioni

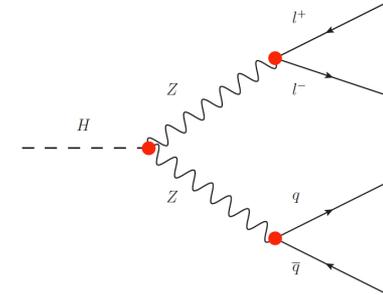
La correzione è applicata solo alla normalizzazione del Monte Carlo

# $H \rightarrow ZZ \rightarrow \ell\ell q\bar{q}$ : Distribuzioni finali

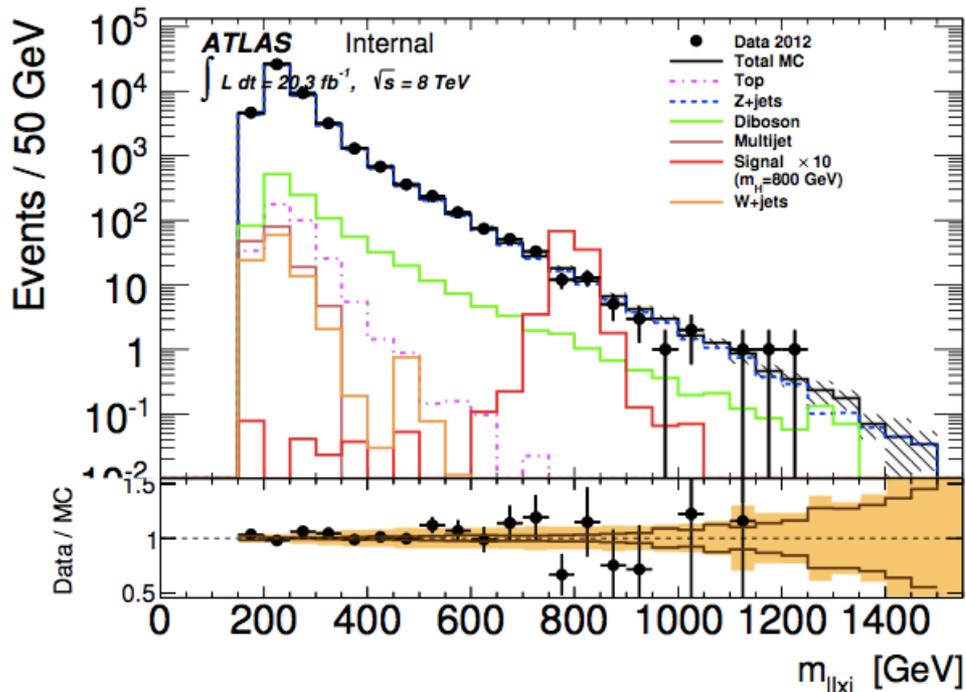


Component	Untagged		Subchannel Tagged	
$Z + jj$	35 300	$\pm 700$	14	$\pm 3$
$Z + cj$	5 210	$\pm 730$	34	$\pm 3$
$Z + bj$	2 310	$\pm 110$	59	$\pm 6$
$Z + hf$	1 610	$\pm 130$	1 100	$\pm 30$
$Z + \text{jets}$	—		—	
$t\bar{t}/Wt$	332	$\pm 14$	200	$\pm 9$
Diboson	1 040	$\pm 70$	140	$\pm 10$
Multijet	152	$\pm 1$	9	$\pm 5$
$Zh \rightarrow \ell\ell b\bar{b}$	10.4	$\pm 0.3$	9	$\pm 4$
SM background	46 000	$\pm 210$	1 600	$\pm 30$
Data	46014		1542	
$H \rightarrow ZZ \rightarrow \ell^+ \ell^- q \bar{q}$ (1 pb)				
ggF ( $m_H = 400$ GeV)	251	$\pm 10$	71	$\pm 4$
VBF ( $m_H = 400$ GeV)	1.3	$\pm 4.5$	0.5	$\pm 2$
ggF ( $m_H = 900$ GeV)	202	$\pm 16$	70	$\pm 7$
VBF ( $m_H = 900$ GeV)	1.9	$\pm 4.2$	5	$\pm 10$

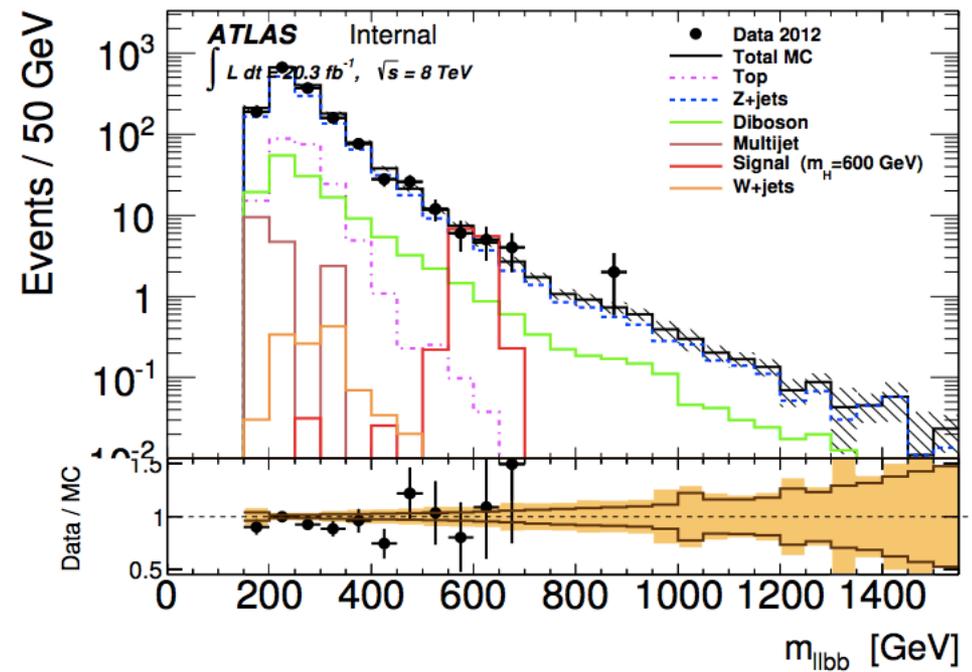
# $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ : Distribuzioni finali



Massa invariante sistema  $q\bar{q}l\bar{l}$



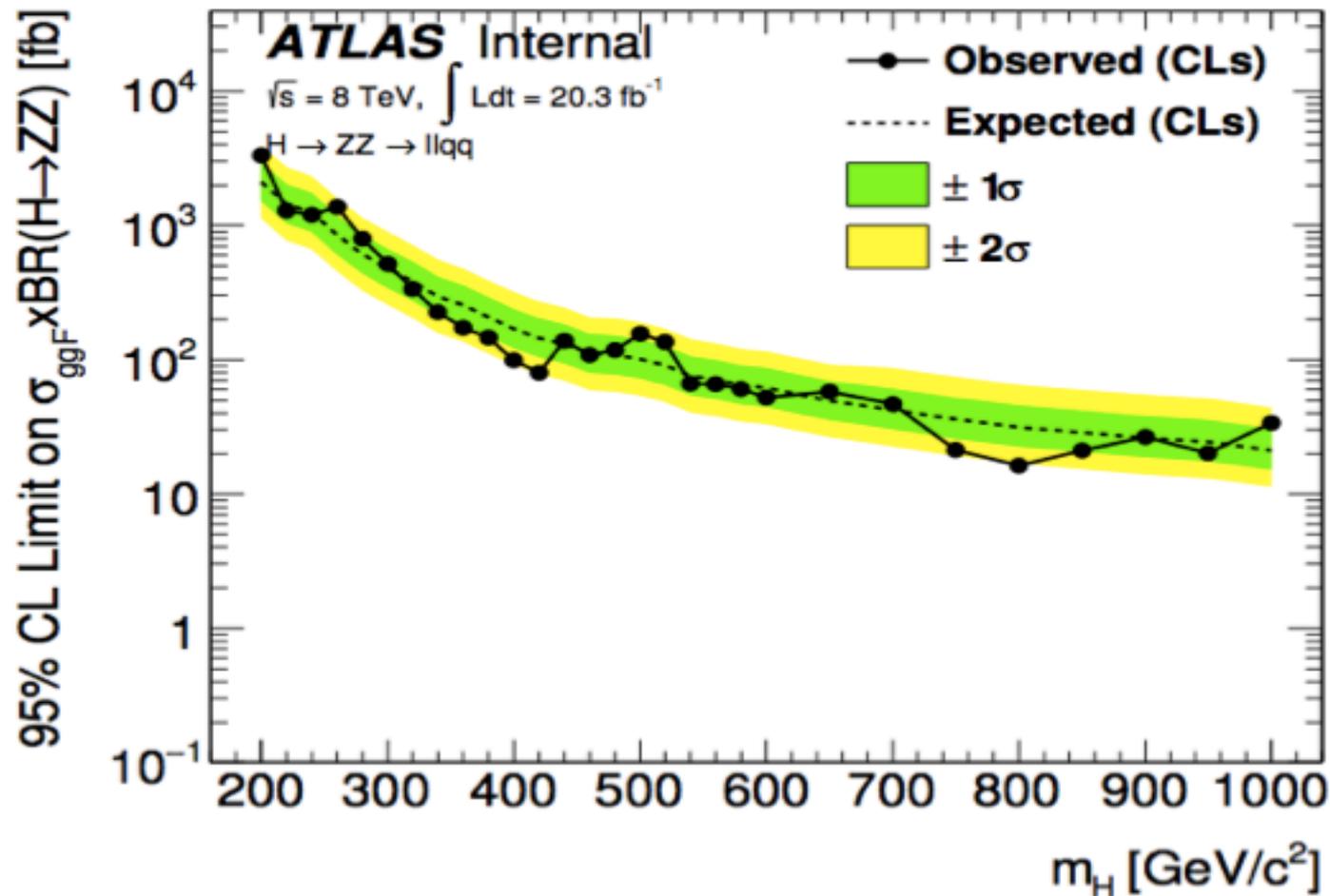
Canale untagged  
(0, 1 b-jet)



Canale tagged  
(2 b-jets)

# H → ZZ → llqq: Risultati

Limiti sulla sezione d'urto di produzione di un secondo bosone di Higgs ad alta massa



# Conclusioni:

- E' stato effettuato lo studio del canale di decadimento  $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4lqq$  nella regione di massa fino ad 1 TeV con i dati raccolti dall'apparato sperimentale ATLAS durante il Run-I del LHC ( $20 \text{ fb}^{-1}$ )
- Ricerca di bosone di Higgs ad alta massa ed interpretazione dei dati nel contesto del modello EWS
- Nella regione compresa tra i 200 e i 1000 GeV non si osservano eccessi significativi rispetto alle previsioni del Modello Standard e sono stati posti limiti al 95% del Confidence Level sul rate di produzione ( $\sigma \times \text{BR}$ ) di un bosone di Higgs aggiuntivo nel modello EWS.



# Ricostruzione $m_{lljj}$

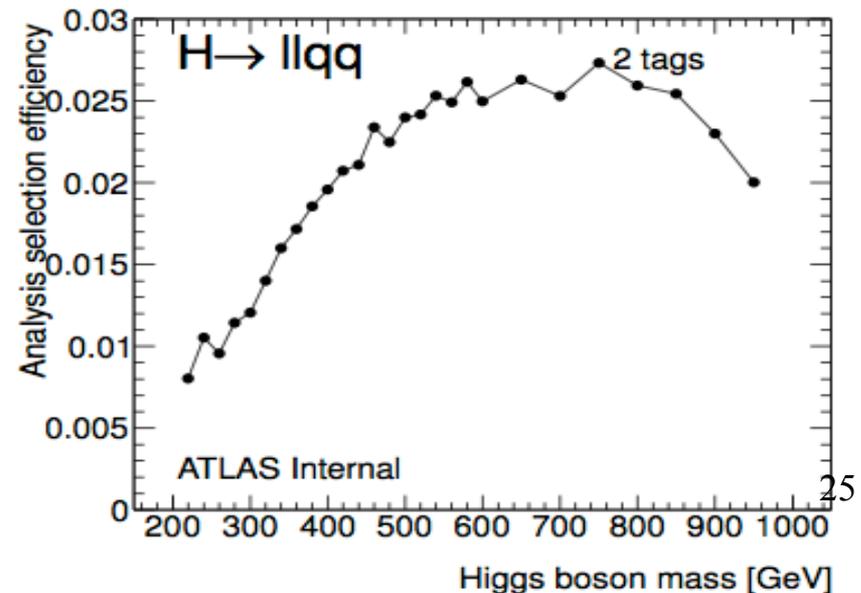
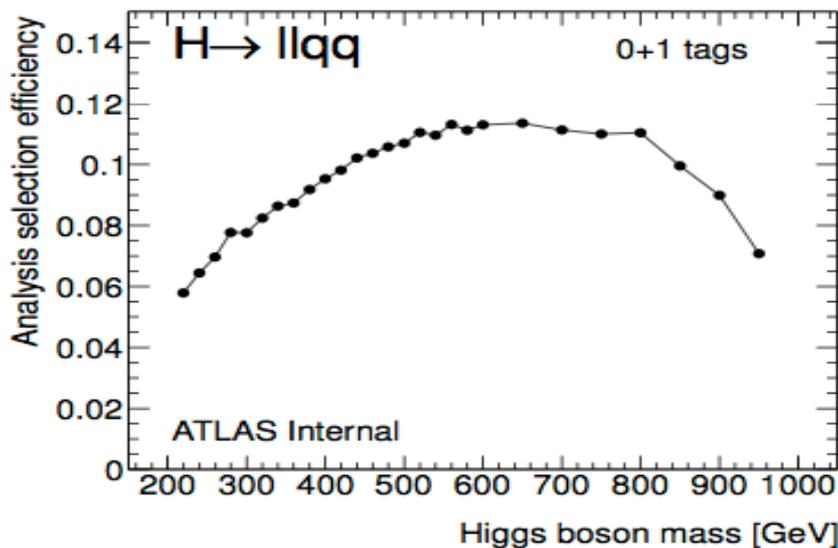
- Sugli eventi che passano la selezione standard vengono applicati i seguenti tagli ottimizzati:

$$p_T^j > 0.1 \times m_{lljj}(\text{untagged})$$

$$p_T^{ll} > \min[-54.04 + 0.455 \times m_{lljj}, 275](\text{untagged})$$

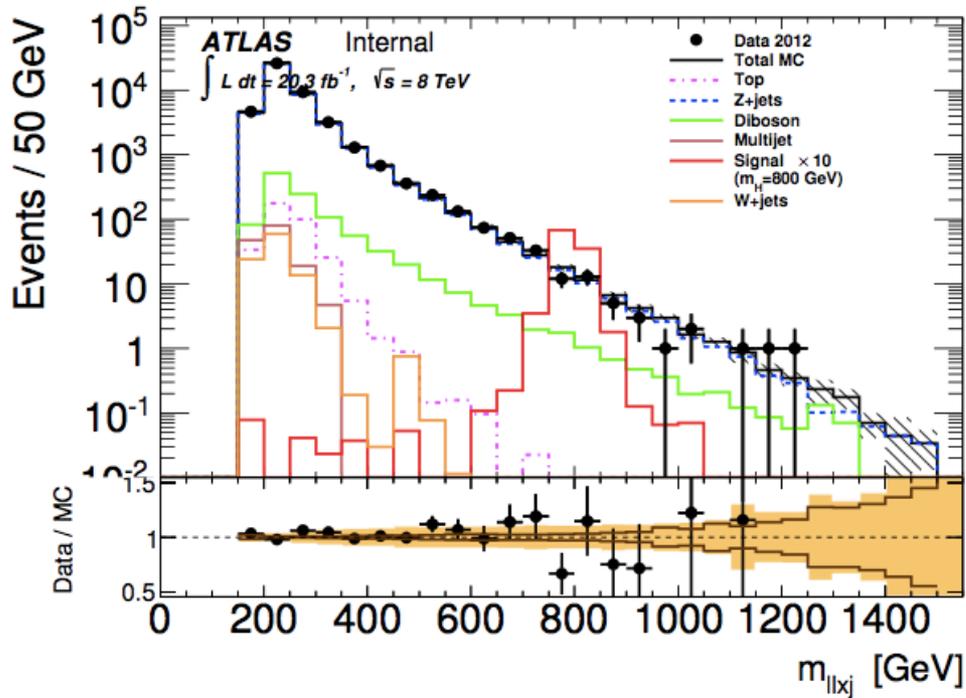
$$p_T^{ll} > \min[-79.18 + 0.439 \times m_{lljj}, 275](\text{tagged})$$

$$\Delta\phi_u < 3.22 \times 10^8 / m_{lljj}^{3.50} + 1(\text{untagged})$$

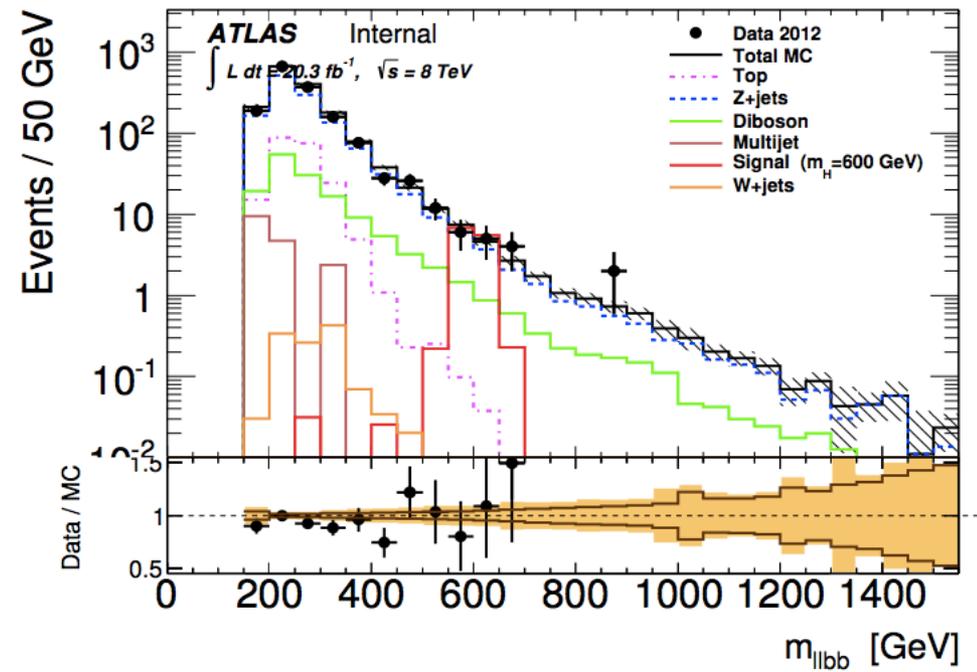


L. Paolillo

# Distribuzioni finali di $M_{lljj}$ (canale ggF resolved)



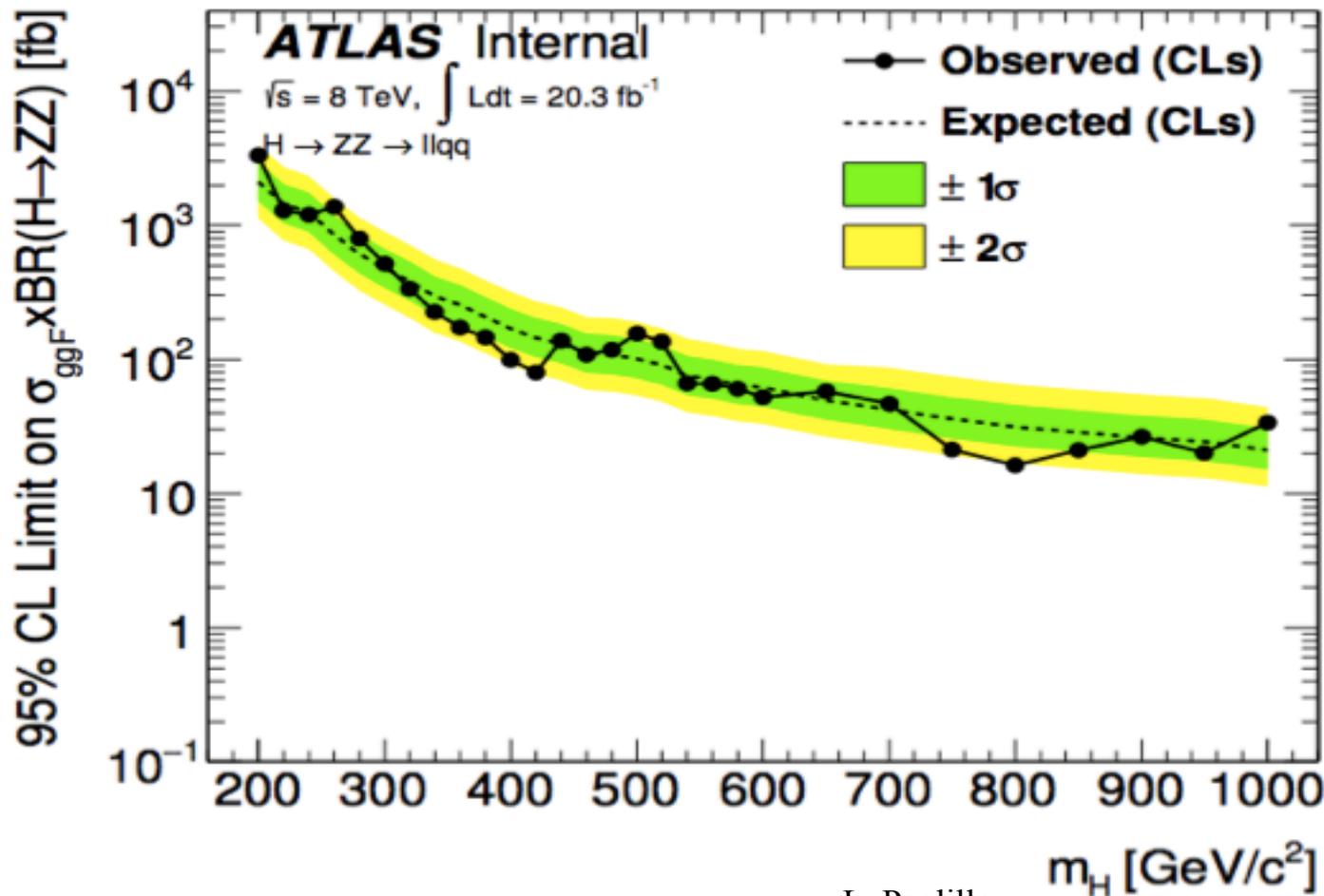
untagged



tagged

# Risultati:

Interpretazione dei dati per il modello EWS basata su un fit di likelihood



gf + VBF

# Ricostruzione degli eventi in ATLAS

Muoni (info: ID, Calo, MS)

- Stand Alone (SA): MS
- Combined (CB): ID+MS
- Segment Tagged (ST): ID+n.min in MS
- Calorimeter Tagged (Calotag): minima ionizzazione

Elettroni (info: ID, Calo)

Selezione

- Loose: eff. sel. 95%
- Medium: eff. sel. 88%
- Tight: eff. sel. 75%

# Jets

- Ricostruzione: Anti-K<sub>T</sub>
- Calibrazione: EM+JES
- B-tagging: MV1

## Selezione:

- Looser
- Loose
- Medium
- Tight

