

# Misura delle proprietà del bosone di Higgs nel canale di decadimento a due fotoni

Stefano Manzoni

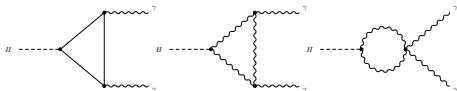
INFN Sezione di Milano

IFAE 2018, Università Milano Bicocca  
4 Aprile 2018

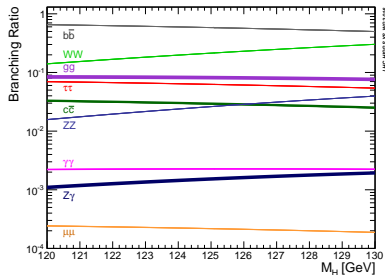
→ Focus: misure nel canale  $H \rightarrow \gamma\gamma$  con  $L = 36 \text{ fb}^{-1}$  a  $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$

- massa
- accoppiamenti
- sezione d'urto STXS, fiduciale e differenziale

- Il canale  $H \rightarrow \gamma\gamma$  è caratterizzato da  $BR = 2.27 \pm 0.07 \times 10^{-3}$  per  $m_H = 125.09 \text{ GeV}$



- Ottima risoluzione di  $m_{\gamma\gamma}$   $O(2\%)$  → segnale osservato come una risonanza su di un background che decresce regolarmente ( $\gamma\gamma$ ,  $\gamma + jet$ ,  $di-jet$ )
- Si possono misurare i principali modi di produzione ( $ggF$ ,  $VBF$ ,  $VH$ ,  $ttH$ )
- Si può misurare  $m_H$



## ● Selezione degli eventi

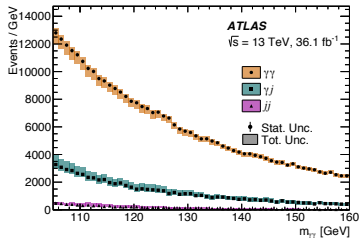
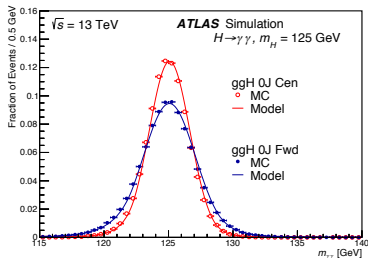
- trigger: due fotoni con  $p_T > 35(25)$  GeV
- due fotoni con  $p_T/m_{\gamma\gamma} > 0.35(0.25)$  e  $|\eta| < 1.37$  o  $1.52 < |\eta| < 2.37$
- due fotoni isolati e che passano la selezione di identificazione
- $105 \text{ GeV} < m_{\gamma\gamma} < 160 \text{ GeV}$

● 332030 eventi selezionati dai dati 2015-2016

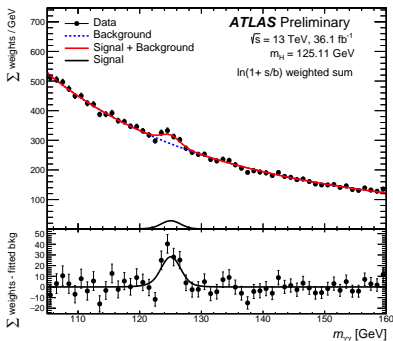
●  $A \times \varepsilon = 42\%$  (per Higgs SM)

● Misure estratte con un **fit di likelihood sulla distribuzione  $m_{\gamma\gamma}$**

- Modello di segnale: Gaussiana con code descritte da funzione di potenza
- Modello di fondo:
  - forma funzionale, parametri fissati nel fit sui dati
  - scelta per limitare potenziali bias nella stima del segnale



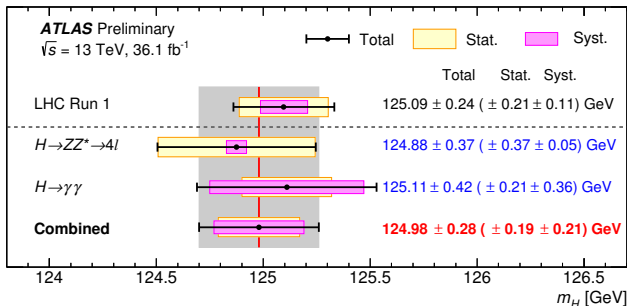
- $m_H$  importante parametro non fissato dallo SM
- Struttura dell'analisi ereditata dalla misura degli accoppiamenti
  - Modello di segnale parametrico rispetto a  $m_H$
  - Incertezze sistematiche principali date dalla scala energetica dei fotoni



$$m_H = 125.11 \pm 0.21 \text{ (stat.)} \pm 0.36 \text{ (syst) GeV}$$

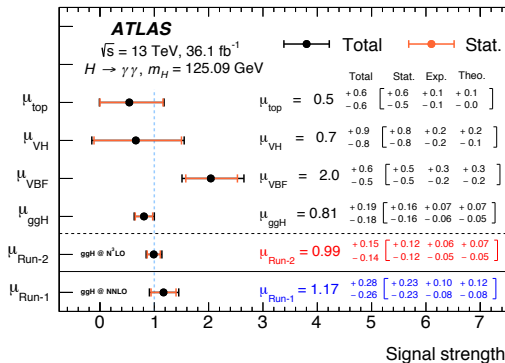
- Precisione limitata dalle incertezze sistematiche
- $m_H^{\gamma\gamma}_{\text{Run-1}} = 126.02 \pm 0.43 \text{ (stat.)} \pm 0.27 \text{ (syst) GeV}$

- $m_H^{ZZ^*} = 124.88 \pm 0.37$  (stat)  $\pm 0.05$  (syst) GeV
  - Maggiore incertezza statistica  $\rightarrow$  minore  $\sigma \times BR$
  - Minore incertezze sistematica  $\rightarrow$  misura dominata dallo stato finale in  $4\mu$ .
- Buona compatibilità tra le misure di massa nei canali  $\gamma\gamma$  e  $4\ell$ :  
 $\Delta m_H = 0.23 \pm 0.42$  (stat)  $\pm 0.36$  (syst) GeV =  $0.23 \pm 0.55$  GeV



- Eccellente accordo e precisione analoga alla misura combinata ATLAS+CMS del Run 1

- Misura di  $\mu = \frac{\sigma \times BR}{(\sigma \times BR)_{SM}}$ 
  - Utilizzando i piu' recenti calcoli teorici di  $\sigma_H$  (es.  $\sigma_H^{ggH}$  N<sup>3</sup>LO)



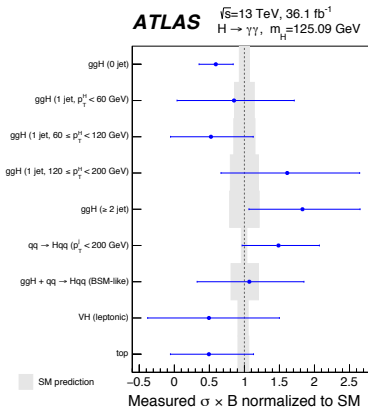
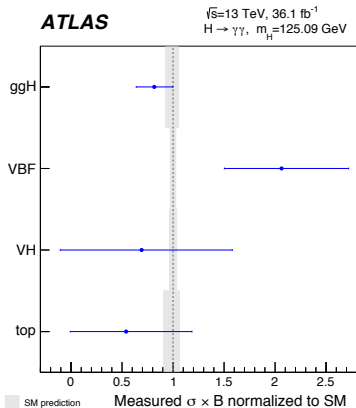
## Incertezze sistematiche $\mu_{\text{Run-2}}$ :

Uncertainty Group	$\sigma_{\mu}^{\text{sys.}}$
Theory (QCD)	0.041
Theory ( $B(H \rightarrow \gamma\gamma)$ )	0.028
Theory (PDF+ $\alpha_S$ )	0.021
Theory (UE/PS)	0.026
Luminosity	0.031
Experimental (yield)	0.017
Experimental (migrations)	0.015
Mass resolution	0.029
Mass scale	0.006
Background shape	0.027

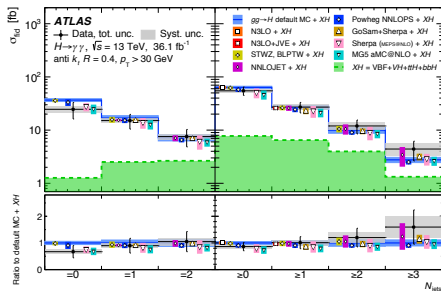
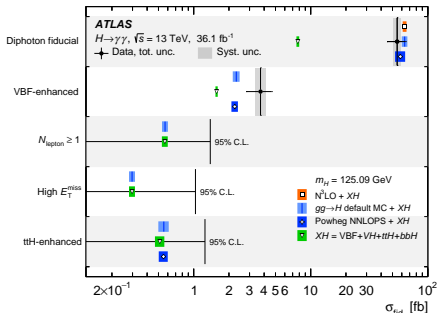
$$\mu_{\text{Run-2}} = 0.99_{-0.12}^{+0.12} \text{ (stat.) } +0.06_{-0.05} \text{ (syst.) } +0.07_{-0.05} \text{ (th.)}$$

- Ottima compatibilit  con lo SM
- Migliorate di un fattore  $\times 2$  le incertezze della misura di ATLAS nel Run 1

- Misura della sezione d'urto per modo di produzione  $\times BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$  per  $|y_H| < 2.5$
- **Simplified Template Cross Section:**
  - regioni esclusive definite a particle level
  - massimizzare la sensibilità sperimentale
  - riduzione della dipendenza dagli errori teorici



- Sezione d'urto fiduciale:  $\sigma(pp \rightarrow H \rightarrow \gamma\gamma) = \frac{N^{\text{sig}}}{c \int L dt}$ 
  - $c$  fattore che corregge per le inefficienze e risoluzione del rivelatore

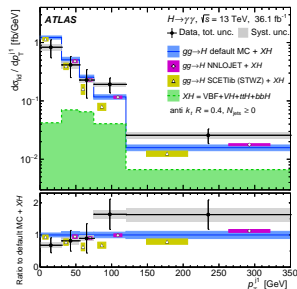
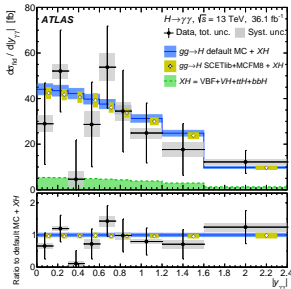
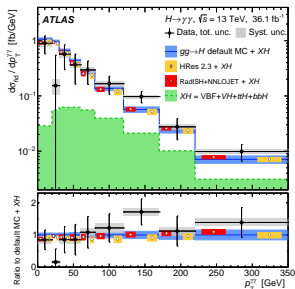


$$\sigma_{\text{fid}} = 55 \pm 9 \text{ (stat.)} \pm 4 \text{ (syst.)} \pm 0.1 \text{ (th.) fb}$$

- $\sigma_{\text{fid}}^{\text{SM}} = 64 \pm 2 \text{ fb}$
- Calcolo teorico più preciso della misura sperimentale → confronto più interessante con maggior numero di dati
- Incertezze sistematiche: luminosità (3.2%), scala e risoluzione dei fotoni (4%), modello di background(4%)



- Sezione d'urto differenziale:  $\frac{d\sigma}{dx} = \frac{N^{\text{sig}}}{c\Delta x \int L dt}$
- 18 osservabili considerate:  $p_T^{\gamma\gamma}$ ,  $y^{\gamma\gamma}$ ,  $p_T^{j,2}$ ,  $|\cos\theta^*|$ ,  $\Delta\phi_{jj}$ , ...
- Variabili sensibili ai calcoli perturbativi di QCD e nuova fisica



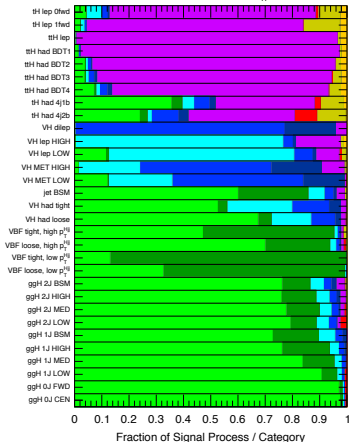
- Misura delle proprietà del bosone di Higgs nel canale di decadimento a due fotoni con  $L = 36.1 \text{ fb}^{-1}$  a  $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$
- **Misura della massa**
  - $m_H = 124.98 \pm 0.28 \text{ GeV}$
  - misura nel canale a due fotoni limitata dalle incertezze sistematiche
- **Misura di accoppiamenti e sezioni d'urto**
  - **ottima compatibilità con il Modello Standard**
  - statisticamente limitate
- Registrati  $44 \text{ fb}^{-1}$  a  $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$  durante il 2017  $\rightarrow$  in attesa di nuovi risultati che utilizzino l'intera statistica del Run 2!

# Backup

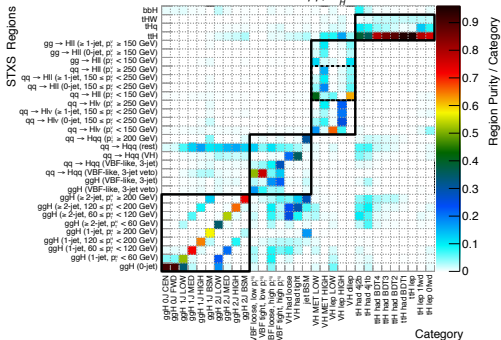
Category	Selection
tH lep 0fwd	$N_{lep} = 1, N_{jets}^{cen} \leq 3, N_{b-tag} \geq 1, N_{jets}^{fwd} = 0 (p_T^{jet} > 25 \text{ GeV})$
tH lep 1fwd	$N_{lep} = 1, N_{jets}^{cen} \leq 4, N_{b-tag} \geq 1, N_{jets}^{fwd} \geq 1 (p_T^{jet} > 25 \text{ GeV})$
ttH lep	$N_{lep} \geq 1, N_{jets}^{cen} \geq 2, N_{b-tag} \geq 1, Z_{\ell\ell} \text{ veto } (p_T^{jet} > 25 \text{ GeV})$
ttH had BDT1	$N_{lep} = 0, N_{jets} \geq 3, N_{b-tag} \geq 1, \text{BDT}_{ttH} > 0.92$
ttH had BDT2	$N_{lep} = 0, N_{jets} \geq 3, N_{b-tag} \geq 1, 0.83 < \text{BDT}_{ttH} < 0.92$
ttH had BDT3	$N_{lep} = 0, N_{jets} \geq 3, N_{b-tag} \geq 1, 0.79 < \text{BDT}_{ttH} < 0.83$
ttH had BDT4	$N_{lep} = 0, N_{jets} \geq 3, N_{b-tag} \geq 1, 0.52 < \text{BDT}_{ttH} < 0.79$
tH had 4j1b	$N_{lep} = 0, N_{jets}^{cen} = 4, N_{b-tag} = 1 (p_T^{jet} > 25 \text{ GeV})$
tH had 4j2b	$N_{lep} = 0, N_{jets}^{cen} = 4, N_{b-tag} \geq 2 (p_T^{jet} > 25 \text{ GeV})$
VH dilep	$N_{lep} \geq 2, 70 \text{ GeV} \leq m_{\ell\ell} \leq 110 \text{ GeV}$
VH lep High	$N_{lep} = 1,  m_{e\gamma} - 89 \text{ GeV}  > 5 \text{ GeV}, p_T^{\ell+E_T^{miss}} > 150 \text{ GeV}$
VH lep Low	$N_{lep} = 1,  m_{e\gamma} - 89 \text{ GeV}  > 5 \text{ GeV}, p_T^{\ell+E_T^{miss}} < 150 \text{ GeV}, E_T^{miss} \text{ significance} > 1$
VH MET High	$150 \text{ GeV} < E_T^{miss} < 250 \text{ GeV}, E_T^{miss} \text{ significance} > 9 \text{ or } E_T^{miss} > 250 \text{ GeV}$
VH MET Low	$80 \text{ GeV} < E_T^{miss} < 150 \text{ GeV}, E_T^{miss} \text{ significance} > 8$
jet BSM	$p_{T,j1} > 200 \text{ GeV}$
VH had tight	$60 \text{ GeV} < m_{jj} < 120 \text{ GeV}, \text{BDT}_{VH} > 0.78$
VH had loose	$60 \text{ GeV} < m_{jj} < 120 \text{ GeV}, 0.35 < \text{BDT}_{VH} < 0.78$
VBF tight, high $p_T^{Hjj}$	$ \Delta\eta_{jj}  > 2,  \eta_{\gamma\gamma} - 0.5(\eta_{j1} + \eta_{j2})  < 5, p_T^{Hjj} > 25 \text{ GeV}, \text{BDT}_{VBF} > 0.47$
VBF loose, high $p_T^{Hjj}$	$ \Delta\eta_{jj}  > 2,  \eta_{\gamma\gamma} - 0.5(\eta_{j1} + \eta_{j2})  < 5, p_T^{Hjj} > 25 \text{ GeV}, -0.32 < \text{BDT}_{VBF} < 0.47$
VBF tight, low $p_T^{Hjj}$	$ \Delta\eta_{jj}  > 2,  \eta_{\gamma\gamma} - 0.5(\eta_{j1} + \eta_{j2})  < 5, p_T^{Hjj} < 25 \text{ GeV}, \text{BDT}_{VBF} > 0.87$
VBF loose, low $p_T^{Hjj}$	$ \Delta\eta_{jj}  > 2,  \eta_{\gamma\gamma} - 0.5(\eta_{j1} + \eta_{j2})  < 5, p_T^{Hjj} < 25 \text{ GeV}, 0.26 < \text{BDT}_{VBF} < 0.87$
ggH 2J BSM	$\geq 2 \text{ jets}, p_T^{\gamma\gamma} \geq 200 \text{ GeV}$
ggH 2J High	$\geq 2 \text{ jets}, p_T^{\gamma\gamma} \in [120, 200] \text{ GeV}$
ggH 2J Med	$\geq 2 \text{ jets}, p_T^{\gamma\gamma} \in [60, 120] \text{ GeV}$
ggH 2J Low	$\geq 2 \text{ jets}, p_T^{\gamma\gamma} \in [0, 60] \text{ GeV}$
ggH 1J BSM	$= 1 \text{ jet}, p_T^{\gamma\gamma} \geq 200 \text{ GeV}$
ggH 1J High	$= 1 \text{ jet}, p_T^{\gamma\gamma} \in [120, 200] \text{ GeV}$
ggH 1J Med	$= 1 \text{ jet}, p_T^{\gamma\gamma} \in [60, 120] \text{ GeV}$
ggH 1J Low	$= 1 \text{ jet}, p_T^{\gamma\gamma} \in [0, 60] \text{ GeV}$
ggH 0J Fwd	$= 0 \text{ jets, one photon with }  \eta  > 0.95$
ggH 0J Cen	$= 0 \text{ jets, two photons with }  \eta  \leq 0.95$



**ATLAS Simulation**  $H \rightarrow \gamma\gamma$ ,  $m_H = 125.09$  GeV

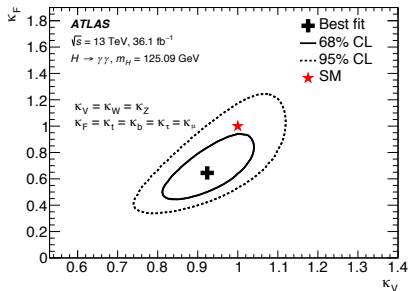
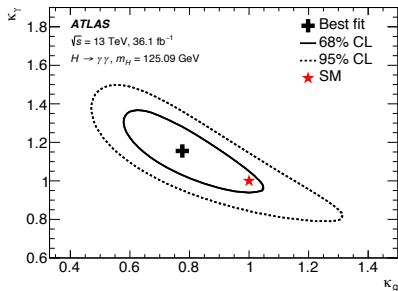


**ATLAS Simulation**  $H \rightarrow \gamma\gamma$ ,  $m_H = 125.09$  GeV



Measurement	Exp. $Z_0$	Obs. $Z_0$
$\mu_{\text{VBF}}$	$2.6 \sigma$	$4.9 \sigma$
$\mu_{\text{VH}}$	$1.4 \sigma$	$0.8 \sigma$
$\mu_{\text{top}}$	$1.8 \sigma$	$1.0 \sigma$

Process ( $ y_H  < 2.5$ )	Result	Uncertainty			SM prediction	
		Total	Stat.	Exp.		Theo.
$\sigma_{\text{VBF}}/\sigma_{\text{ggH}}$	0.20	$+0.10$ $-0.07$	$+0.09$ $-0.06$	$+0.04$ $-0.02$	$+0.04$ $-0.02$	$0.078^{+0.005}_{-0.006}$
$\sigma_{\text{VH}}/\sigma_{\text{ggH}}$	0.04	$+0.06$ $-0.05$	$+0.06$ $-0.04$	$+0.01$ $-0.01$	$+0.01$ $-0.01$	$0.045^{+0.004}_{-0.005}$
$\sigma_{\text{top}}/\sigma_{\text{ggH}}$	0.009	$+0.010$ $-0.009$	$+0.010$ $-0.009$	$+0.002$ $-0.001$	$+0.002$ $-0.001$	$0.012^{+0.001}_{-0.002}$



Objects	Definition
Photons	$ \eta  < 1.37$ or $1.52 <  \eta  < 2.37$ , $p_T^{\text{iso},0.2}/p_T^\gamma < 0.05$
Jets	anti- $k_\ell$ , $R = 0.4$ , $p_T > 30$ GeV, $ y  < 4.4$
Leptons, $\ell$	$e$ or $\mu$ , $p_T > 15$ GeV, $ \eta  < 2.47$ for $e$ (excluding $1.37 <  \eta  < 1.52$ ) and $ \eta  < 2.7$ for $\mu$
Fiducial region	Definition
Diphoton fiducial	$N_\gamma \geq 2$ , $p_T^{\gamma_1} > 0.35 m_{\gamma\gamma} = 43.8$ GeV, $p_T^{\gamma_2} > 0.25 m_{\gamma\gamma} = 31.3$ GeV
VBF-enhanced	Diphoton fiducial, $N_j \geq 2$ with $p_T^{\text{jet}} > 25$ GeV, $m_{jj} > 400$ GeV, $ \Delta y_{jj}  > 2.8$ , $ \Delta\phi_{\gamma\gamma,jj}  > 2.6$
$N_{\text{lepton}} \geq 1$	Diphoton fiducial, $N_\ell \geq 1$
High $E_T^{\text{miss}}$	Diphoton fiducial, $E_T^{\text{miss}} > 80$ GeV, $p_T^{\gamma\gamma} > 80$ GeV
$t\bar{t}H$ -enhanced	Diphoton fiducial, $(N_j \geq 4, N_{b\text{-jets}} \geq 1)$ or $(N_j \geq 3, N_{b\text{-jets}} \geq 1, N_\ell \geq 1)$

