

Measurement of $t\bar{t}H$ production cross section times branching ratio in the $\gamma\gamma$ decay channel with the full Run2 pp collision dataset collected by the ATLAS experiment at $\sqrt{s} = 13$ TeV



Daide Mungo

Università degli Studi di Milano & INFN Milano
Incontri di Fisica delle Alte Energie, Napoli 2019

1. Introduzione e motivazione

Ricerca di stati finali di $H \rightarrow \gamma\gamma$ associati a una coppia di top quarks. Canale $\gamma\gamma$: eccellente risoluzione in $m_{\gamma\gamma}$, segnatura pulita \Rightarrow l'Higgs è osservato come uno stretto picco su un fondo continuo.



Modo di produzione $t\bar{t}H$ già osservato con 80 fb^{-1} ad ATLAS [4] combinando più canali

Motivazione

- Osservare la produzione $t\bar{t}H$ nel canale $\gamma\gamma$

2. Selezione di-fotone

La selezione è basata sui fotoni.

Selezionati eventi con:

- almeno due fotoni ben identificati e isolati per ridurre i fondi γj e jj
- $p_T^\gamma > 35(25)$ GeV per il γ leading (subleading) e $|\eta| < 2.37$ (escludendo la regione di transizione $1.37 < |\eta| < 1.52$)
- massa invariante $105 < m_{\gamma\gamma} < 160$ GeV

La composizione del fondo risulta stabile in funzione del pileup.

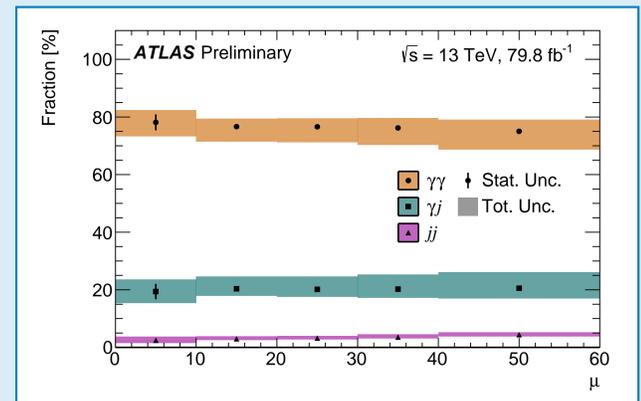


Figura 1: Composizione del fondo in funzione del pile-up [3]

3. Categorizzazione degli Eventi

Gli eventi selezionati vengono divisi a seconda del decadimento dei bosoni W (adronico o semi-leptonico). Su ognuno dei set viene ottimizzato un BDT

Preselezione

- Richiesto almeno un jet b -tagged (77% WP) con $p_T > 25$ GeV

Decadimento adronico

Almeno due jet aggiuntivi, veto su leptoni

Decadimento semi-leptonico

Almeno un leptone isolato

Training dei BDT

I BDT vengono allenati su segnale $t\bar{t}H$ da MC e fondo da regioni di controllo sui dati con:

BDT adronico

- $p_T/m_{\gamma\gamma}$, η , ϕ dei due fotoni
- E , p_T , η , ϕ e b -tag score di fino a 6 jets
- modulo e direzione di E_T^{miss}

BDT semi-leptonico

- $p_T/m_{\gamma\gamma}$, η , ϕ dei due fotoni
- E , p_T , η , ϕ di fino a 4 jets
- E , p_T , η , ϕ di fino a 2 leptoni
- modulo e direzione di E_T^{miss}

Si definiscono delle categorie con l'output dei BDT, ottimizzando la sensibilità attesa del processo $t\bar{t}H$.

Risultato del training

Definite 7 categorie: 4 adroniche, 3 leptoniche

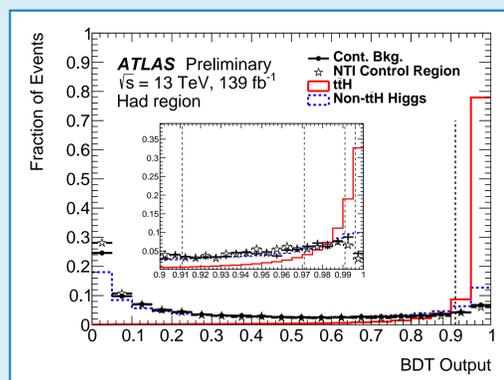


Figura 2: Output del BDT adronico applicato su diversi processi. "Non- $t\bar{t}H$ Higgs" raggruppa i fondi $t\bar{t}\gamma\gamma$, tH e ggF [2]

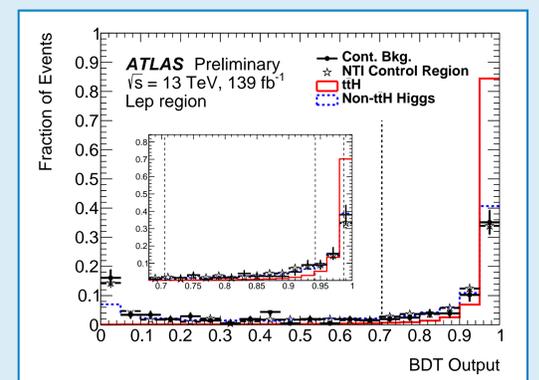


Figura 3: Output del BDT semi-leptonico applicato su diversi processi. "Non- $t\bar{t}H$ Higgs" raggruppa i fondi $t\bar{t}\gamma\gamma$ e VH [2]

4. Procedura statistica

Fit simultaneo di maximum likelihood dello spettro $m_{\gamma\gamma}$ delle 7 categorie. Il parametro di interesse è la **signal strength** μ , definita come $\sigma_{\text{mis}} = \mu\sigma_{SM}$

- Modi di produzione diversi da $t\bar{t}H$, come ggF , VBF etc, fissati allo SM
- Massa del bosone di Higgs fissata a 125.09 ± 0.24 GeV [1]

Parametrizzazione del Segnale

Fit di una Double Sided Crystal Ball su campioni MC di segnale.

| Category | σ_{68} [GeV] | σ_{90} [GeV] |
|----------|---------------------|---------------------|
| Lep 1 | 1.56 | 2.80 |
| Lep 2 | 1.75 | 3.13 |
| Lep 3 | 1.85 | 3.30 |
| Had 1 | 1.39 | 2.48 |
| Had 2 | 1.58 | 2.84 |
| Had 3 | 1.65 | 2.96 |
| Had 4 | 1.67 | 3.00 |

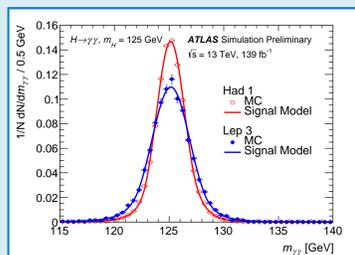


Figura 4: Modello di segnale per le due categorie con la risoluzione migliore (Had 1) e peggiore (Lep 3) [2]

Incertezze sistematiche

Yield categorie:

- Teoriche: UnderlyingEvents & PartonShower (impatto finale 7%), heavy flavor jet per processi non $t\bar{t}H$ (4%), termini QCD higher order (4%)
- Sperimentali: ricostruzione dei jet (2%), efficienza identificazione & isolamento fotoni (2%)

Forma del segnale:

- Scala (2.7%) e Risoluzione (6%) energetica fotoni

Parametrizzazione del Fondo

Funzione analitica scelta in modo da minimizzare l'errore sistematico:

- fit $S + B$ su un template MC di solo background per diverse masse da 121 a 129 GeV
- scelta la funzione che ha il minor S ; l'errore sistematico è $\max_{m_{\gamma\gamma} \in [121-129]} |S|$: impatto sulla misura $\sim 2\%$

5. Risultati

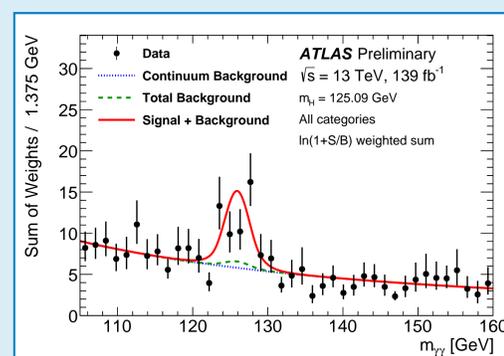


Figura 5: Somma degli spettri osservati di $m_{\gamma\gamma}$ in ognuna delle categorie. Gli eventi sono pesati per $\ln(1 + S_{90}/B_{90})$, dove S_{90} (B_{90}) indica il numero di eventi aspettati nella più piccola finestra in $m_{\gamma\gamma}$ contenente il 90% degli eventi di segnale (fondo). Le barre di errore rappresentano l'intervallo di confidenza al 68% della somma pesata [2]

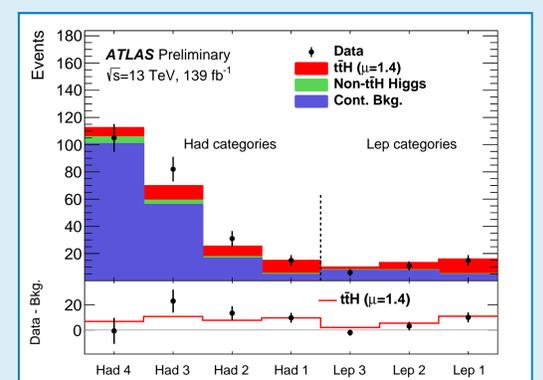


Figura 6: Numero di eventi per categoria nella più piccola finestra in $m_{\gamma\gamma}$ contenente il 90% di segnale $t\bar{t}H$. Il background aspettato è estratto dal fit e mostrato in viola. Il fondo risonante non- $t\bar{t}H$ è mostrato in verde e il segnale $t\bar{t}H$ (per una signal strength di 1.4) in rosso [2]

Significanza del segnale $t\bar{t}H$ rispetto all'ipotesi di solo fondo:

Osservata: 4.9σ Aspettata: 4.2σ

Misura della sezione d'urto $t\bar{t}H$ moltiplicata per la frazione di decadimento $H \rightarrow \gamma\gamma$:

$$\text{Osservata: } \sigma_{t\bar{t}H} \times \text{BR}_{\gamma\gamma} = 1.59^{+0.43}_{-0.39} \text{ fb} = 1.59^{+0.38}_{-0.36} (\text{stat})^{+0.15}_{-0.12} (\text{exp})^{+0.15}_{-0.11} (\text{theo}) \text{ fb}$$

$$\text{Aspettata: } \sigma_{t\bar{t}H} \times \text{BR}_{\gamma\gamma} = 1.15^{+0.09}_{-0.12} \text{ fb compatibile entro } 1\sigma$$

Bibliografia

- [1] ATLAS and CMS Collaborations. "Combined Measurement of the Higgs Boson Mass in pp Collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with the ATLAS and CMS Experiments". In: *Phys. Rev. Lett.* 114 (2015).
- [2] ATLAS Collaboration. "Measurement of Higgs boson production in association with a $t\bar{t}$ pair in the diphoton decay channel using 139 fb^{-1} of LHC data collected at $\sqrt{s} = 13$ TeV by the ATLAS experiment". Geneva, mar. 2019.
- [3] ATLAS Collaboration. "Measurements of Higgs boson properties in the diphoton decay channel using 80 fb^{-1} of pp collision data at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector". Geneva, giu. 2018.
- [4] ATLAS Collaboration. "Observation of Higgs boson production in association with a top quark pair at the LHC with the ATLAS detector". In: *Phys. Lett.* B784 (2018), pp. 173-191.