

IFAE 2019 – Incontri di Fisica delle Alte Energie

Search for four-top-quark production in the single-lepton and opposite-sign dilepton final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector

JACOPO MAGRO

Università di Udine/INFN Trieste - gruppo collegato di Udine



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI UDINE

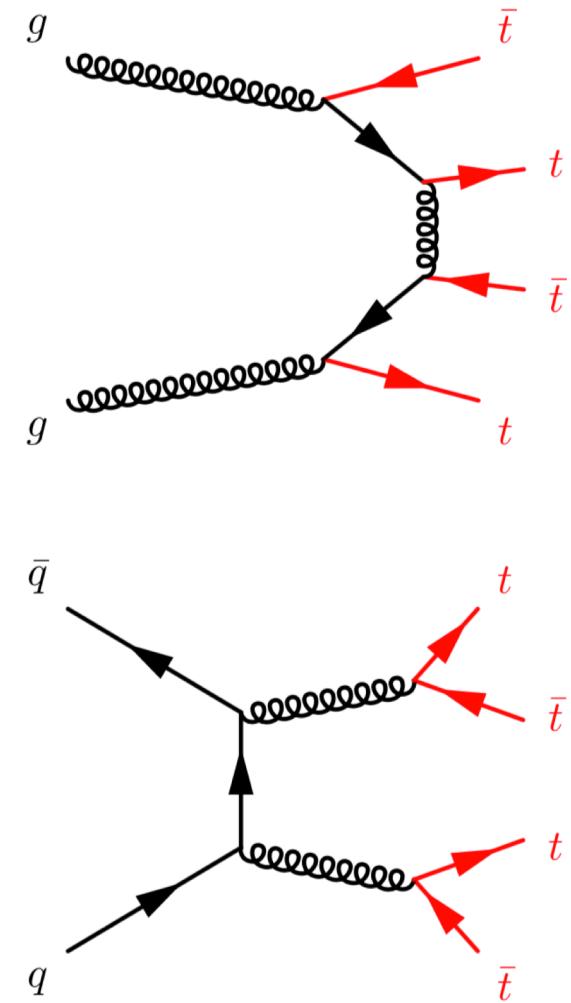


Indice

- Introduzione
- Selezione e classificazione degli eventi
- Stima dei fondi
- Incertezze
- Risultati

4 top - produzione

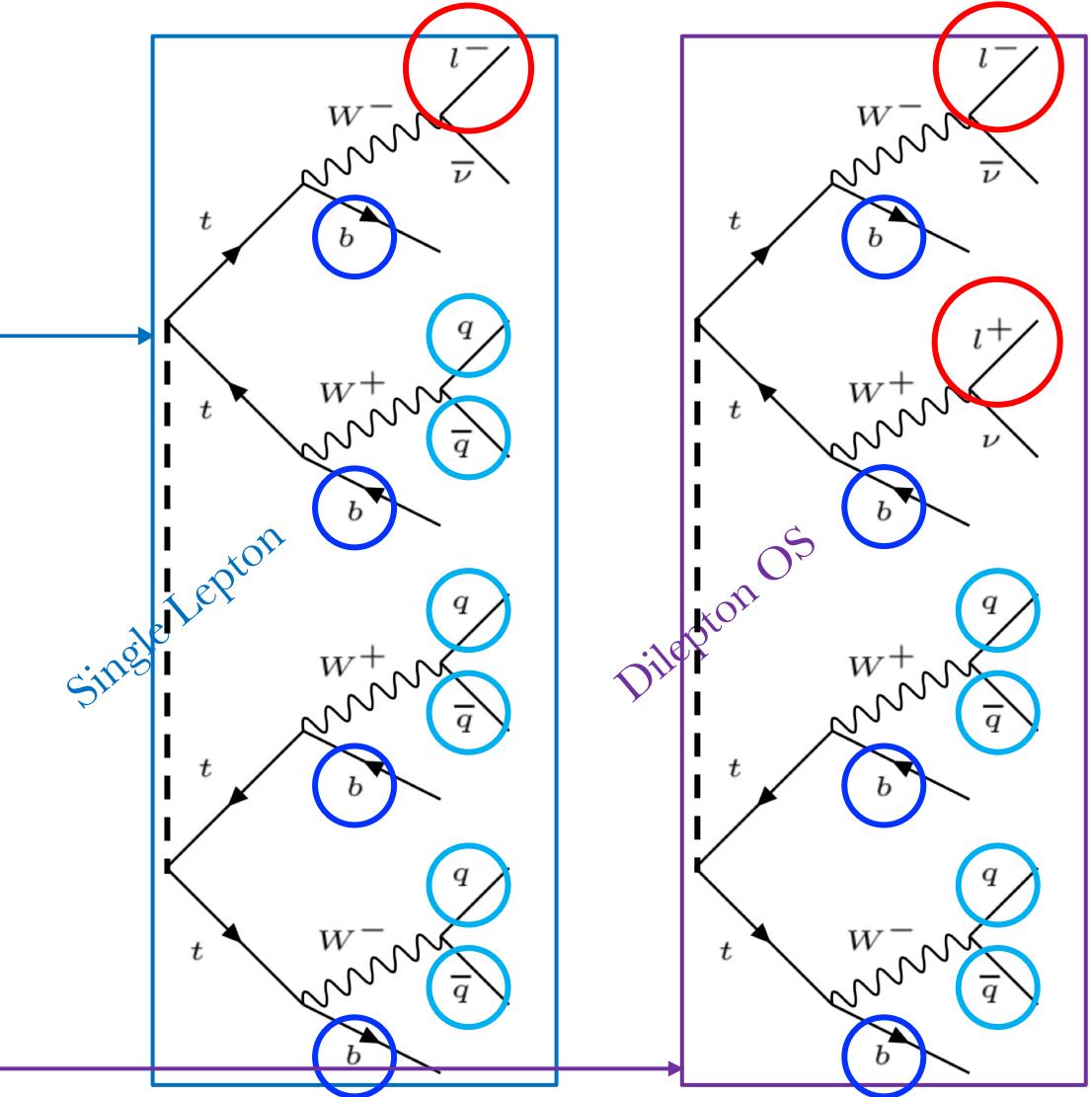
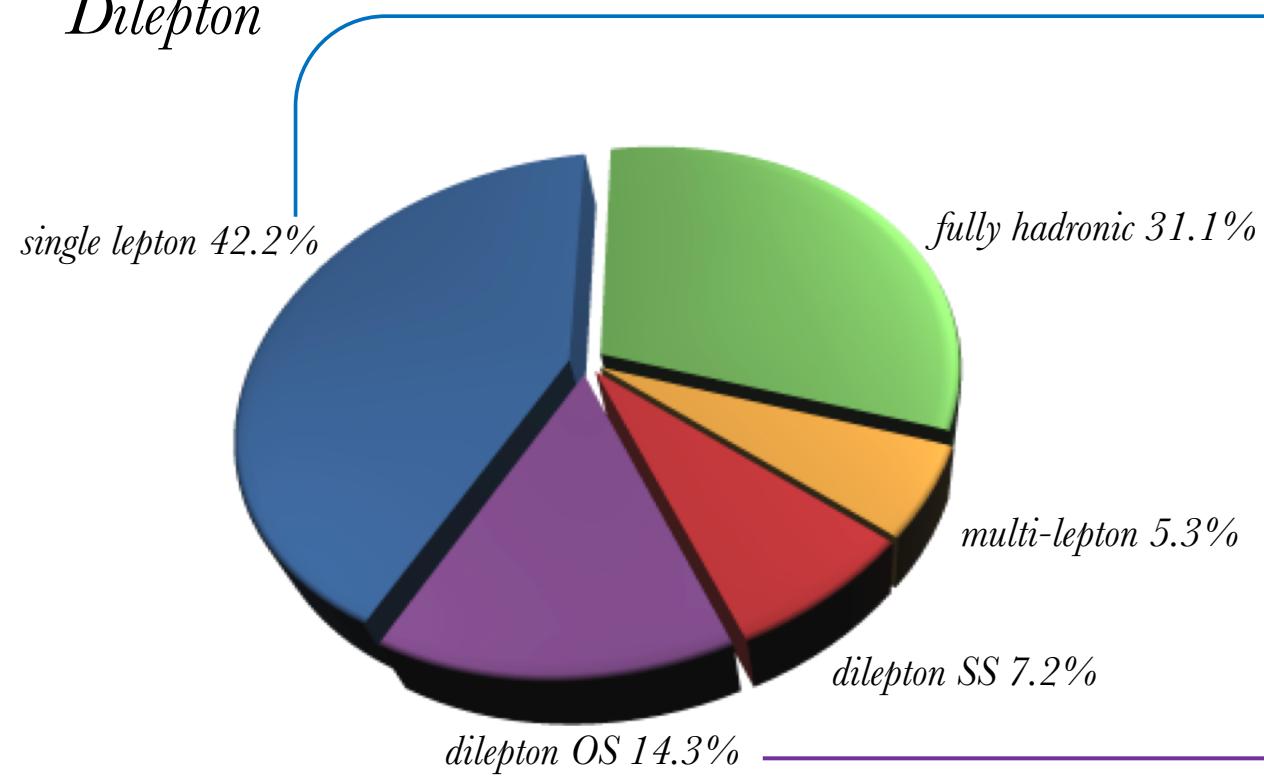
- Phys. Rev. D 99, 052009 (2019)
- Ricerca della produzione di quattro quark top usando dati di collisioni $p\bar{p}$ a $\sqrt{s}=13$ TeV raccolti dall'esperimento ATLAS tra il 2015 e il 2016 ($\mathcal{L} = 36.1 \text{ fb}^{-1}$)
- Processo dominante di produzione: *gluon-gluon fusion* (94%)
- Processo secondario di produzione: *annichilazione quark-antiquark* (6%)
- Processo estremamente raro: $\sigma_{t\bar{t}t\bar{t}}^{\text{SM}} \approx 9.2 \text{ fb}$ calcolato al NLO in QCD^[a]
- Sensibile a fisica oltre il Modello Standard



[a] Alwall, J., Frederix, R., Frixione, S. et al. J. High Energ. Phys. (2014) 2014: 79. [https://doi.org/10.1007/JHEP07\(2014\)079](https://doi.org/10.1007/JHEP07(2014)079)

4 top - decadimento

- Molteplici stati finali dovuti al decadimento del bosone W intermedio (da $t \rightarrow Wb$)
- Focus sui canali *Single Lepton* e *Opposite-Sign Dilepton*



Selezione degli eventi

Jet:

- Algoritmo anti- k_t con un parametro radiale di 0.4
- $p_T > 25 \text{ GeV}$
- $|\eta| < 2.5$
- Criteri per eliminare i jet non provenienti dalla collisione
- *Overlap removal* con i leptoni

b-tag jet:

- Algoritmo di *b-tagging* (efficienza del 77%)

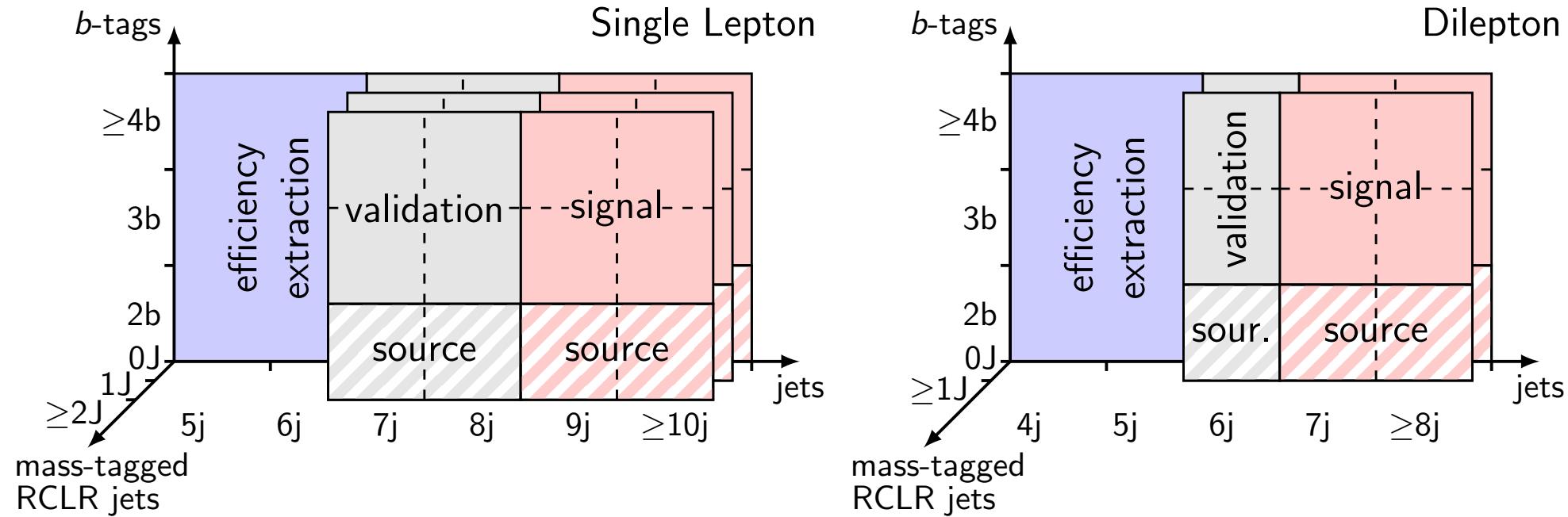
Mass-tagged reclustered jet (RCLR jet):

- Jet con $p_T > 25 \text{ GeV}$ che passano tutti i criteri di selezione
 - *Reclustering* con un parametro radiale di 1.0
 - $p_T > 200 \text{ GeV}$
 - $|\eta| < 2.0$
 - Massa $> 100 \text{ GeV}$
-
-

Pre-selection requirements

Requirement	Single-lepton	Dilepton
Trigger	Single-lepton triggers	
Leptons	1 isolated	2 isolated, opposite-sign
Jets	≥ 5 jets	≥ 4 jets
<i>b</i> -tagged jets	≥ 2 <i>b</i> -tagged jets	
Other	$E_T^{\text{miss}} > 20 \text{ GeV}$ $E_T^{\text{miss}} + m_T^W > 60 \text{ GeV}$	$m_{\ell\ell} > 50 \text{ GeV}$ $ m_{\ell\ell} - 91 > 8 \text{ GeV}$

Classificazione degli eventi



Gli eventi preselezionati sono classificati in diverse regioni a seconda della molteplicità dei jet.

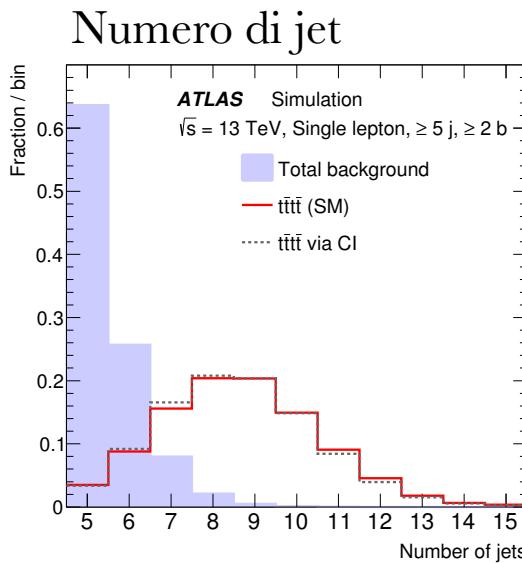
Fondi

I principali processi di fondo sono i seguenti:

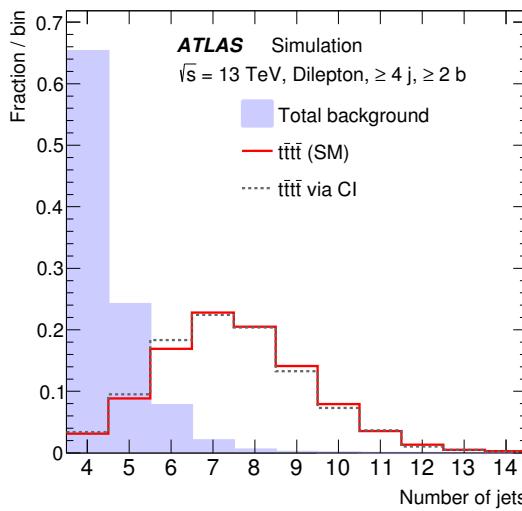
- $t\bar{t} + \text{jet}$  stimato con un metodo *data-driven* e con una simulazione MC
 - Produzione di top singolo
 - $W/Z + \text{jet}$
 - Produzione di dibosoni
 - $t\bar{t} + V$ e $t\bar{t} + H$
 - Leptoni *fake* e *non-prompt*  stimati con un metodo *data-driven*
- 
- Valutati con una simulazione MC

Variabili discriminanti segnale-fondo

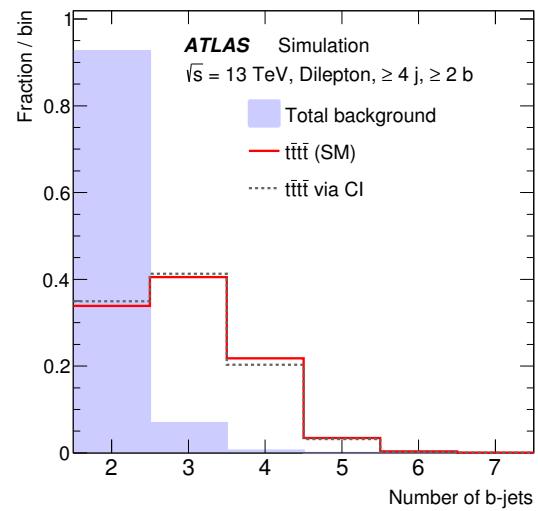
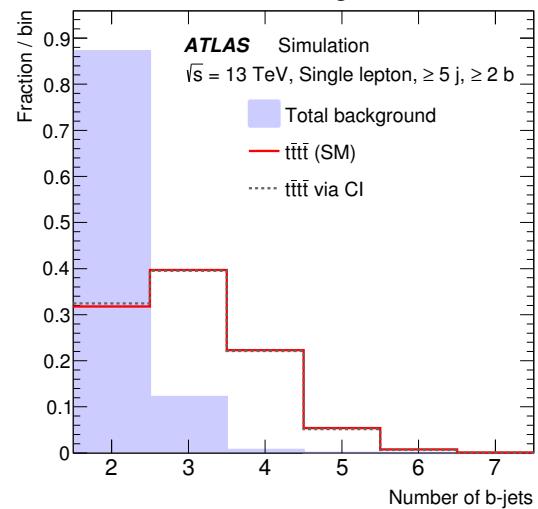
Single Lepton



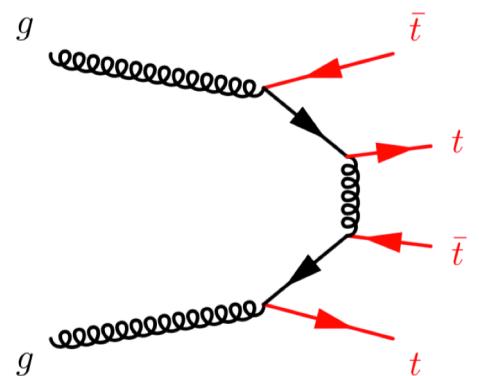
Dilepton



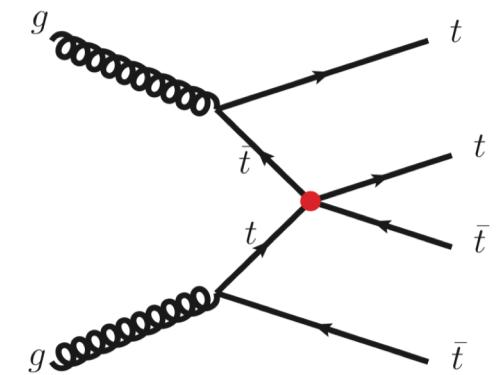
Numero di b-jet



$t\bar{t}t\bar{t}$ SM

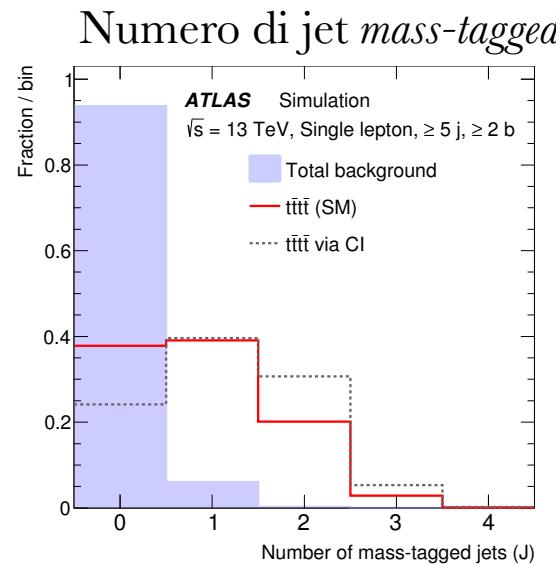


$t\bar{t}t\bar{t}$ via CI

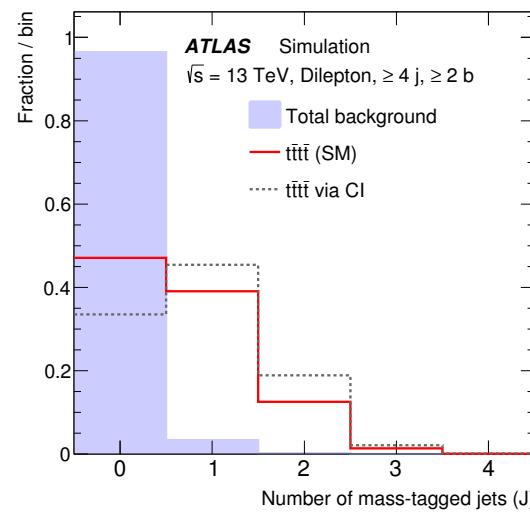


Variabili discriminanti segnale-fondo

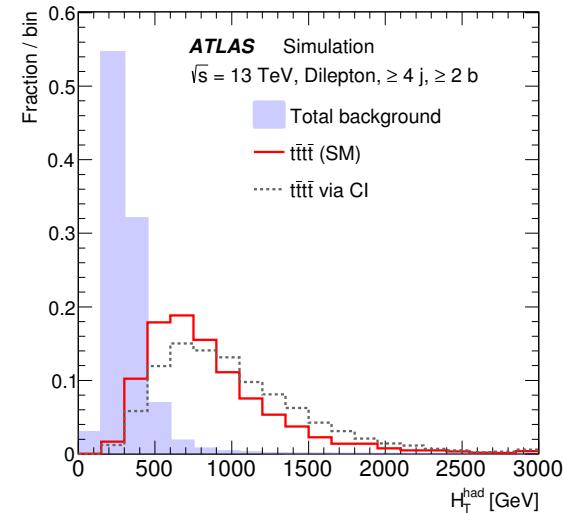
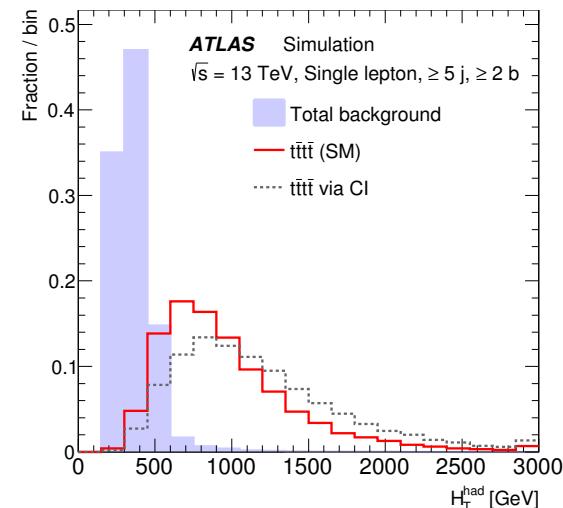
Single Lepton



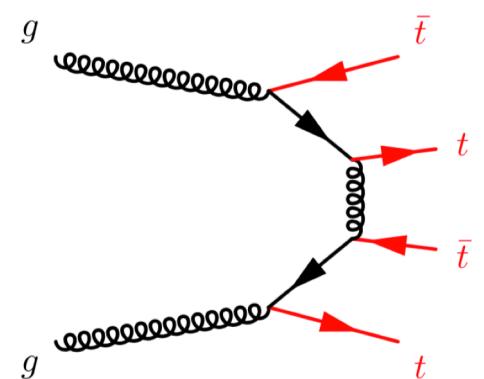
Dilepton



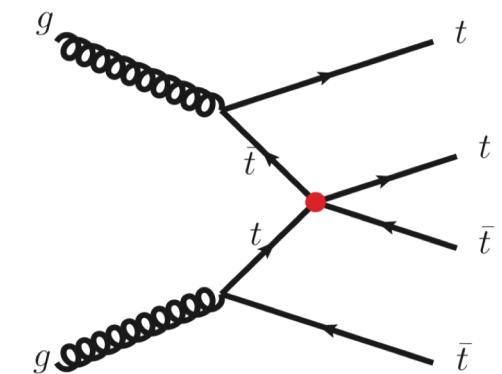
Somma scalare dei p_T dei jet



$t\bar{t}t\bar{t}$ SM



$t\bar{t}t\bar{t}$ via CI

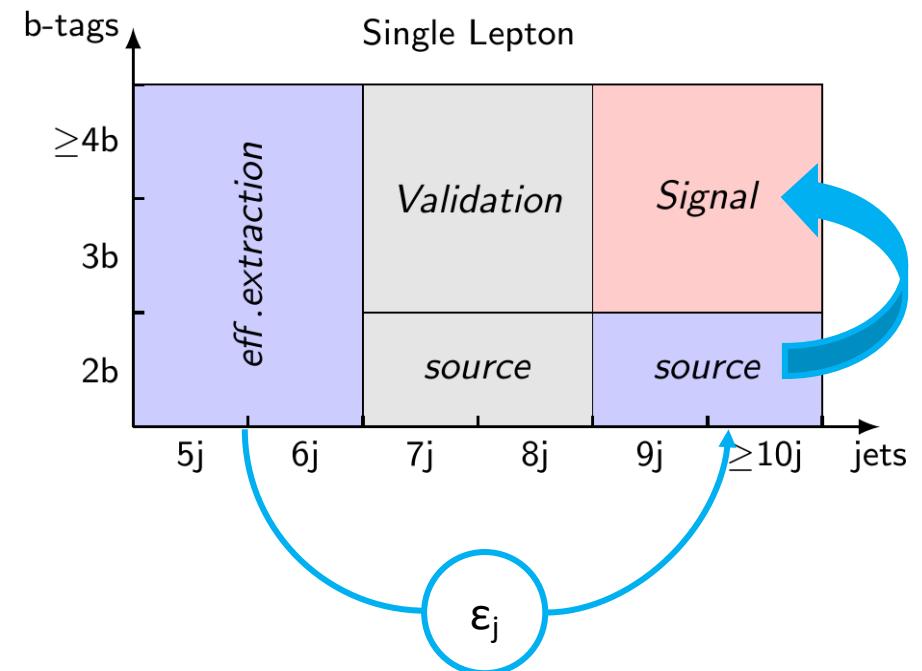


Stima del fondo $t\bar{t} + \text{jet}$

Metodo $t\bar{t}$ Tag Rate Function (TRF $_{t\bar{t}}$):

- La probabilità di identificare un jet come da quark b è indipendente dal numero di jet addizionali
- Estrarre le efficienze di b -tag ε_j dai dati con un basso numero di jet
- Ripesare i dati nelle regioni con 2 b-jet
- Predire la componente dovuta al processo $t\bar{t} + \text{jet}$ nelle regioni con un maggior numero di b-jet

Questi passi sono applicati anche ad eventi simulati per derivare i fattori di correzione (inferiori al 20%).



Incertezze

Incertezze sistematiche:

- Modellizzazione dei fondi (in particolare del processo $t\bar{t} + \text{jet}$)
- Metodo TRF $_{t\bar{t}}$
- Jet (scala di energia/risoluzione, scala di massa e JVT)
- Efficienza dell'identificazione del sapore
- Leptoni (efficienze del trigger/ricostruzione/identificazione/isolamento, risoluzione e scala dei momenti)
- Luminosità integrata

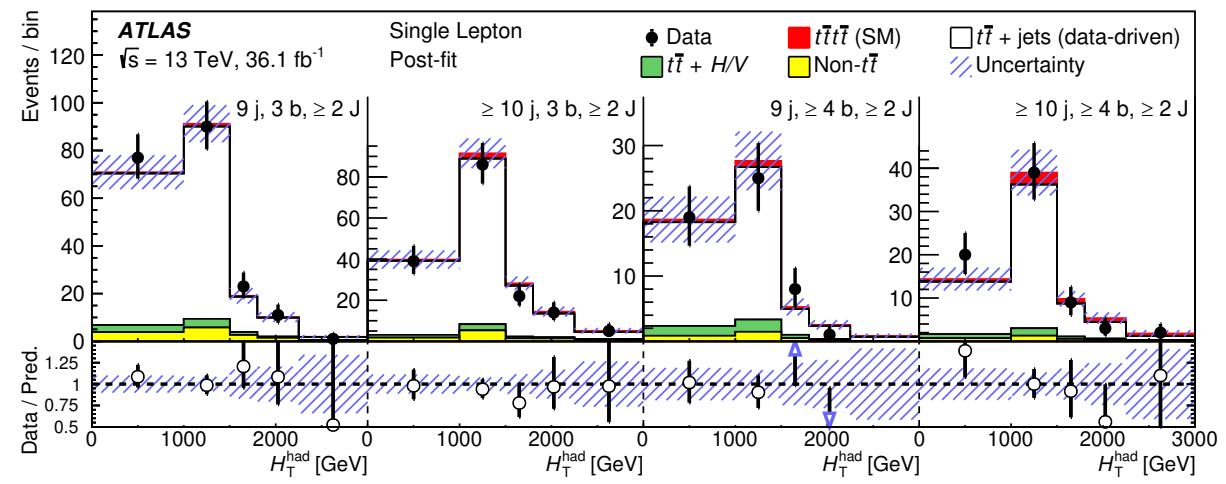
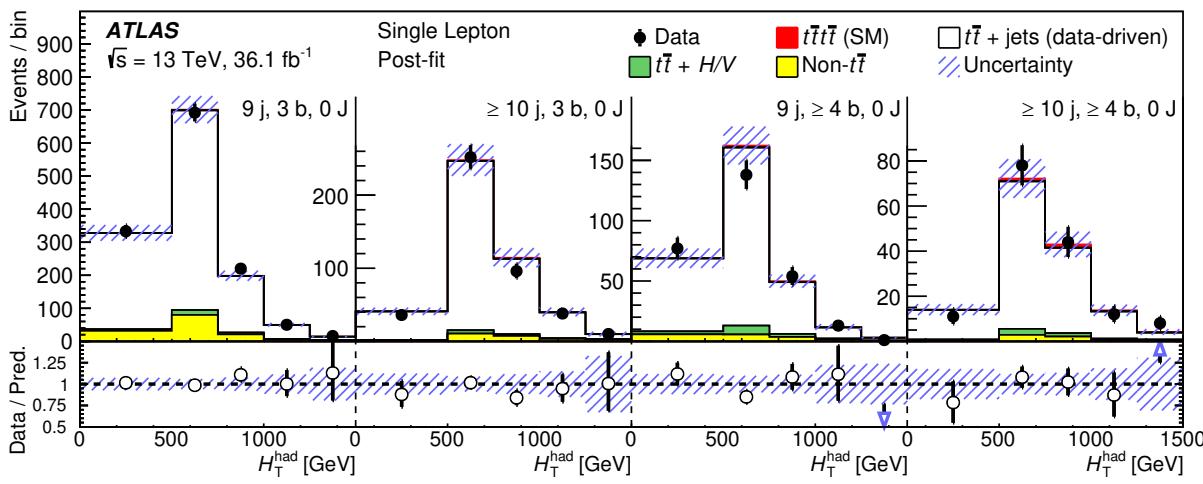
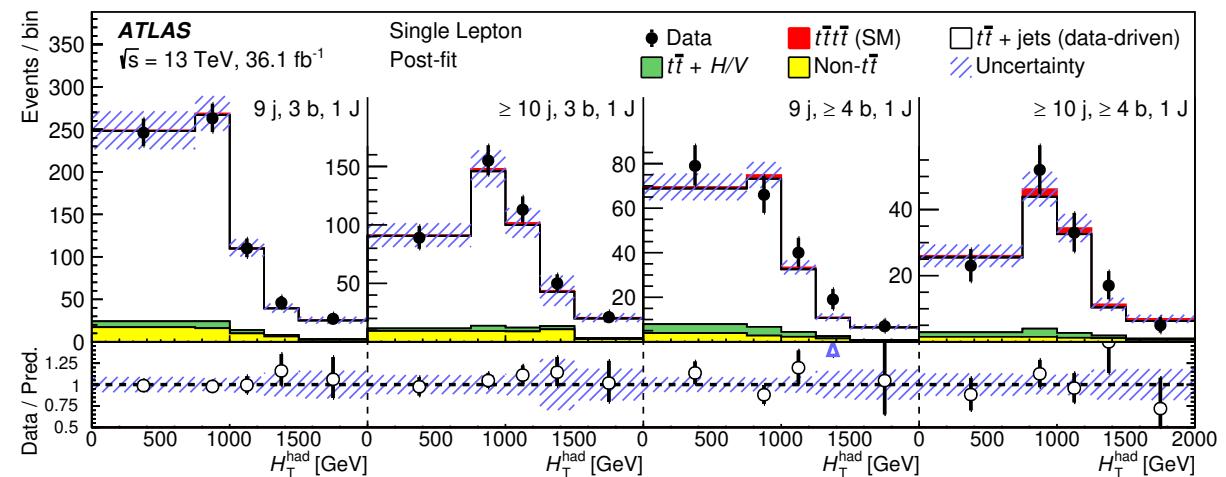
Incertezze statistiche:

- Stime *data-driven* (limitato numero di dati nelle regioni sorgente)
- Fattori di correzione MC (limitato numero di eventi simulati)

Uncertainty source	$\pm\Delta\mu$	
$t\bar{t}$ +jets modeling	+1.2	-0.96
Background-model statistical uncertainty	+0.91	-0.85
Jet energy scale and resolution, jet mass	+0.38	-0.16
Other background modeling	+0.26	-0.20
b -tagging efficiency and mis-tag rates	+0.33	-0.10
JVT, pileup modeling	+0.18	-0.073
$t\bar{t} + H/V$ modeling	+0.053	-0.055
Luminosity	+0.050	-0.026
Total systematic uncertainty	+1.6	-1.4
Total statistical uncertainty	+1.1	-1.0
Total uncertainty	+1.9	-1.7

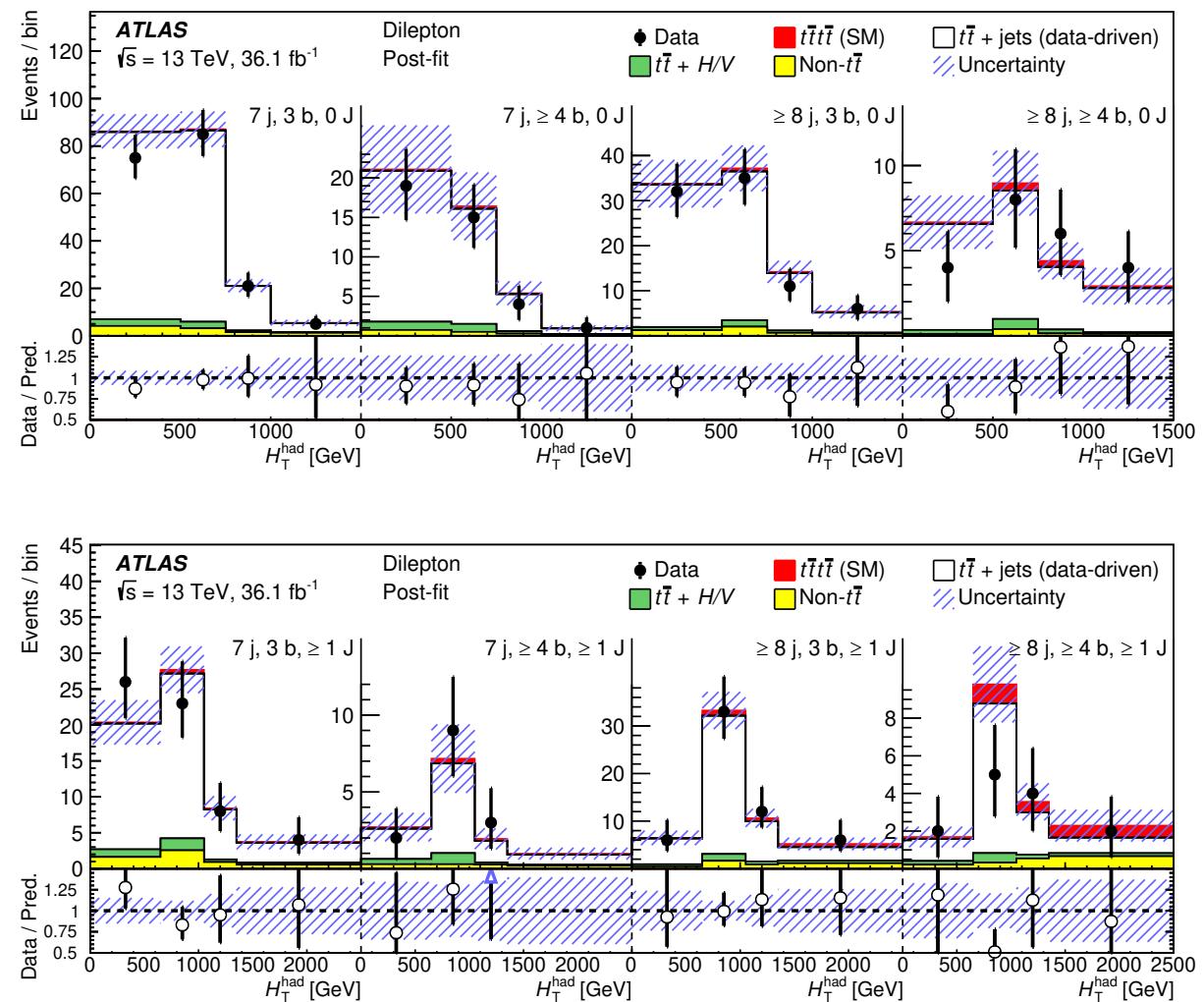
Risultati

- Fit eseguito su H_T^{had} simultaneamente nelle 20 regioni di segnale



Risultati

- I dati sono in **buon accordo** con la previsione del Modello Standard all'interno delle bande di incertezza, ottenendo un limite superiore sulla sezione d'urto di 47 fb ($5.1 \sigma_{t\bar{t}t\bar{t}}^{\text{SM}}$) e $\mu = \sigma_{t\bar{t}t\bar{t}} / \sigma_{t\bar{t}t\bar{t}}^{\text{SM}} = 1.7^{+1.9}_{-1.7}$
- Combinazione con il canale *Same-Sign Dilepton/Trilepton*: maggiori informazioni nel poster di **Mohammed Faraj**
 «Combination of searches for the production of $t\bar{t}t\bar{t}$ in the single lepton, opposite sign and same signs dileptons channels in pp collisions at $\sqrt{s}=13 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector»



Bibliografia

- [1] ATLAS Collaboration, “Search for four-top-quark production in the single-lepton and opposite-sign dilepton final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector”, arXiv:1811.02305, Phys. Rev. D 99, 052009 (2019), pubblicazione principale
- [2] ATLAS Collaboration, “Search for SM four top quark production in the single lepton final-state using 3.2 fb-1 at 13 TeV”, ATLAS-CONF-2016-020, referenza meno recente
- [3] ATLAS Collaboration, “Search for new phenomena in events with same-charge leptons and b-jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector”, JHEP 12 (2018) 039, pubblicazione per gli altri canali di ricerca
- [4] CMS Collaboration, “Search for standard model production of four top quarks with same-sign and multilepton final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ ”, Eur. Phys. J. C 78 (2018) 140, pubblicazione di CMS

Backup



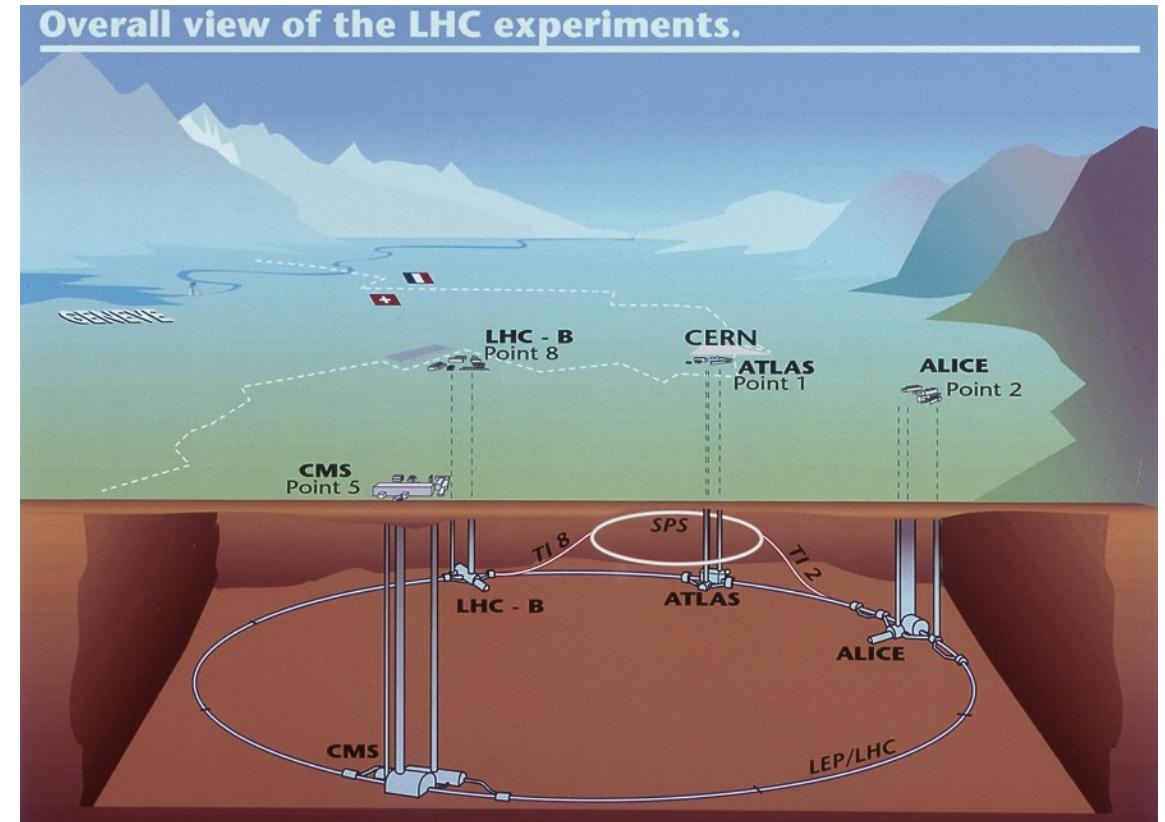
LHC

Large Hadron Collider:

- acceleratore sotterraneo
- 27 km di circonferenza
- 14 TeV nel centro di massa

Quattro punti di collisione:

- ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS)
- CMS (Compact Muon Solenoid)
- ALICE (A Large Ion Collider Experiment)
- LHCb (Large Hadron Collider beauty)



Credits: <http://www.scienzagiovane.unibo.it/LHC/LHC-page1.html>

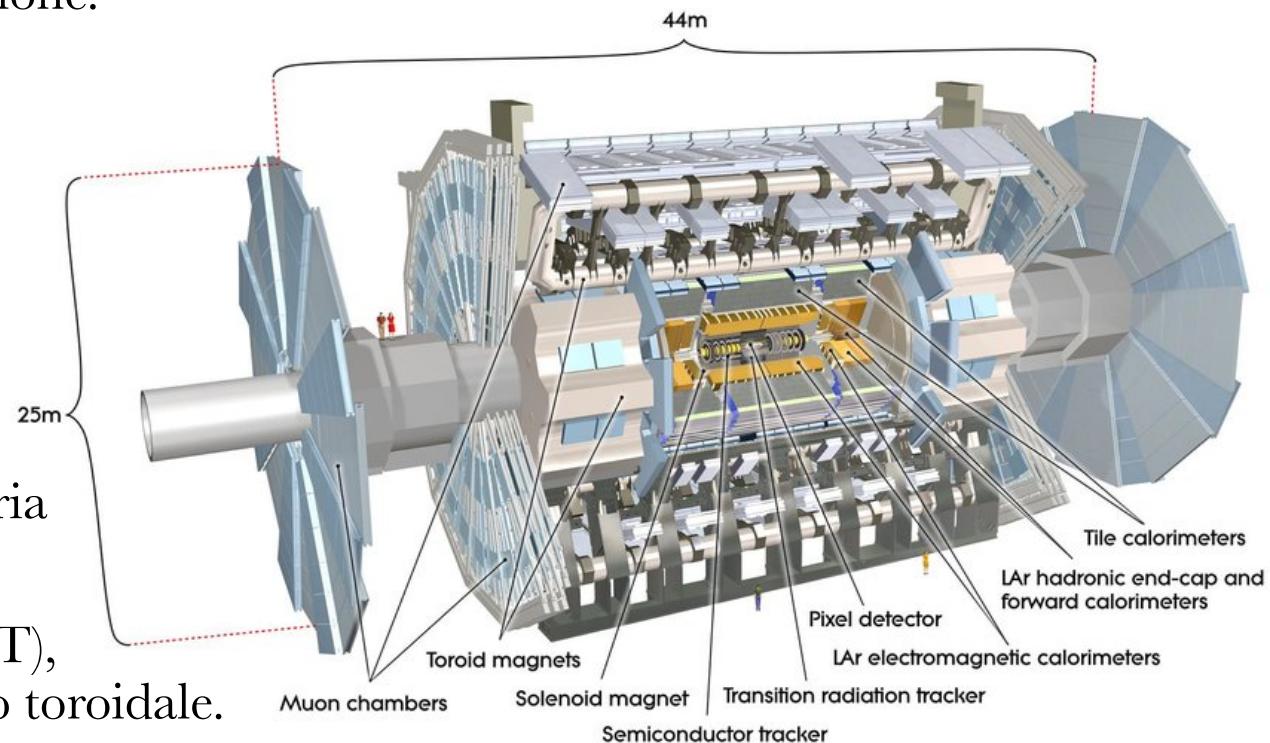
ATLAS

L'esperimento ATLAS è un rivelatore multifunzione costruito per esplorare la fisica delle particelle elementari, dallo studio del bosone di Higgs e del quark top alla ricerca delle extra dimensioni e della materia oscura.

ATLAS ha una struttura cilindrica a strati, chiamata *barrel*, racchiusa da due estremità chiamate *endcap*: in questo modo il rivelatore circonda interamente il punto di interazione.

- Inner Detector, usato per ricostruire le tracce e i vertici delle particelle cariche
- Calorimetro Elettromagnetico, usato per misurare la traiettoria e l'energia rilasciata da fotoni ed elettroni
- Calorimetro Adronico, usato per misurare la direzione e l'energia rilasciata dagli adroni
- Spettrometro per i muoni, usato per misurare la traiettoria e il momento dei muoni

L'Inner Detector è racchiuso in un magnete solenoidale (2T), mentre lo Spettrometro è immerso in un campo magnetico toroidale.



Credits: <https://atlas.cern/discover/detector>

Selezione degli eventi

- Muoni

- $p_T > 20$ (26) GeV e isolamento
- O $p_T > 50$ GeV e nessuna richiesta di isolamento
- $|\eta| < 2.5$
- Isolamento relativo $I_R/p_T < 0.06$
- Parametro di impatto longitudinale $|z_0 \sin \theta| < 0.5$ mm
- Parametro di impatto trasversale $|d_0/\sigma(d_0)| < 3$

- Elettroni

- $p_T > 24$ (26) GeV e isolamento
- O $p_T > 60$ GeV e nessuna richiesta di isolamento
- O $p_T > 120$ (140) GeV e identificazione meno stringente
- $|\eta| < 1.37$ V $1.52 < |\eta| < 2.47$
- Isolamento relativo $I_R/p_T < 0.06$
- Parametro di impatto longitudinale $|z_0 \sin \theta| < 0.5$ mm
- Parametro di impatto trasversale $|d_0/\sigma(d_0)| < 5$

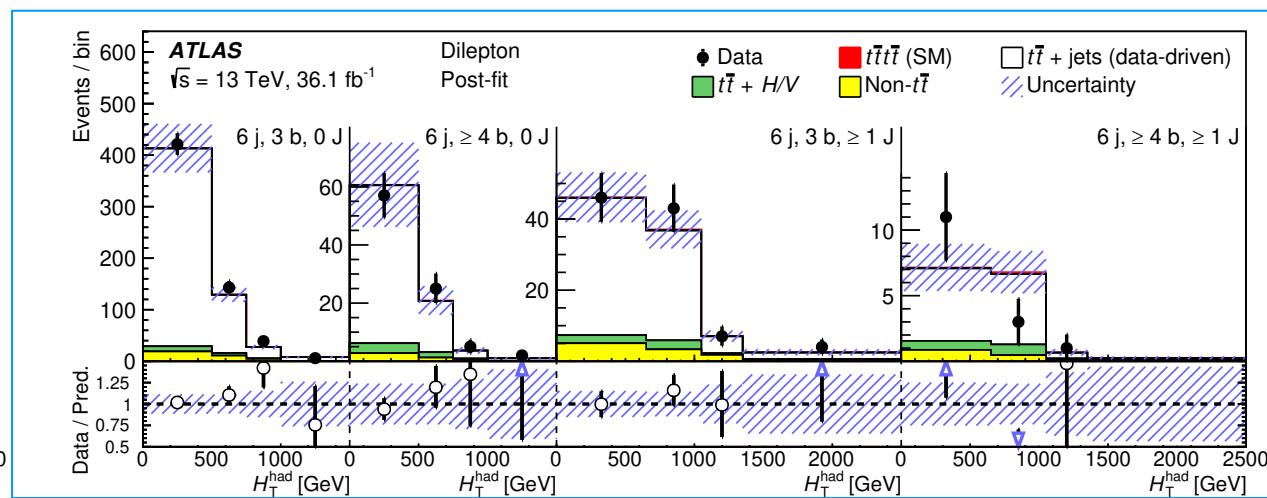
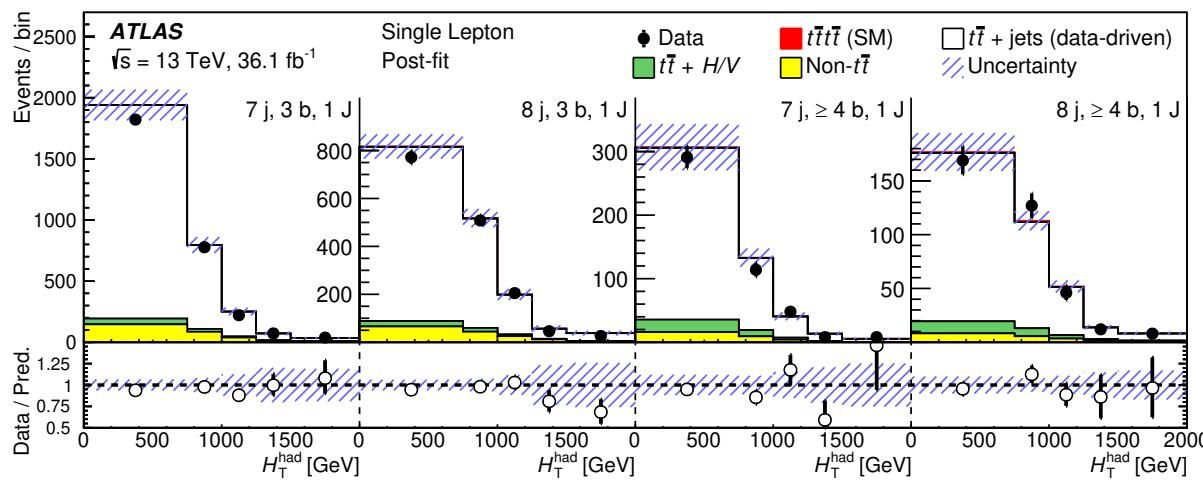
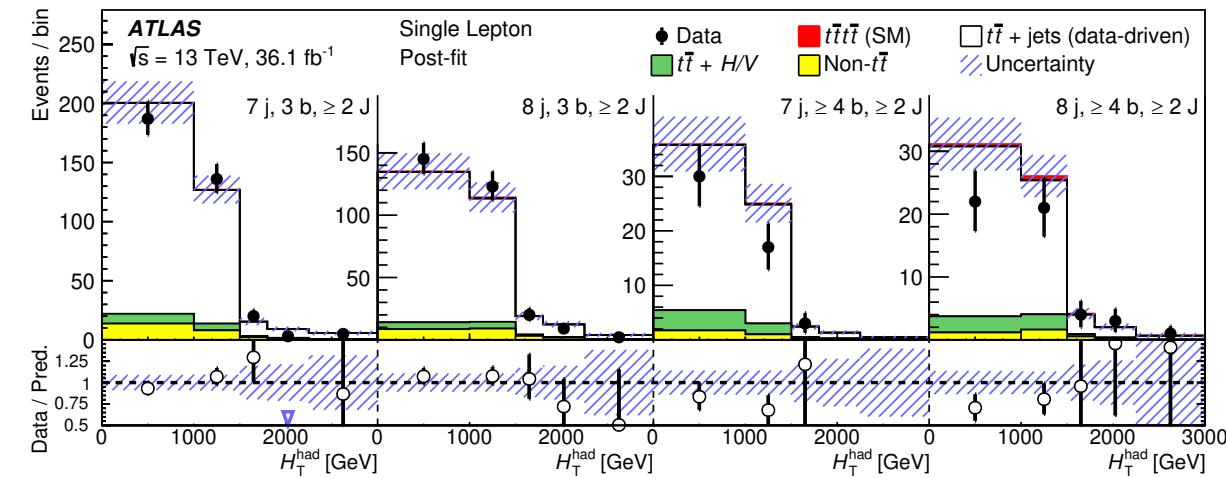
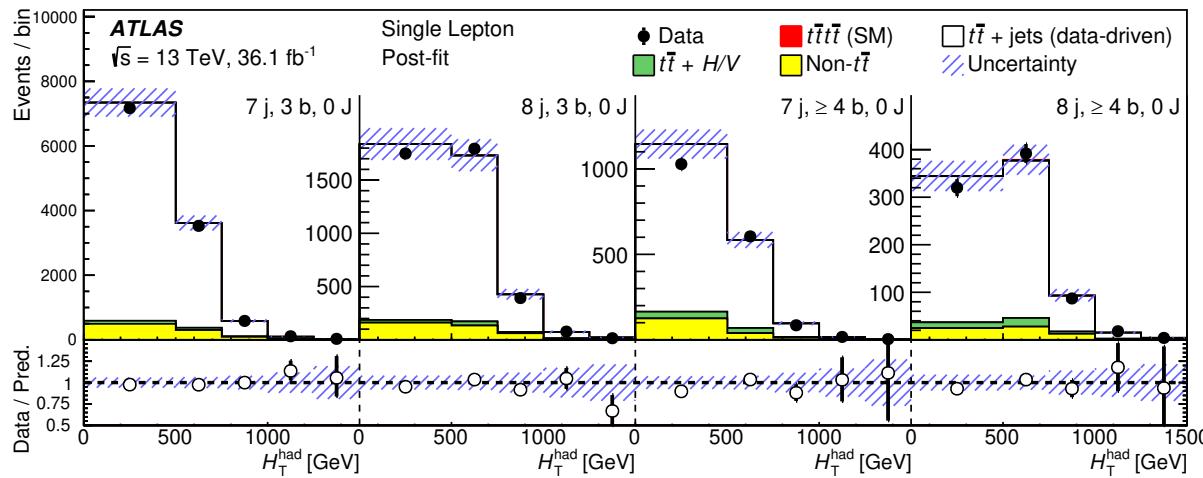
Requirement	Pre-selection requirements	
	Single-lepton	Dilepton
Trigger		Single-lepton triggers
Leptons	1 isolated	2 isolated, opposite-sign
Jets	≥ 5 jets	≥ 4 jets
<i>b</i> -tagged jets		≥ 2 <i>b</i> -tagged jets
Other	$E_T^{\text{miss}} > 20$ GeV $E_T^{\text{miss}} + m_W^W > 60$ GeV	$m_{\ell\ell} > 50$ GeV $ m_{\ell\ell} - 91 > 8$ GeV

Selezione degli eventi

- Small-R jet:
 - Algoritmo anti- k_t con un parametro radiale di 0.4
 - $p_T > 25 \text{ GeV}$
 - $|\eta| < 2.5$
 - Criteri per eliminare i jet non provenienti dalla collisione
 - Criteri addizionali sul *Jet Vertex Tagger* per i jet con basso p_T
- b-tagged jet:
 - Algoritmo di *b-tagging* (77% di efficienza)
- Reclustered (RCLR) jet:
 - Small-R jet con $p_T > 25 \text{ GeV}$ che passano i criteri di JVT e *overlap removal*
 - *Reclustering* con anti- k_t con un parametro radiale di 1.0
 - Jet con $p_T < 0.05 p_T(\text{RCLR})$ sono rimossi
- Mass-tagged RCLR jet:
 - $p_T > 200 \text{ GeV}$
 - $|\eta| < 2.0$
 - Massa $> 100 \text{ GeV}$

Requirement	Pre-selection requirements	
	Single-lepton	Dilepton
Trigger		Single-lepton triggers
Leptons	1 isolated	2 isolated, opposite-sign
Jets	≥ 5 jets	≥ 4 jets
<i>b</i> -tagged jets	≥ 2 <i>b</i> -tagged jets	
Other	$E_T^{\text{miss}} > 20 \text{ GeV}$ $E_T^{\text{miss}} + m_T^W > 60 \text{ GeV}$	$m_{\ell\ell} > 50 \text{ GeV}$ $ m_{\ell\ell} - 91 > 8 \text{ GeV}$

Regioni di validazione



Risultati

I risultati sono stati combinati con quelli del canale *Same-Signed Dilepton/Trilepton*

