

Misure di sezione d'urto differenziale di produzione di coppie top-antitop quark usando il rivelatore ATLAS di LHC

Francesco La Ruffa (INFN Cosenza & Università della Calabria)
e-mail: francesco.la.ruffa@cern.ch

IFAE 2018

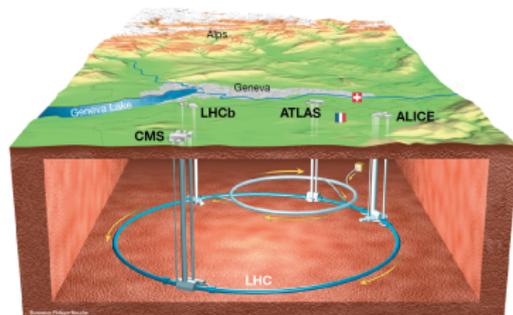
4-6 Aprile 2018



Il rivelatore ATLAS ad LHC

LHC

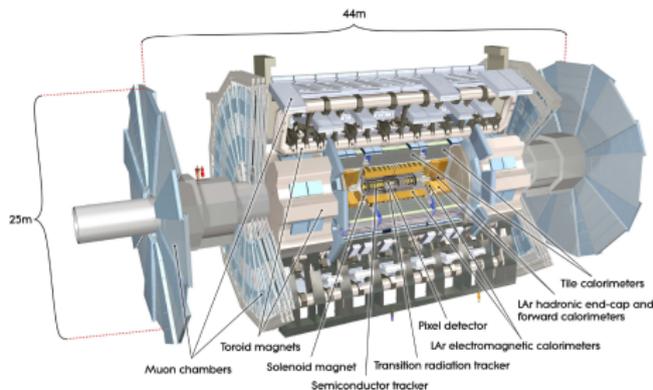
- Large Hadron Collider
- Collisionatore adronico presso il CERN di Ginevra



▶ L. Evans and P. Bryant (editori) JINST 3 (2008) S08001

ATLAS

- **A Toroidal LHC ApparatuS**
- Rivelatore di indirizzo generale



▶ ATLAS Collaboration, JINST 3 (2008) S08003

Perché studiare la fisica del quark Top?

- E' la particella elementare più massiva conosciuta

$$m_t = 173.34 \pm 0.27(\text{stat.}) \pm 0.71(\text{sist.}) \text{ GeV}$$

▶ arXiv:1403.4427

- L'alto valore di m_t implica un grande accoppiamento con il bosone di Higgs
- Il quark Top riveste un ruolo importante in molti scenari oltre il Modello Standard
- Data la sua breve vita media, il quark Top decade prima di adronizzare

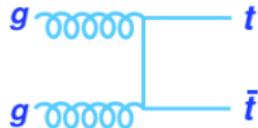
tempo decadimento $t \Rightarrow Wb \sim 10^{-24} \text{ s}$ vs adronizzazione $\sim 10^{-23} \text{ s}$

- Offre un'opportunità unica di studiare le proprietà di un quark "nudo"

Produzione di coppie top-antitop quark ad LHC

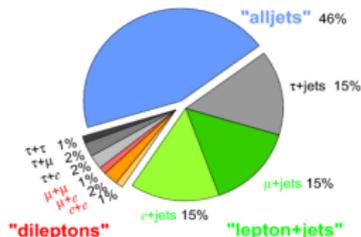


- annichilazione quark-antiquark $\sim 13\%$



- fusione gluone-gluone $\sim 87\%$

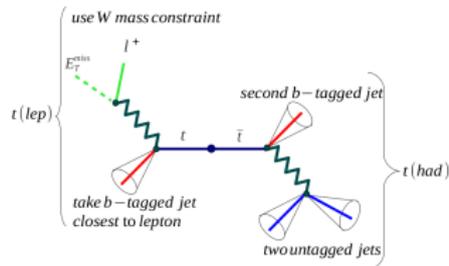
Top Pair Branching Fractions



$t \rightarrow Wb$ (BR $\sim 99\%$)

Segnature degli stati finali

- di-leptonico
- semi-leptonico
- completamente adronico



Sezione d'urto di coppie top-antitop quark

► Plot riassuntivo del gruppo ATLAS Standard Model

Motivazioni per la misura

- Test molto stringenti sulla pQCD (NNLO, NLO+NNLL)

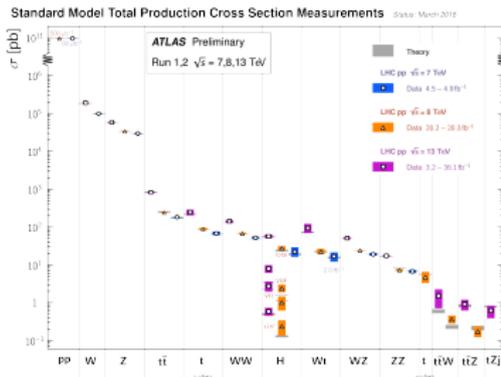
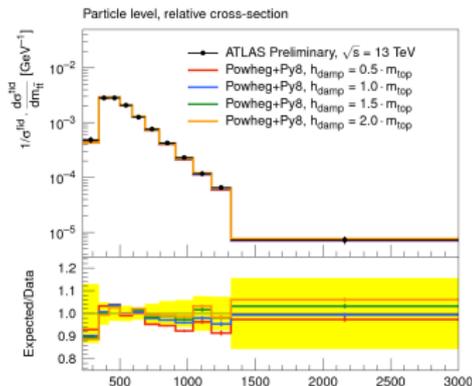
Inclusiva

► Phys.Rev. Lett.110,252004

Differenziale

► Phys.Rev.Lett.116,082003(2016)

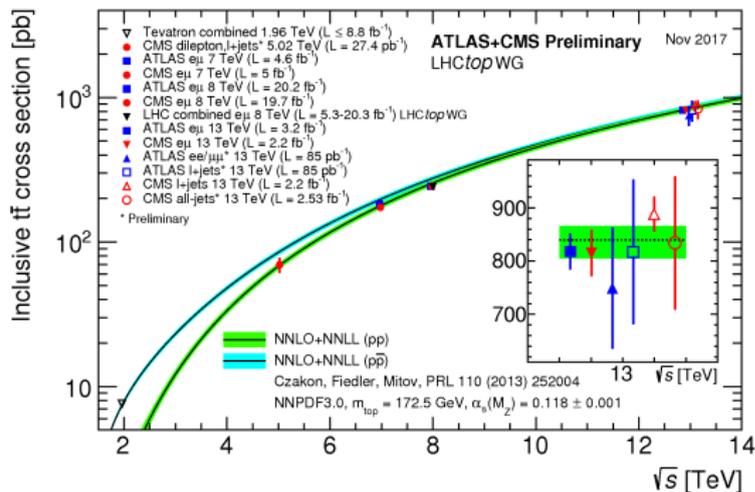
- Alta sensitività alle PDF
 - $t\bar{t} \rightarrow g$



- Miglioramenti nei generatori Monte Carlo
- ATL-PHYS-PUB-2016-020
- Possibilità di ricerca di nuova fisica oltre il SM

Sezione d'urto $t\bar{t}$ totale

► Plot riassuntivo del gruppo ATLAS Top



Predizione teorica @ 13 TeV

$$\sigma_{t\bar{t}}^{13\text{TeV}} = 832^{+40}_{-46} \text{ pb} \quad \text{► arXiv:1303.6254}$$

Più recente misura di ATLAS @ 13 TeV

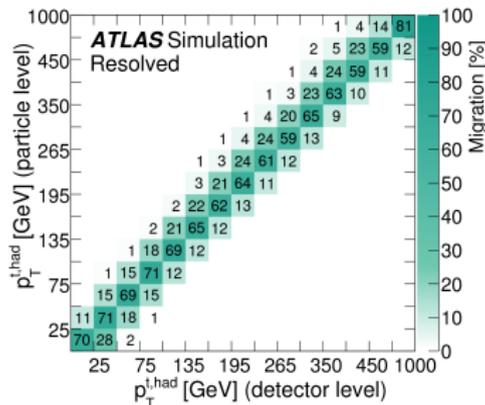
$$\sigma_{t\bar{t}} = 818 \pm 8 \text{ (stat.)} \pm 27 \text{ (sist.)} \pm 19 \text{ (lumi.)} \pm 12 \text{ (beam)} \text{ pb} \quad \text{► arXiv:1606.02699}$$

Ottimo accordo tra le misure e le predizione teoriche al NNLO!

Misure differenziali

► JHEP11(2017)191

- Le diverse distribuzioni differenziali sono sensibili a diversi aspetti della produzione di coppie top-antitop quark
 - Test molto stringenti delle predizioni della QCD
 - Monte Carlo tuning, fit di PDF
- Identificano la presenza di fisica oltre il MS in modifiche della distribuzione
- Tengono conto della risoluzione limitata del rivelatore e ne correggono gli effetti



Livello particle

- Oggetti ricostruiti dalla particelle stabili prima che interagiscano con il rivelatore
- Si applicano i tagli fiduciali, simili a quelli applicati al livello del rivelatore
 - Incertezze dovute alla modellizzazione del processo più piccole
 - Ridotta dipendenza dal generatore

Livello partonico

- top e antitop quark prima di decadere e dopo radiazione
- Misure estrapolate al completo spazio delle fasi
- Possibilità di confrontare i risultati con le più recenti predizioni teoriche

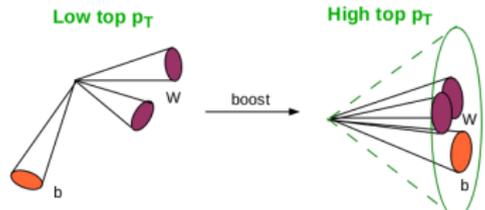
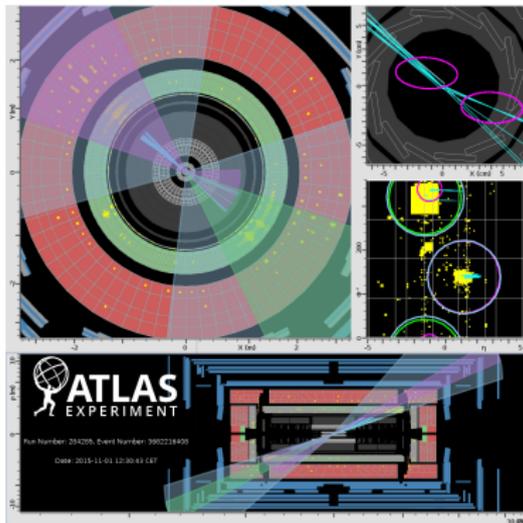
Misure nel regime boosted

▶ TOPO-2016-09

- L'alta energia raggiunta da LHC permette di esplorare un regime cinematico di frontiera (scala del TeV)
- Se il quark top è prodotto con un alto valore di p_T , i prodotti di decadimento avranno un alto boost e saranno contenuti in:

$$\Delta R = \sqrt{\Delta y + \Delta \Phi} \sim \frac{2m}{p_t}$$

- $\Delta R = 1.0$ per $m_t = 173 \text{ GeV}$ e $p_t > 300 \text{ GeV}$



Misure di sezioni d'urto differenziali $t\bar{t}$

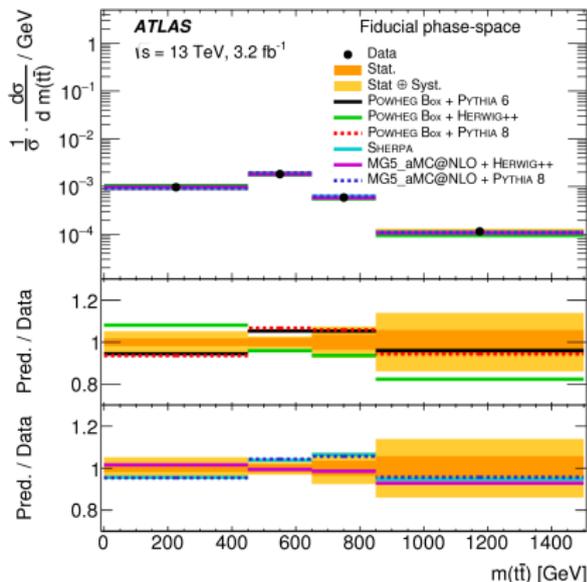
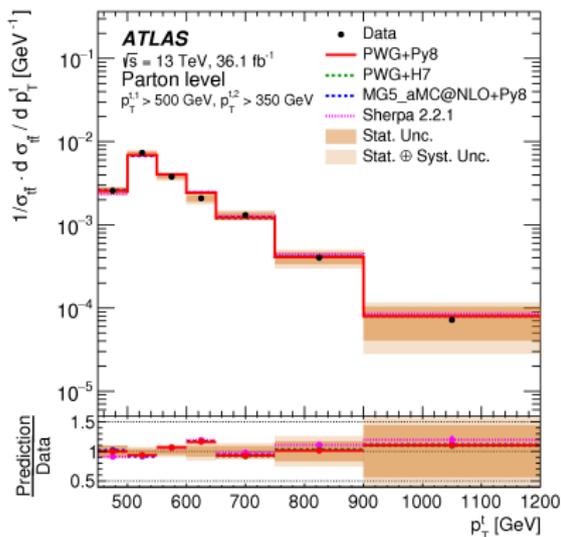
Recenti misure pubblicate nei diversi canali

Canale completamente adronico nel regime boosted @ 13 TeV

▶ arXiv:1801.02052

Canale di-leptonico @ 13 TeV

▶ Eur. Phys. J. C77 (2017) 299



Sezioni d'urto differenziali $t\bar{t}$ nel canale $\ell+\text{jets}$ @ 13 TeV: selezione

► JHEP11(2017)191

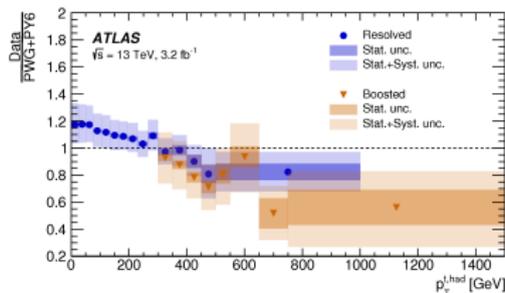
- Due selezioni sono applicate per aumentare l'efficienza in tutto lo spettro in p_T del top

Topologia risolta

- Un singolo leptone (e, μ) ($p_T > 25$ GeV)
- Almeno 4 jet (2 b-tag)
- **Top leptónico**: vincolo sulla massa del bosone W , E_T^{miss} per ricostruire la cinematica del neutrino, b -jet più vicino al leptone
- **Top adronico**: Coppia di jet originati da quark leggeri con massa invariante più vicina alla massa del bosone W , altro b -jet

Topologia boosted

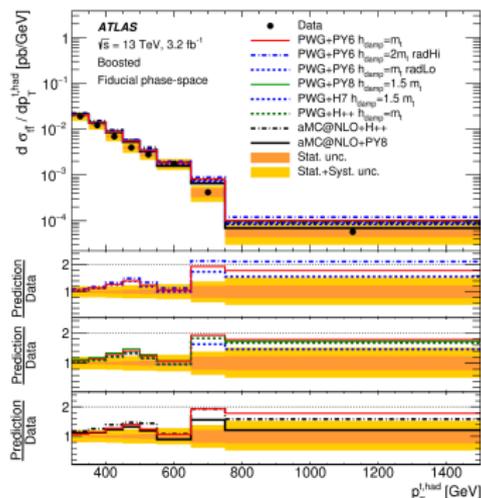
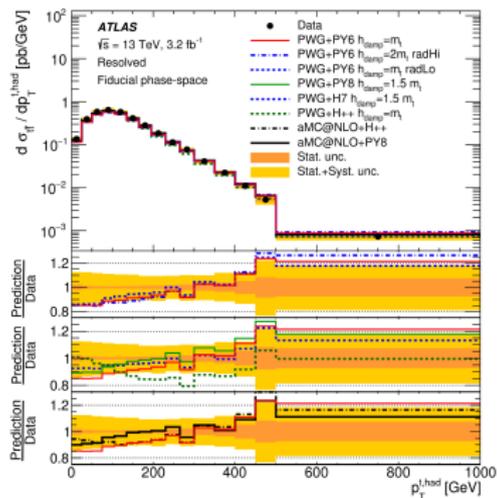
- Un singolo leptone (e, μ) ($p_T > 25$ GeV)
- $E_T^{\text{miss}} > 20$ GeV, $E_T^{\text{miss}} + M_T^W > 60$ GeV
- **Top adronico**: un large-R jet (top tag, $p_T > 300$ GeV)
- Almeno uno small-R jet ($\Delta R < 2.0$ dal leptone)
- Almeno uno small-R jet b -tag



Canale ℓ +jets @ 13 TeV: misure di sezioni d'urto differenziali

► JHEP11(2017)191

- La misura è effettuata in uno spazio delle fasi fiduciale per ridurre l'incertezza relativa all'estrapolazione in regioni non raggiunte dal rivelatore
- Le misure sono confrontate con diverse predizioni NLO



Le diverse predizioni tendono a sovrastimare le misure nella regione ad alto p_T

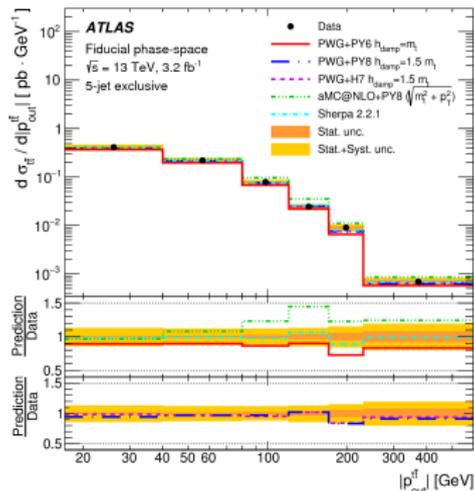
Canale ℓ +jets @ 13 TeV: Misura di sezioni d'urto differenziali in regioni esclusive di jet

► arXiv:1802.06572

- L'obiettivo è di sfruttare l'elevato numero di coppie top-antitop quark prodotte e misurare sezioni d'urto differenziali in regioni esclusive di jet aggiuntivi
- Stessa selezione usata nella misura inclusiva per la topologia risolta

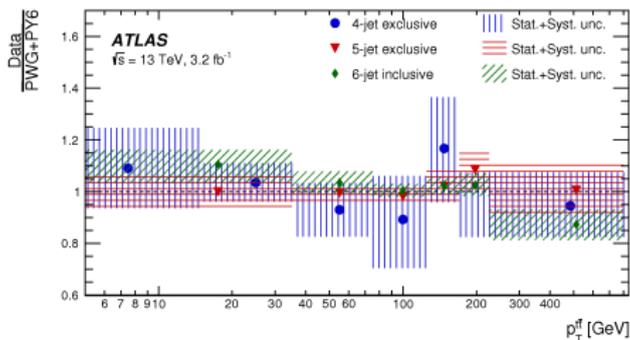
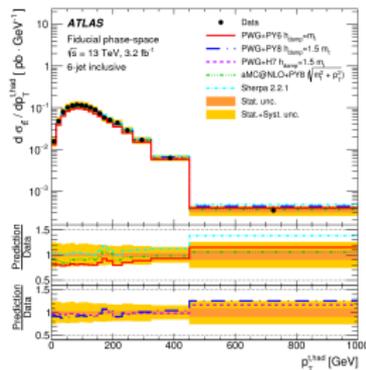
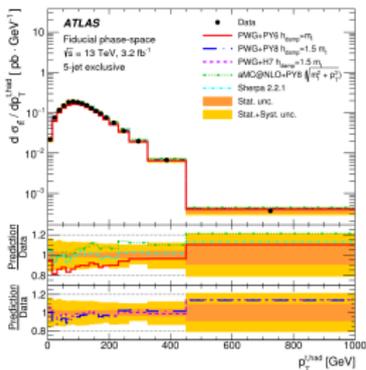
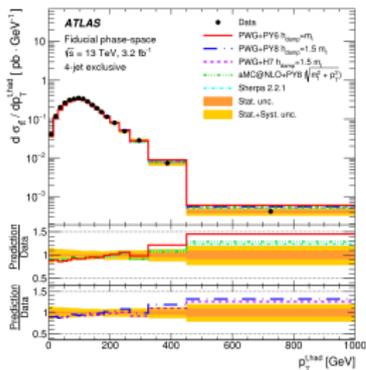
Le variabili d'interesse sono:

- p_T del Top adronico: verificare come la modellizzazione non ottimale dipenda dal numero di jet aggiuntivi
- p_T del sistema $t\bar{t}$: variabile estremamente sensibile a radiazione aggiuntiva
- $|p_{out}^{t\bar{t}}|$: studi pubblicati sulla modellizzazione del top quark
► ATL-PHYS-PUB-2016-020 mostrano che questa è un'altra variabile sensibile alla radiazione aggiuntiva



Canale $\ell + \text{jets}$ @ 13 TeV: Misura di sezioni d'urto differenziali in regioni esclusive di jet

► arXiv:1802.06572



Piani per il Run-2

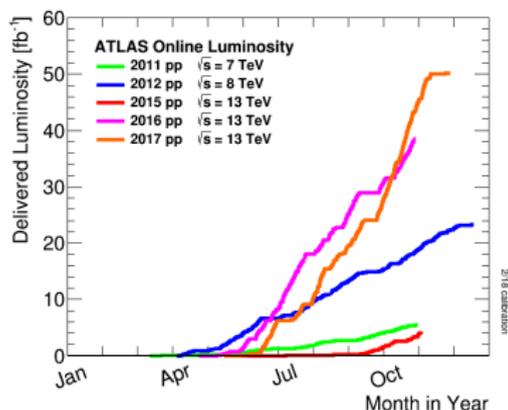
Misurare le sezioni d'urto differenziali $t\bar{t}$ in funzione di diverse osservabili al livello particle e partonico, nelle topologie risolta e boosted, includendo le sezioni d'urto doppio differenziali

- Aggiungere **variabili aggiuntive**
- Ricostruire il **sistema $t\bar{t}$ nella topologia boosted**
- Uso dell'approccio del **re-clustering** nella topologia boosted
- Estrapolare la misura al completo spazio delle fasi (**livello partonico**)
- Studiare **la regione di transizione** tra il regime risolto e quello boosted
- **Riduzione delle incertezze sistematiche**
- Estensione della misura: **estrarre la massa del top quark** dalle distribuzioni **doppio differenziali**

Conclusioni

- Le misure inclusive e differenziali mostrano un **buon accordo con il Modello Standard**
- Le misure di sezione d'urto differenziali $t\bar{t}$ possono essere usate per il **tuning dei generatori Monte Carlo** e per effettuare **fit delle PDF**
- **Le tecniche boosted** possono essere sfruttate per estrarre le sezioni d'urto anche in regioni dove il top quark possiede un alto valore di p_T
- L'aumento della luminosità integrata permetterà di **ridurre ulteriormente le incertezze statistiche e sistematiche** delle misure
- Possibilità di effettuare **test ancora più stringenti alle predizioni teoriche del Modello Standard**

► Plot riassuntivo di luminosità per ATLAS



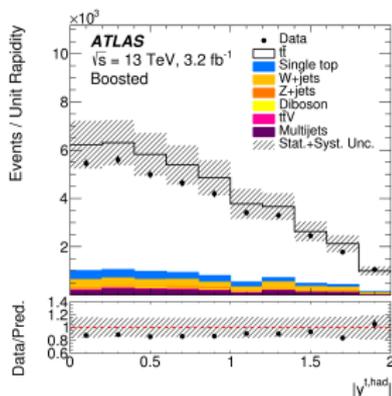
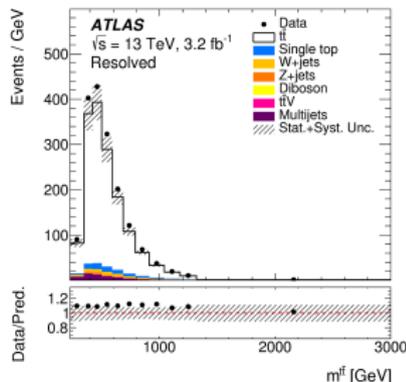
Backup slides

Dopo aver applicato la selezione, l'analisi procede seguendo diversi passi:

Stima dei principali fondi:

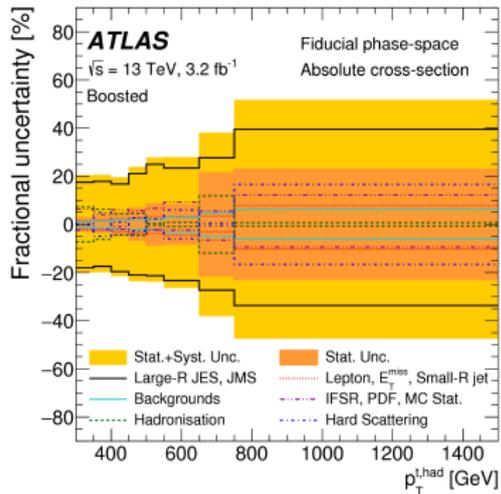
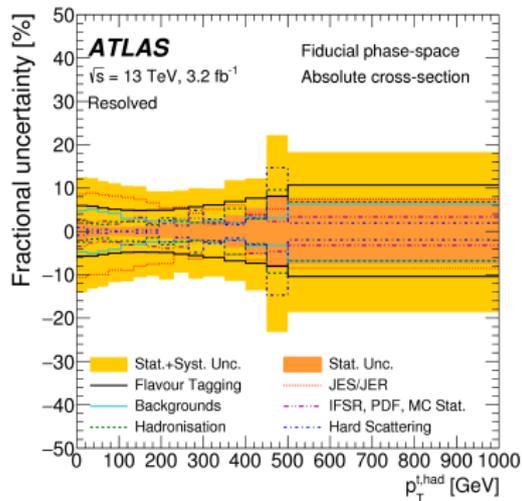
- **Simulazione Monte Carlo:** Single top, Z+jets, Diboson, $t\bar{t}V$
- **Data driven:** W+jets, Multijet

- Stima delle correzioni: accettazione, efficienza e matrici di migrazione
- Unfolding nello spazio delle fasi fiduciale per rimuovere gli effetti della limitata accettazione e di risoluzione del rivelatore
- Stima delle incertezze sistematiche
- Confronto tra i risultati e le diverse predizioni teoriche al NLO



Canale ℓ +jets @ 13 TeV: incertezze sistematiche

► JHEP11(2017)191



Il contributo dominante all'incertezza nell'analisi **risolta** è rappresentato dalla modellizzazione del quark top, dalla Jet Energy Scale e il flavour tagging

Il contributo maggiore all'incertezza nell'analisi **boosted** è rappresentato dalla statistica e alla Jet Energy Scale del Large-R jet

Definizione di $|p_{out}^{t\bar{t}}|$

Questa variabile è la proiezione del momento tridimensionale del quark top nella direzione perpendicolare al piano definito dall'altro quark top e l'asse del fascio nel sistema di riferimento del laboratorio

$$p_{out}^{t\bar{t}} = p_{t, \text{had}}^{\vec{}} \cdot \frac{p_{t, \text{lep}}^{\vec{}} \times \vec{Z}}{|p_{t, \text{lep}}^{\vec{}} \times \vec{Z}|}$$