



101° CONGRESSO SIF



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

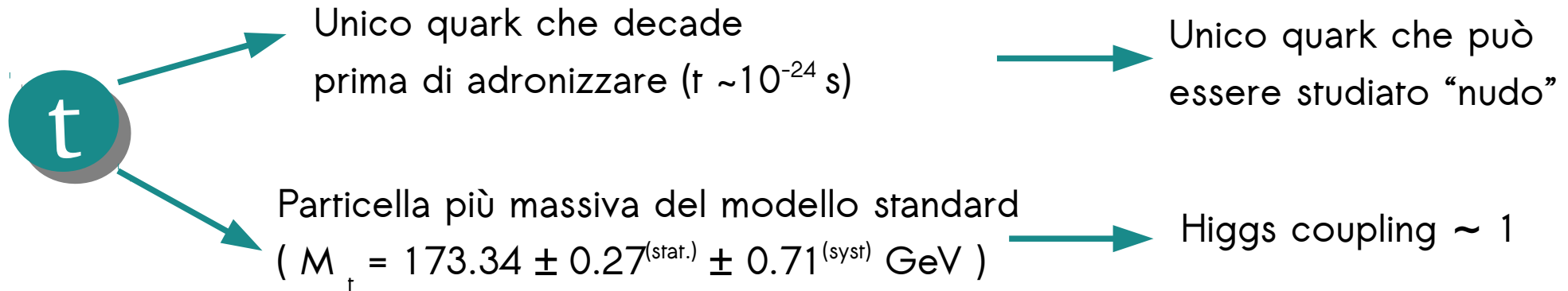


Misura della sezione d'urto differenziale di produzione di coppie $t\bar{t}$ ad alto p_T all'esperimento ATLAS

Federica Fabbri

Università di Bologna e INFN sezione di Bologna

Introduzione: il quark top ad alto p_T

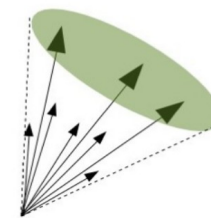
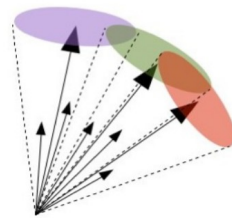
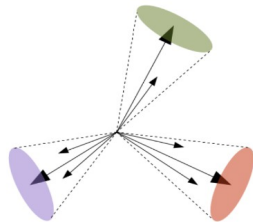


Ricostruzione:

Il decadimento adronico del quark top ($t \rightarrow Wb \rightarrow q\bar{q}'b$), viene generalmente ricostruito nel rivelatore ricostruendo 3 jet (derivanti dall' adronizzazione dei quark). (BR 66%)

top quark p_T elevato \rightarrow i prodotti del decadimento risultano parzialmente o totalmente sovrapposti nel rivelatore, quindi è necessario utilizzare nuove tecniche di identificazione e selezione.

3 jet ricostruiti con
 $R = \sqrt{\Delta \eta^2 + \Delta \varphi^2} = 0.4$



1 jet ricostruito con
 $R = \sqrt{\Delta \eta^2 + \Delta \varphi^2} = 1$

Motivazioni

Fisiche

- Test delle previsioni del modello standard in regioni cinematiche precedentemente mai raggiunte.
- Sensibilità a modelli di nuova fisica.
- Possibilità di migliorare i fit sulle funzioni di distribuzione partonica e i parametri dei Monte Carlo.

Tecniche

- Nuove tecniche di ricostruzione del top utilizzate per aumentare l'efficienza di selezione e ricostruzione nella regione di alto impulso.
- Fondamentale nell'attuale presa dati dove le particelle ad alto impulso vengono create con maggiore statistica e in cui la ricerca di nuova fisica si spinge verso masse invarianti sempre più elevate.

Misura della sezione d'urto

- Selezione degli eventi.
- Valutazione dell'efficienza e della risoluzione del detector (Unfolding).
- Valutazione delle incertezze (statistica e sistematica).
- Misura della sezione d'urto differenziale:
 - particle level nella regione fiduciale: definizione a livello del generatore MC di oggetti ricostruiti nel detector (jet, energia trasversa mancante..) a cui è applicata la stessa selezione degli eventi adottata nella ricostruzione. Utilizzata per ridurre incertezze dovute ai diversi generatori e all'estrapolazione a tutto lo spazio delle fasi.
 - parton level: estrapolazione a tutto lo spazio delle fasi ($p_T > 300$ GeV).
- Interpretazione statistica dei risultati e confronto con i modelli teorici.

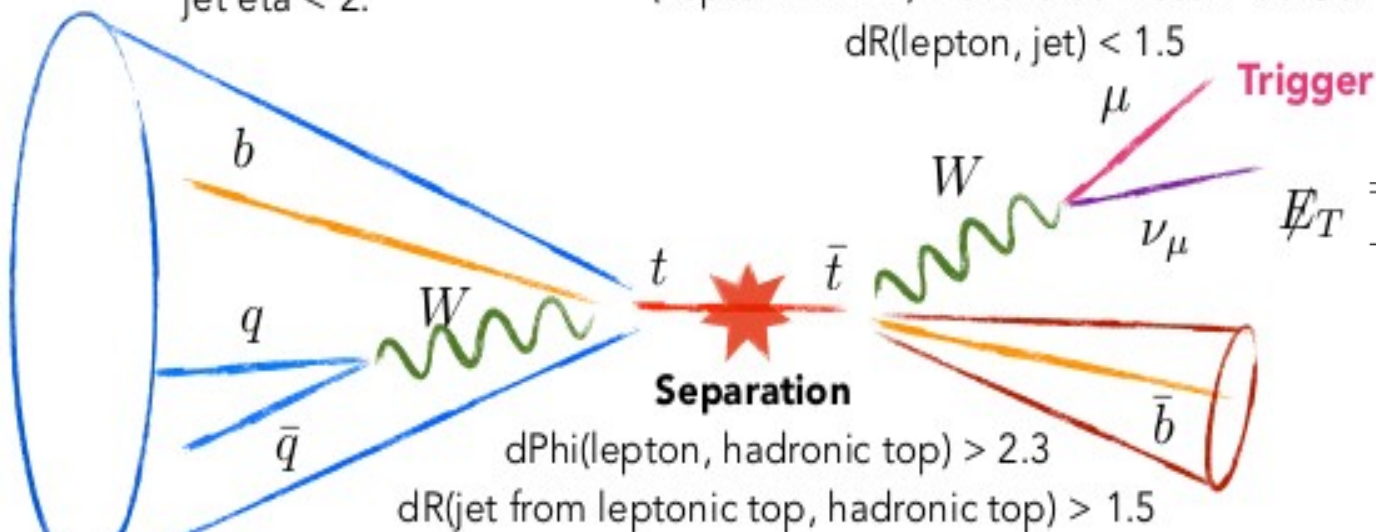
Selezione degli eventi-I

Hadronic top (Large R=1.0 jet - Trimmed)

jet $p_T > 300$ GeV
jet mass > 100 GeV
jet 1st splitting scale > 40 GeV
jet $\eta < 2$.

Leptonic top (lepton + MET + closest standard R=0.4 jet)

jet $p_T > 25$ GeV
muon $p_T > 25$ GeV
Missing Energy (MET) > 20 GeV
(Lepton + MET) Transverse Mass > 60 GeV
 $dR(\text{lepton, jet}) < 1.5$



At least 1 b-tagged jet associated with a top

Eventi selezionati per i dati raccolti, il Monte Carlo di segnale utilizzato e i principali fondi.

($L_{\text{int}} = 20.3 \text{ fb}^{-1}$, $\sqrt{s}=8 \text{ TeV}$)

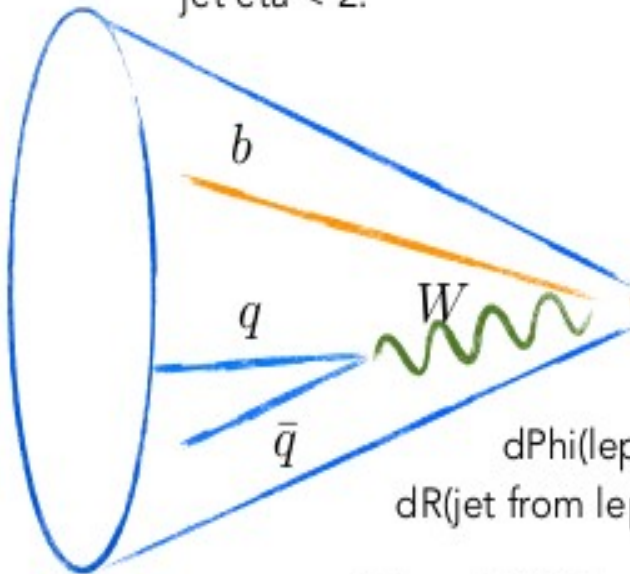
	$e+\text{jets}$	$\mu+\text{jets}$
$t\bar{t} \ell+\text{jets}$	3880 ± 430	3420 ± 380
$t\bar{t}$ dilepton	199 ± 27	169 ± 24
$W+\text{jets}$	235 ± 54	226 ± 50
Single top	133 ± 22	134 ± 29
Multijet	91 ± 17	3 ± 1
$Z+\text{jets}$	34 ± 18	14 ± 8
Dibosons	22 ± 12	18 ± 10
Prediction	4600 ± 470	3980 ± 410
Data	4145	3603

ATLAS-TOPQ-2014-15

Selezione degli eventi-I

Hadronic top (Large R=1.0 jet - Trimmed)

- jet $p_T > 300$ GeV
- jet mass > 100 GeV
- jet 1st splitting scale > 40 GeV
- jet $\eta < 2$.

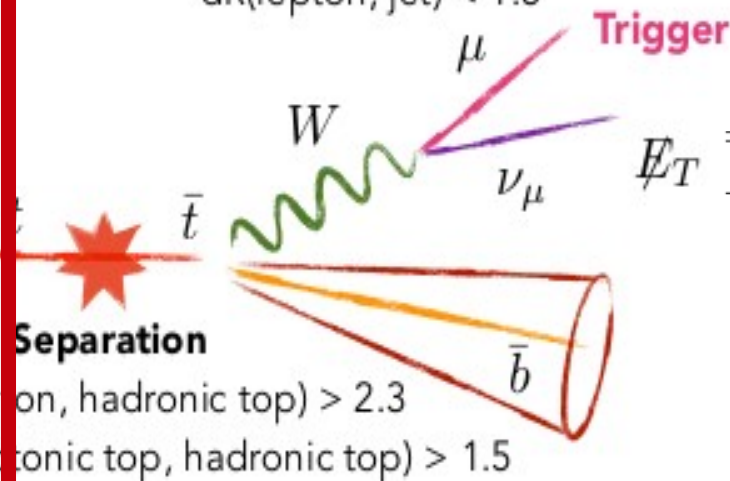


At least 1 b-tagged jet associated with a top

Leptonic top

(lepton + MET + closest standard R=0.4 jet)

- jet $p_T > 25$ GeV
- muon $p_T > 25$ GeV
- Missing Energy (MET) > 20 GeV
- Lepton + MET) Transverse Mass > 60 GeV
- $dR(\text{lepton, jet}) < 1.5$



Separation

$d\Phi(\text{lepton, hadronic top}) > 2.3$

$dR(\text{jet from leptonic top, hadronic top}) > 1.5$

Eventi selezionati per i dati raccolti, il Monte Carlo di segnale utilizzato e i principali fondi.

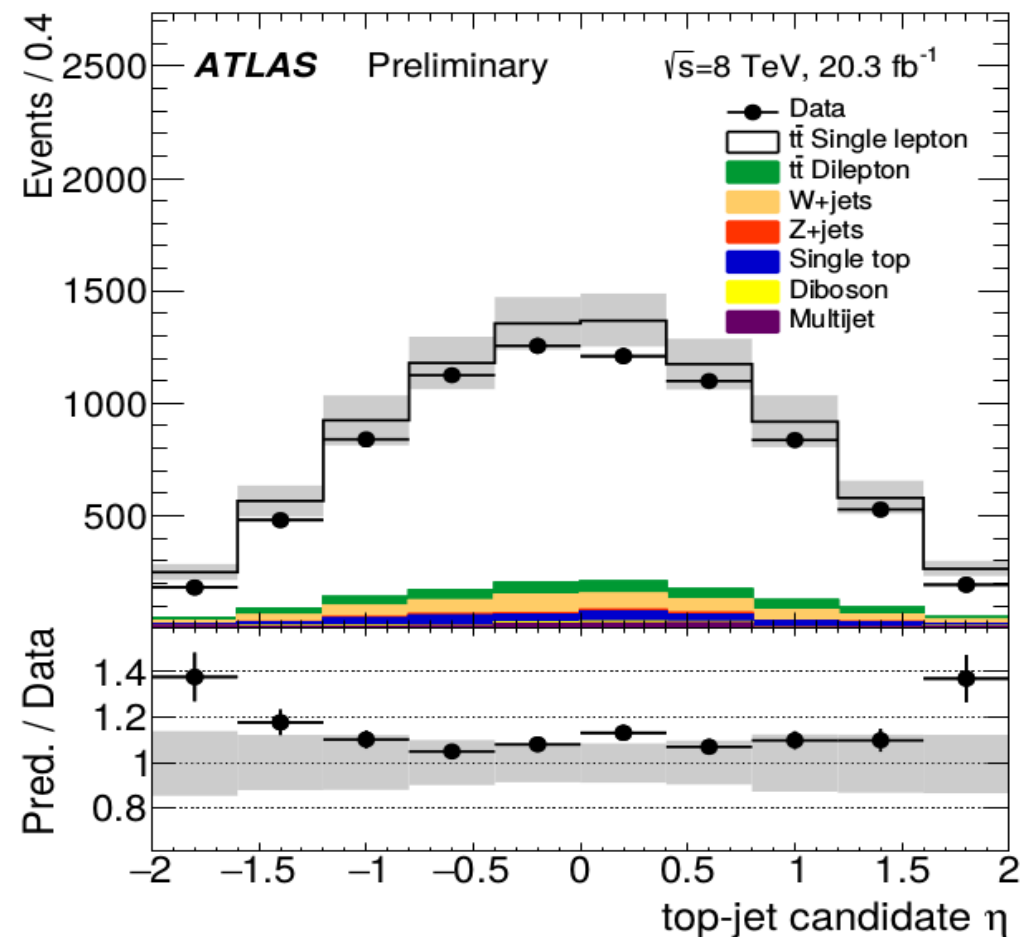
($L_{\text{int}} = 20.3 \text{ fb}^{-1}$, $\sqrt{s}=8 \text{ TeV}$)

	$e+\text{jets}$	$\mu+\text{jets}$
$t\bar{t} \ell+\text{jets}$	3880 ± 430	3420 ± 380
$t\bar{t}$ dilepton	199 ± 27	169 ± 24
$W+\text{jets}$	235 ± 54	226 ± 50
Single top	133 ± 22	134 ± 29
Multijet	91 ± 17	3 ± 1
$Z+\text{jets}$	34 ± 18	14 ± 8
Dibosons	22 ± 12	18 ± 10
Prediction	4600 ± 470	3980 ± 410
Data	4145	3603

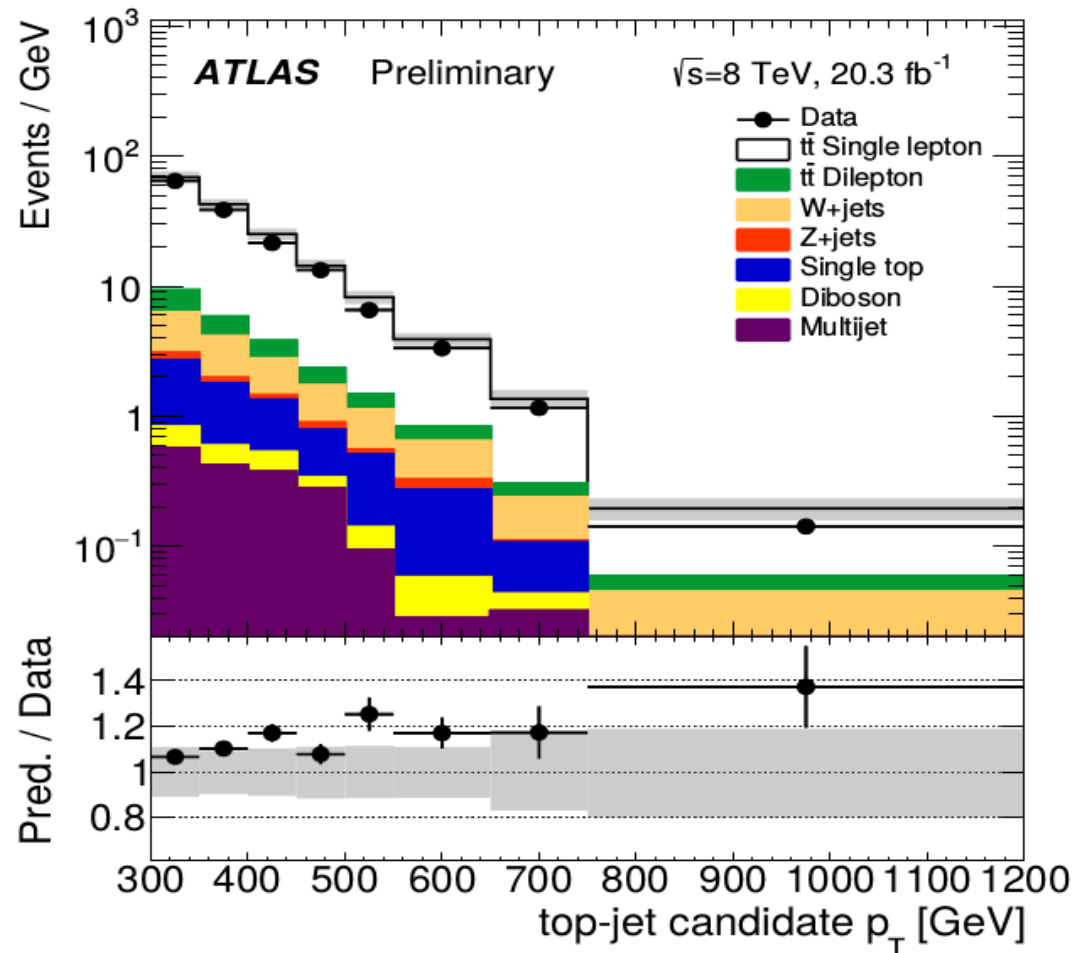
ATLAS-TOPQ-2014-15

Selezione degli eventi-II

ATLAS-TOPQ-2014-15



ATLAS-TOPQ-2014-15



- Le bande di errore contengono incertezze statistiche e sistematiche.
- Ad alto impulso trasverso le previsioni Monte Carlo sovrastimano i dati di circa una σ .

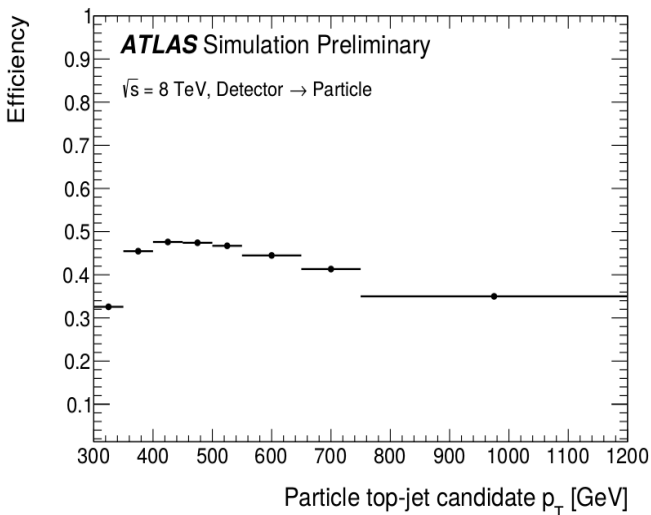
Unfolding

- I canali muonico ed elettronico sono combinati sommando i campioni e+jets e μ +jets. (numero atteso di eventi confrontabile, efficienze simili, stessa selezione al particle level).
- Lo spettro al particle level corretto per risoluzione ed efficienze introdotte dal detector è ottenuto come:

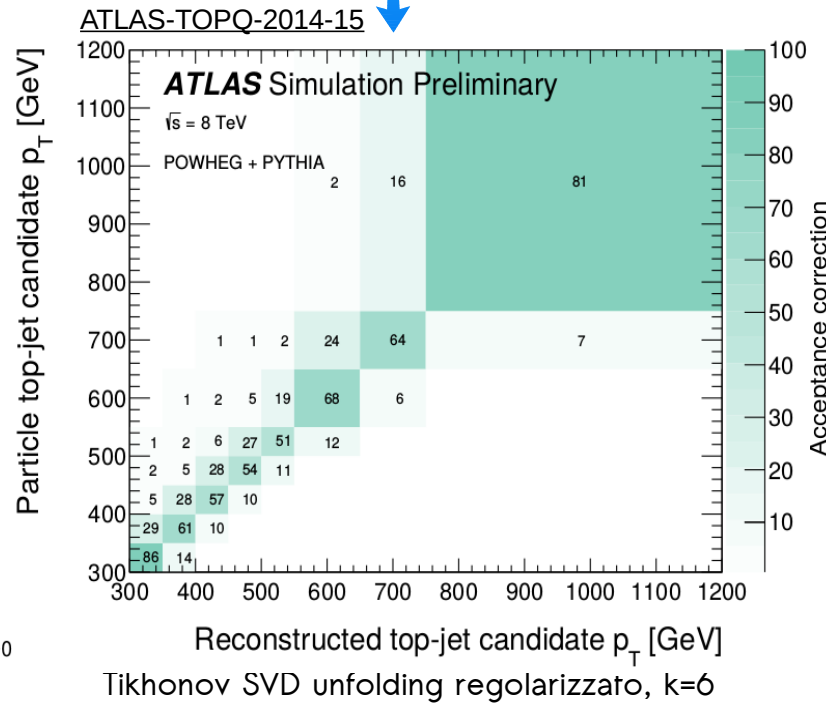
$l, j = \text{bin della distribuzione in } p_T$

$$N_{part}^i = \frac{1}{f_{part!reco}^i} \sum_j (M^{-1})_{reco,j}^{part,i} f_{reco!part}^j (N_{reco}^j - N_{reco,bkg}^j)$$

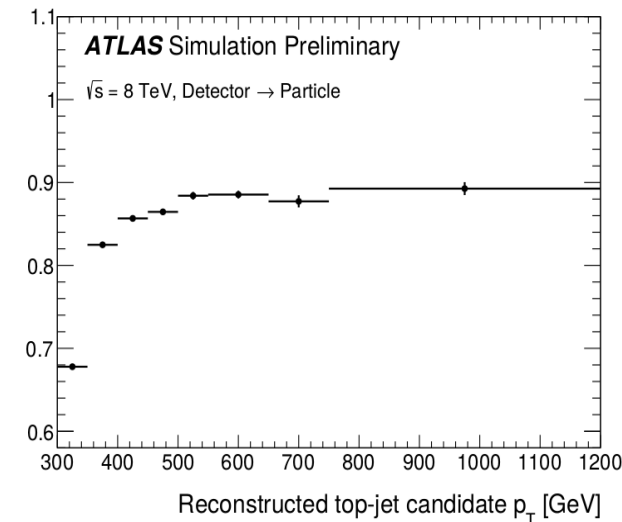
$$f_{part!reco}^i = \frac{N_{passing\ reco \wedge particle}}{N_{passing\ particle}}$$



ATLAS-TOPQ-2014-15



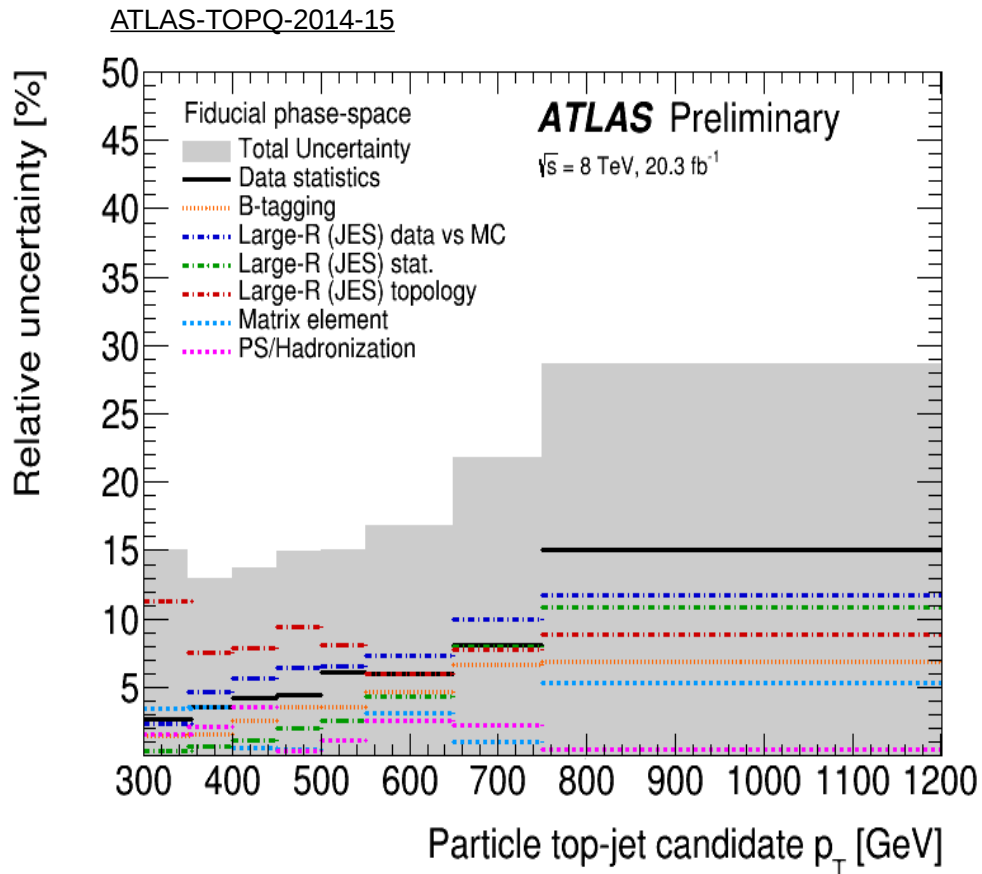
$$f_{reco!part}^j = \frac{N_{passing\ reco \wedge particle}}{N_{passing\ reco}}$$



ATLAS-TOPQ-2014-15

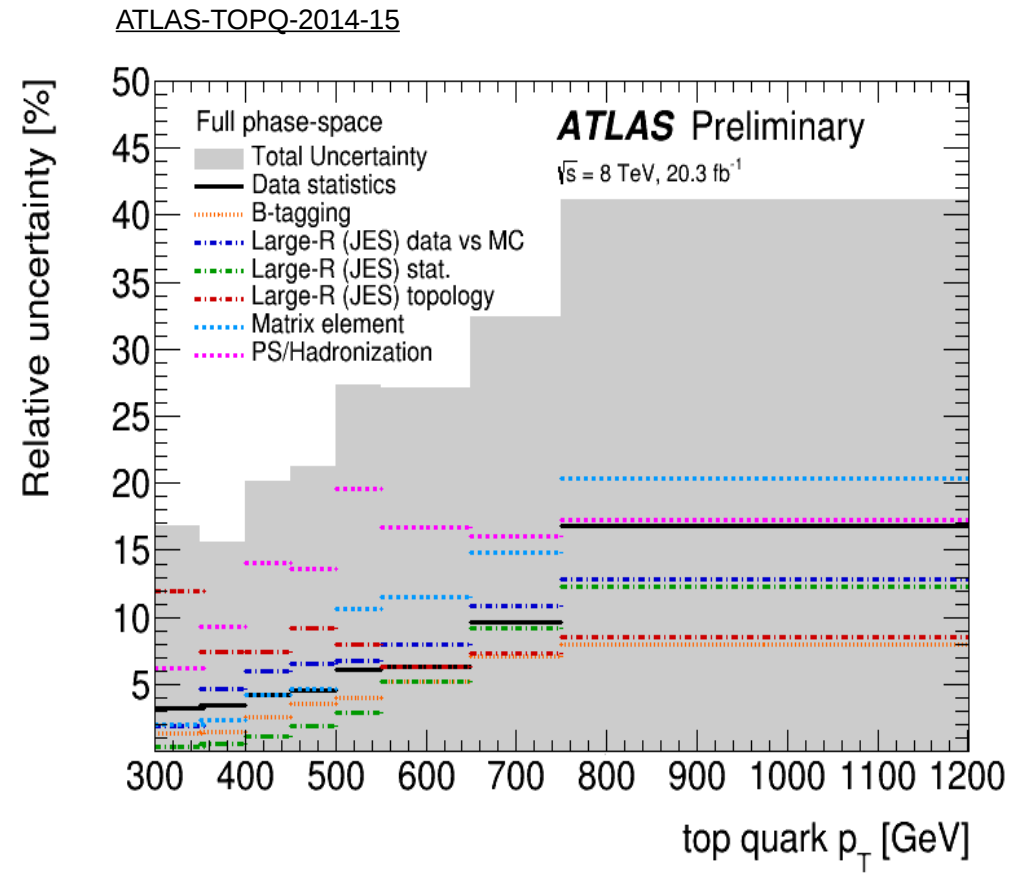
Valutazione delle incertezze

Principali incertezze a livello **particle**.



Le incertezze principali derivano dalle componenti della Jet Energy Scale (JES) e dalla statistica dei dati.

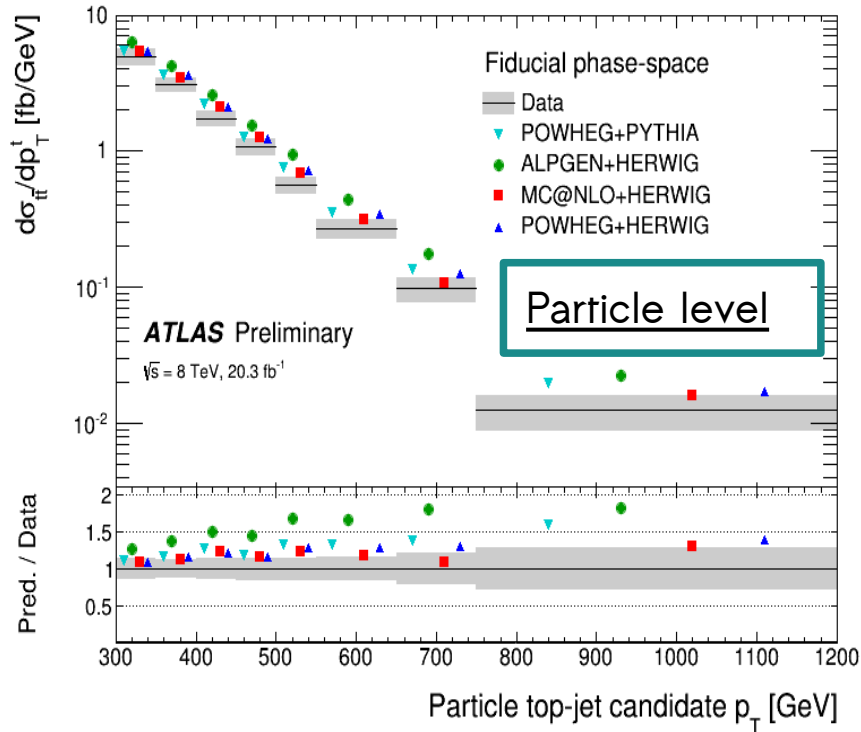
Principali incertezze a livello **parton**.



Le incertezze del generatore (Matrix element e Parton Shower/adronizzazione) diventano dominanti.

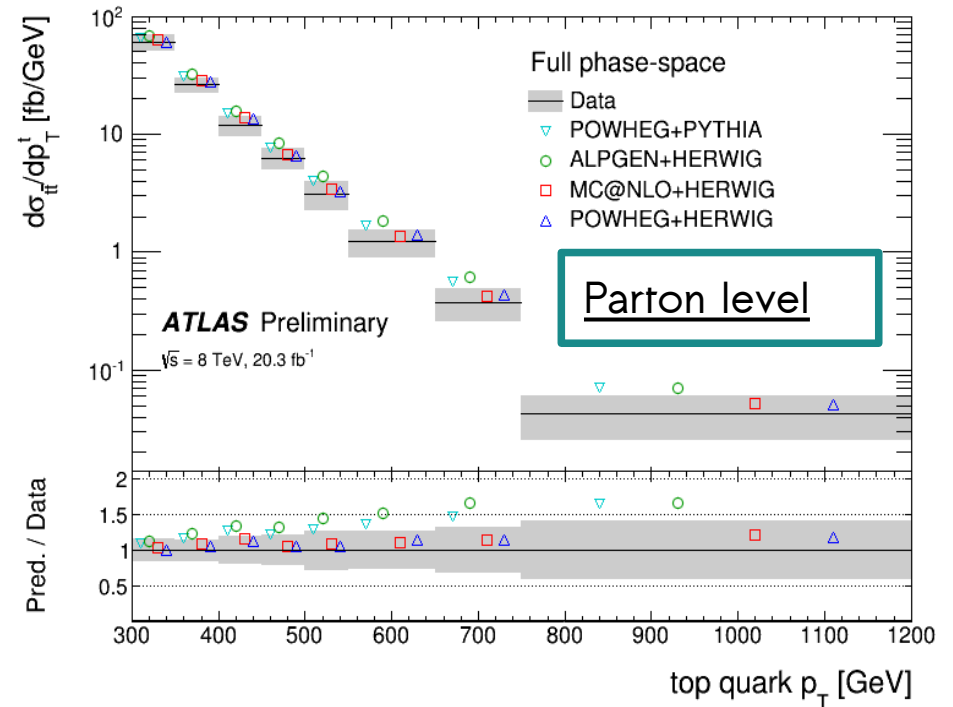
Risultati-I

ATLAS-TOPQ-2014-15

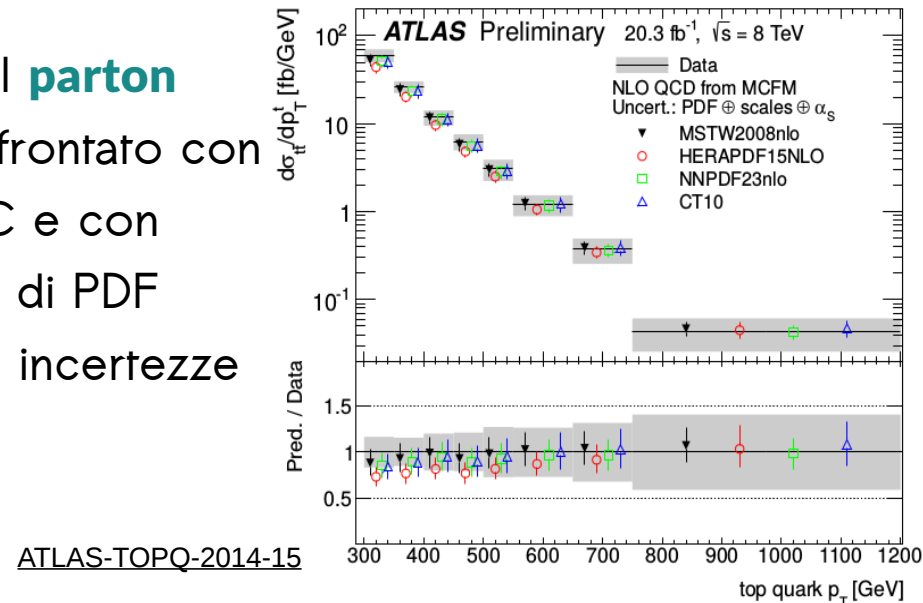


Risultato al **particle level**, confrontato con diversi generatori Monte Carlo (MC) normalizzati alla sezione d'urto teorica calcolata al NNLO.

ATLAS-TOPQ-2014-15



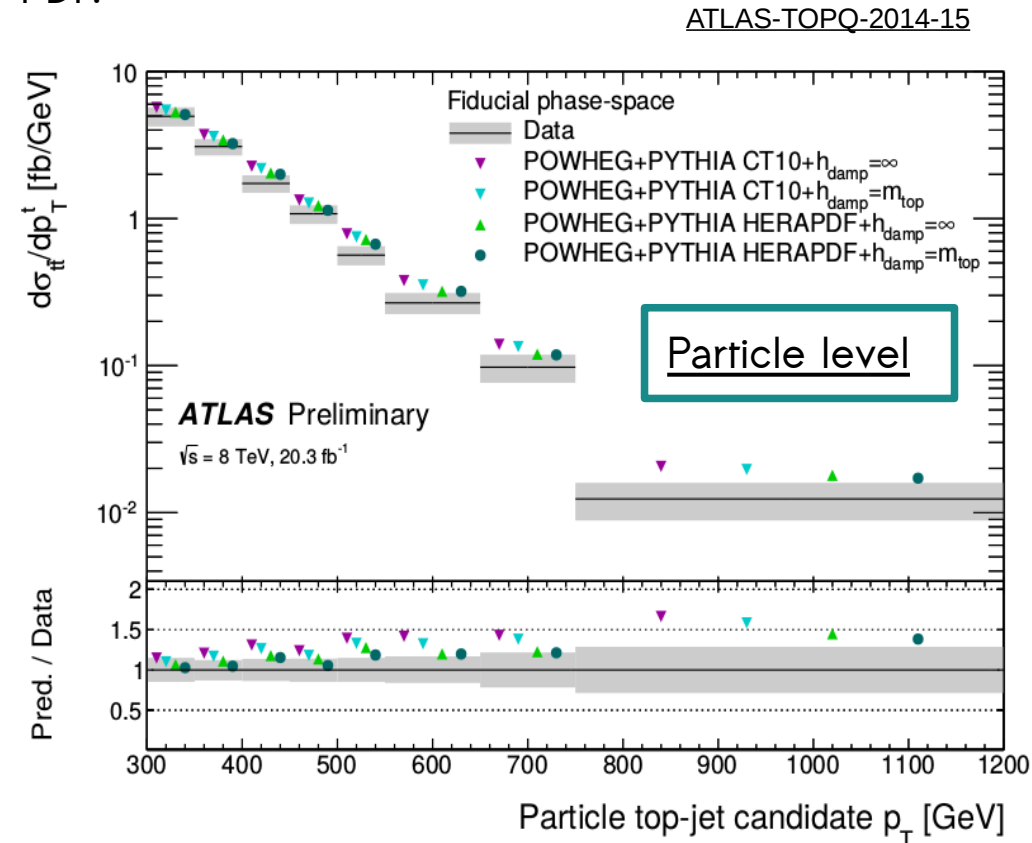
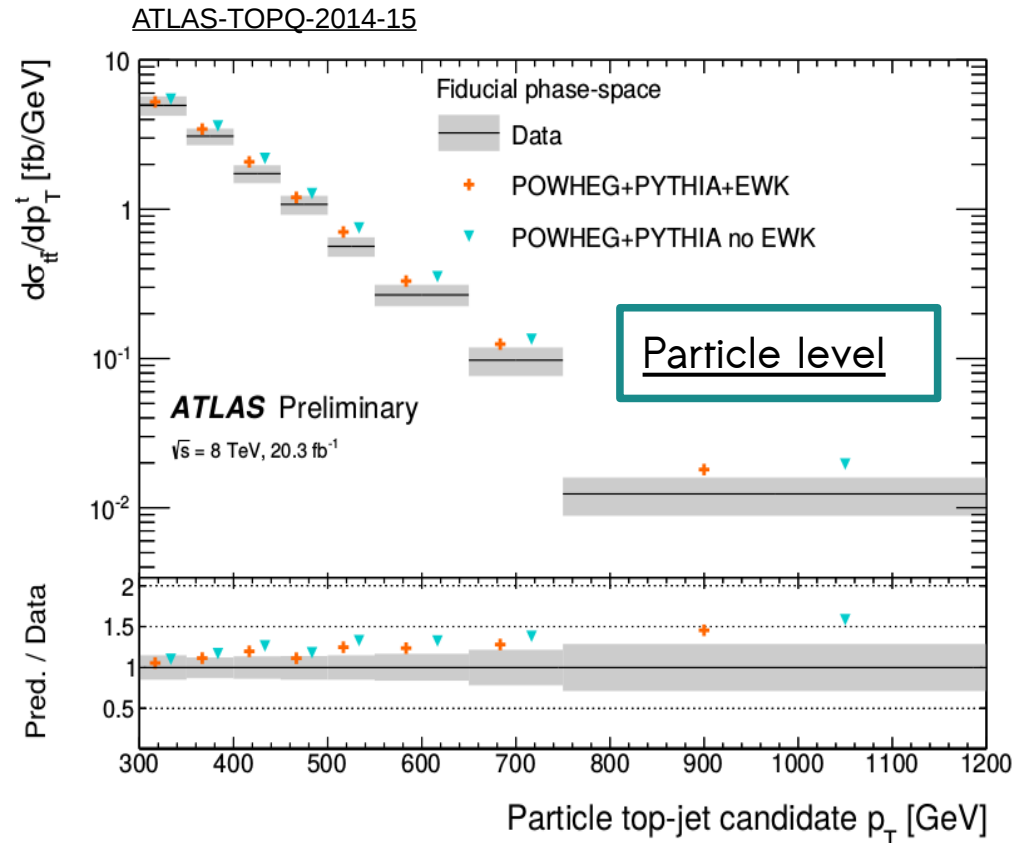
Risultato al **parton level**, confrontato con diversi MC e con diversi set di PDF (inserite le incertezze teoriche)



Risultati-II

Confronto con generatori MC per testare l'effetto delle correzioni elettrodeboli (Hathor 2.1).

Confronto con generatori MC per testare l'effetto della variazione del parametro h_{damp} (regola le radiazioni ad alto p_T) e della variazione del set di PDF.



La predizione MC POWHEG+PYTHIA che utilizza il set di PDF HERAPDF mostra il migliore accordo MC/Data. Anche l'inserimento delle correzioni elettrodeboli e l'utilizzo del parametro $h_{\text{damp}} = M_T$ riducono la sezione d'urto ad alto p_T .

Interpretazione statistica dei risultati

Il confronto tra le diverse predizioni dei generatori MC e i dati misurati è effettuato misurando il χ^2 delle diverse predizioni.

$$\chi^2 = (Data - MC)^T Cov^{-1} (Data - MC)$$

La matrice di covarianza è calcolata valutando, oltre alle sistematiche, tutte le correlazioni introdotte dall'unfolding e presenti tra le diverse sistematiche.

Test statistici effettuati per il particle level (d.o.f. 8):

MC generator	PDF	χ^2 /d.o.f.	Il calcolo del χ^2 mostra che le differenze tra generatori MC e dati non risultano significative. Solo il generatore ALPGEN+HERWIG mostra una discrepanza significativa rispetto alla misura.
POWHEG+PYTHIA $h_{\text{damp}} = m_{\text{top}} + \text{Electroweak corr}$	CT10	9.8/8	
POWHEG+PYTHIA $h_{\text{damp}} = m_{\text{top}}$	CT10	13.0/8	
POWHEG+PYTHIA $h_{\text{damp}} = \infty$	CT10	15.6/8	
POWHEG+PYTHIA $h_{\text{damp}} = m_{\text{top}}$	HERAPDF	9.4/8	
POWHEG+PYTHIA $h_{\text{damp}} = \infty$	HERAPDF	10.9/8	
POWHEG+HERWIG	CT10	8.2/8	
MC@NLO+HERWIG	CT10	12.3/8	
ALPGEN+HERWIG	CTEQ6	33.1/8	

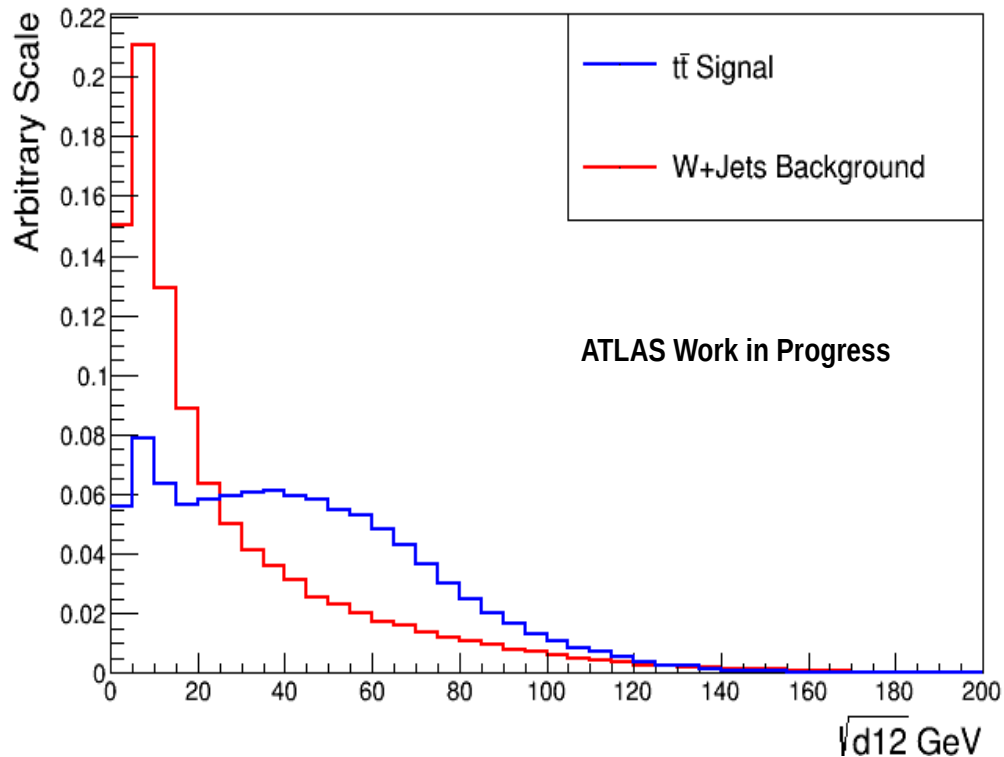
Conclusioni

- E' stata effettuata la prima misura di sezione d'urto differenziale di produzione di coppie $t\bar{t}$ in una regione ad alto impulso trasverso.
- La misura ottenuta è stata confrontata con diversi generatori Monte Carlo che, considerando le statistiche e la sistematica ottenute, risultano generalmente in accordo con la misura.
- I risultati preliminari di questa misura sono stati pubblicati in una CONF NOTE di ATLAS: ATLAS-CONF-2014-057 e i risultati finali della misura sono stati riportati alla conferenza internazionale Top2015 e l'articolo è stato sottoposto alla rivista Phys. Rev D.
- Le tecniche utilizzate in questa analisi verranno utilizzate e raffinate nella misura della sezione d'urto differenziale di produzione $t\bar{t}$ a 13 TeV, dove aumenterà la probabilità di produrre particelle massive ad alto impulso trasverso.

BACK UP

Rejection\Efficiency Curve

Studio di efficienza del taglio su $\sqrt{d_{12}}$ per discriminare segnale e bkg.

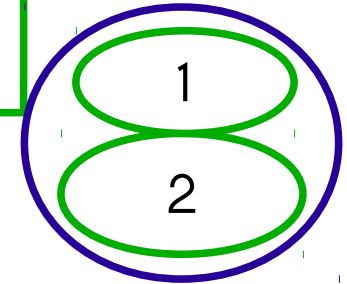


$$\text{Reiezione}_{\text{fondo}} = 1 - \epsilon_{\text{fondo}}$$

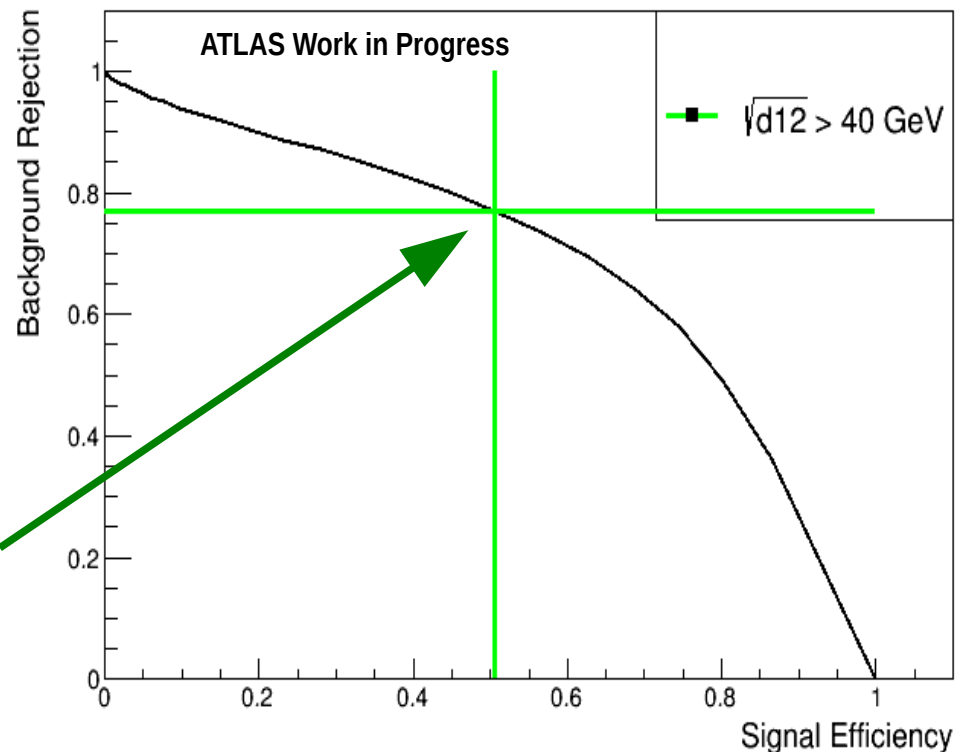
Taglio che massimizza il rapporto segnale su fondo

$$\sqrt{d_{12}} = \min(p_{1T}, p_{2T}) \Delta R_{12}$$

Dove 1 e 2 sono i
subjet con più alto p_T



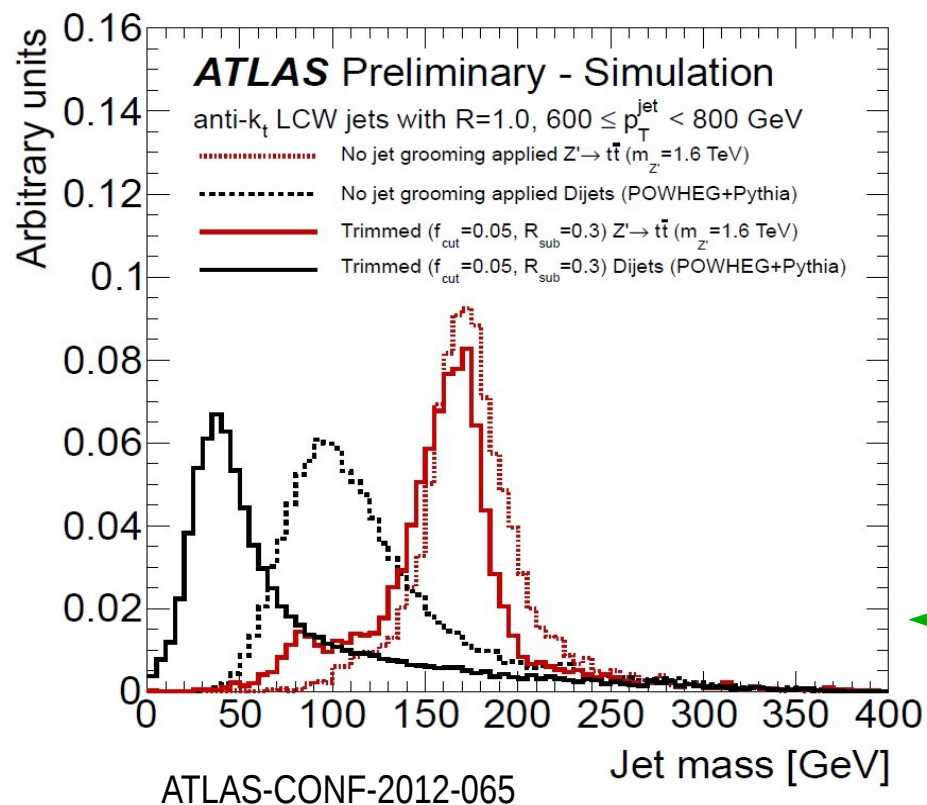
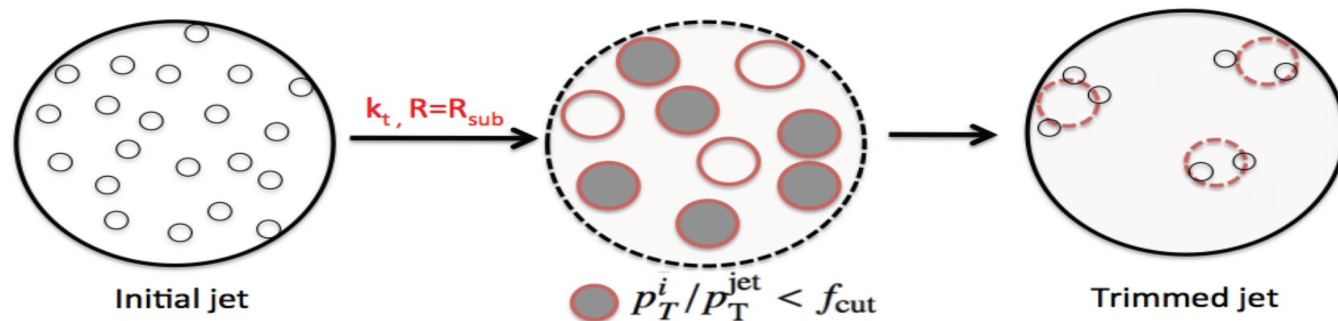
d12 ROC curve



Trimming

Grooming Algorithms

rimuovono dal large-R jet componenti dovute al pile-up o underlying events.



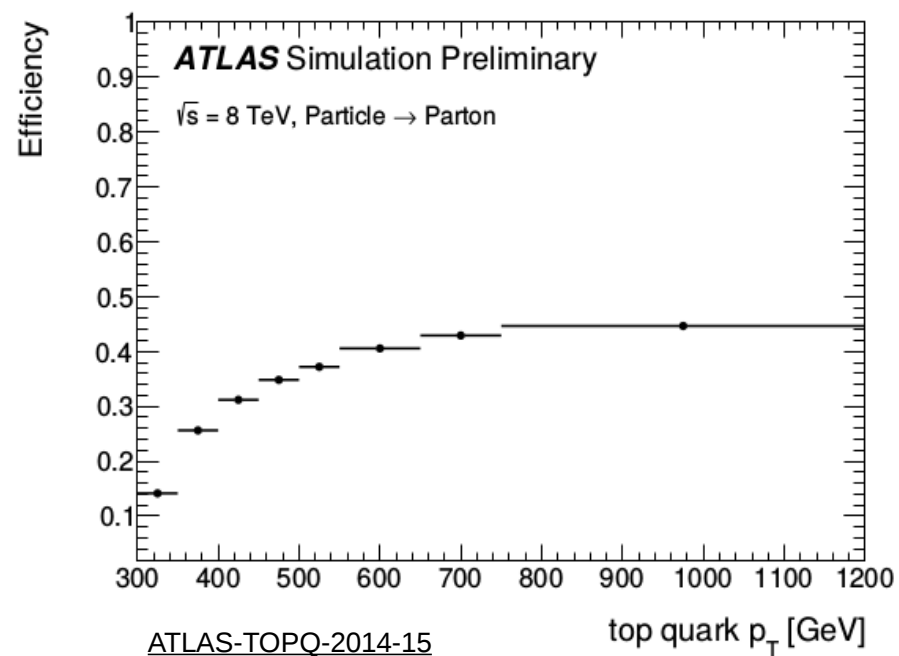
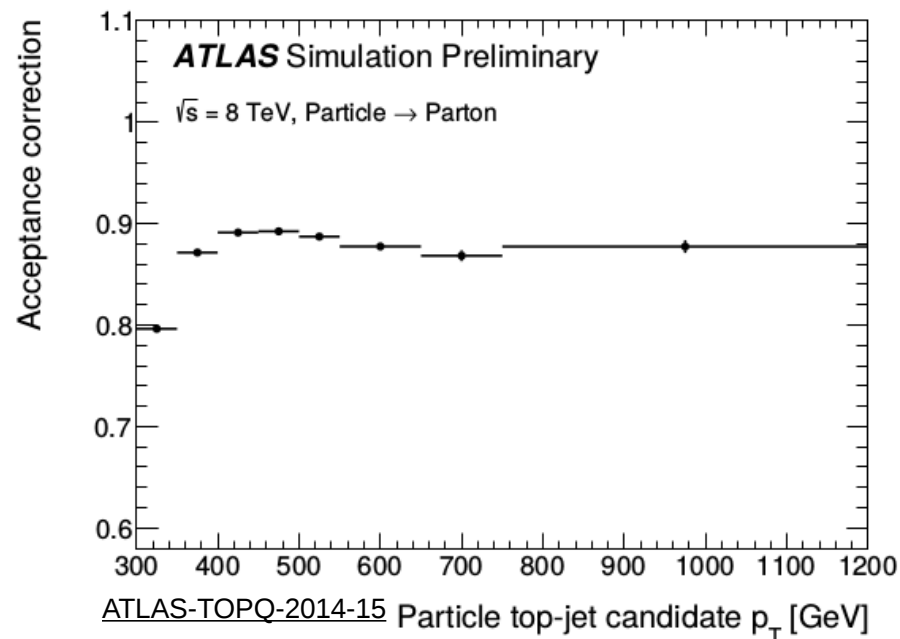
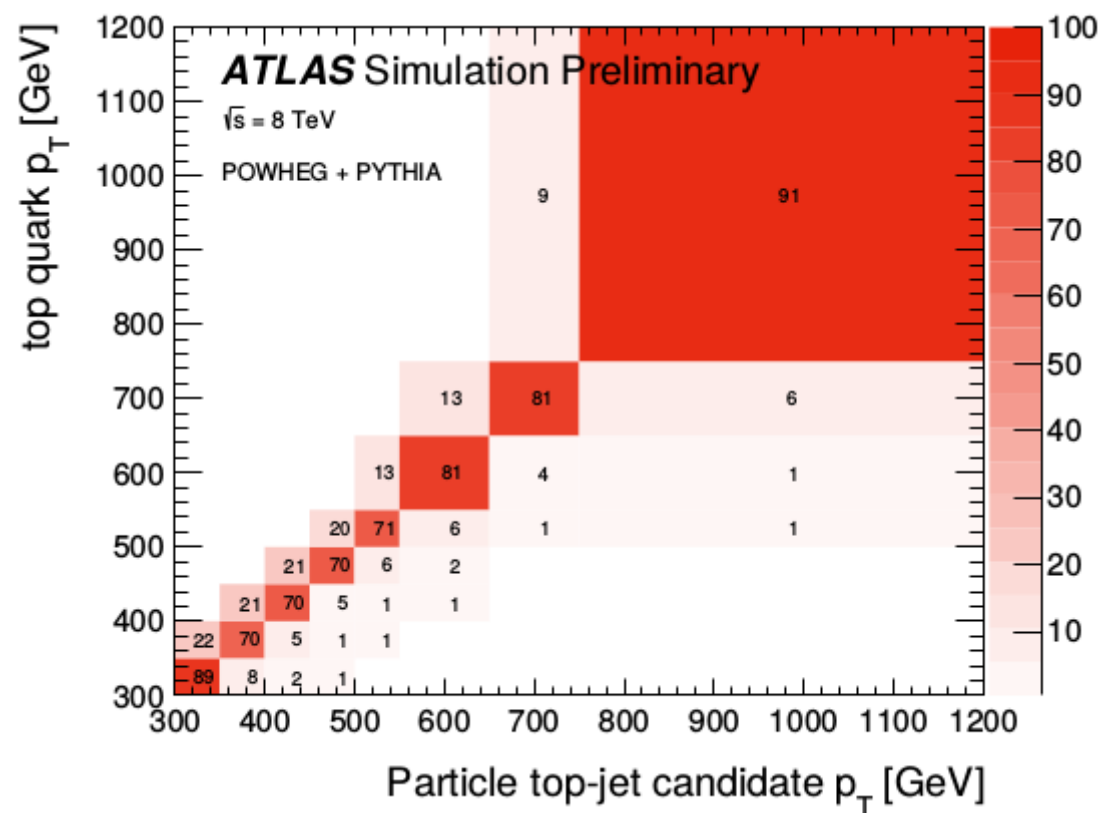
Trimming:

- ◆ Raggruppa le tracce del Large-R jet in subjet con $R=R_{\text{sub}}$ (k_t)
- ◆ Rimuove le componenti più soft
- ◆ Contribuisce alla discriminazione di segnale e fondo

Reco to Parton CrossCheck-I

The direct unfolding from reco to parton level has been performed as a cross check of parton level result.

ATLAS-TOPQ-2014-15



PDF uncertainty

$$\sigma_{\text{PDF,CT10}}^{\text{down}} = \sigma_{\text{PDF,CT10}}^{\text{up}} = 0.5 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{26} (X_i^{\text{down}} - X_i^{\text{up}})^2}$$

$$\sigma_{\text{PDF,MSTW}}^{\text{up}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{20} (\max(0, X_i^{\text{down}} - X_0, X_i^{\text{up}} - X_0))^2}$$

$$\sigma_{\text{PDF,NNPDF}}^{\text{up}} = \sigma_{\text{PDF,NNPDF}}^{\text{down}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{100} (X_i - X_0)^2}{99}}$$

$$\sigma_{\text{PDF,MSTW}}^{\text{down}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{20} (\min(0, X_0 - X_i^{\text{down}}, X_0 - X_i^{\text{up}}))^2}$$

Intra-PDF uncertainty

Inter-PDF uncertainty $\sigma_{\text{PDF,total}}^{\text{up}} = \sigma_{\text{PDF,total}}^{\text{down}} = 0.5 \cdot \left(\max_{P \in \text{PDF sets}} (X_{0,P} + \sigma_{\text{PDF}}^{\text{up}}, P) - \min_{P \in \text{PDF sets}} (X_{0,P} - \sigma_{\text{PDF}}^{\text{down}}, P) \right)$

Weight Applied to obtain observable for other PDF sets

$$w_{\text{PDF}} = \frac{f_{\text{new}}^i(x_1, Q) \cdot f_{\text{new}}^i(x_2, Q)}{f_{\text{ref}}^i(x_1, Q) \cdot f_{\text{ref}}^i(x_2, Q)}$$

Correlation Matrix

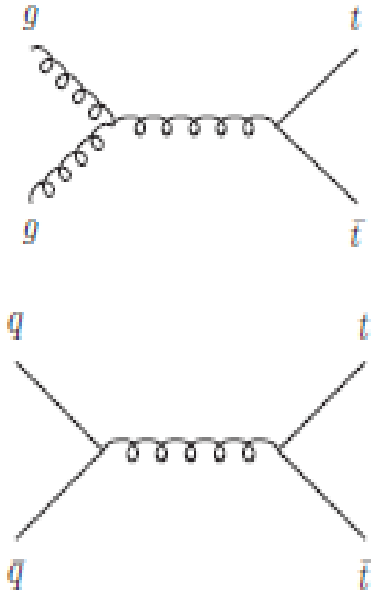
ATLAS-TOPQ-2014-15

$p_{T,\text{ptcl}}$ [GeV]	300–350	350–400	400–450	450–500	500–550	550–650	650–750	750–1200
300–350	1.00	0.83	0.79	0.79	0.72	0.63	0.58	0.51
350–400	0.83	1.00	0.83	0.80	0.76	0.74	0.67	0.60
400–450	0.79	0.83	1.00	0.87	0.79	0.78	0.77	0.63
450–500	0.79	0.80	0.87	1.00	0.89	0.76	0.77	0.66
500–550	0.72	0.76	0.79	0.89	1.00	0.84	0.75	0.62
550–650	0.63	0.74	0.78	0.76	0.84	1.00	0.89	0.71
650–750	0.58	0.67	0.77	0.77	0.75	0.89	1.00	0.87
750–1200	0.51	0.60	0.63	0.66	0.62	0.71	0.87	1.00

Table 3: Correlation matrix between the bins of the particle-level differential cross-section as a function of $p_{T,\text{ptcl}}$.

pp \rightarrow $t\bar{t}$ production and decay

Production



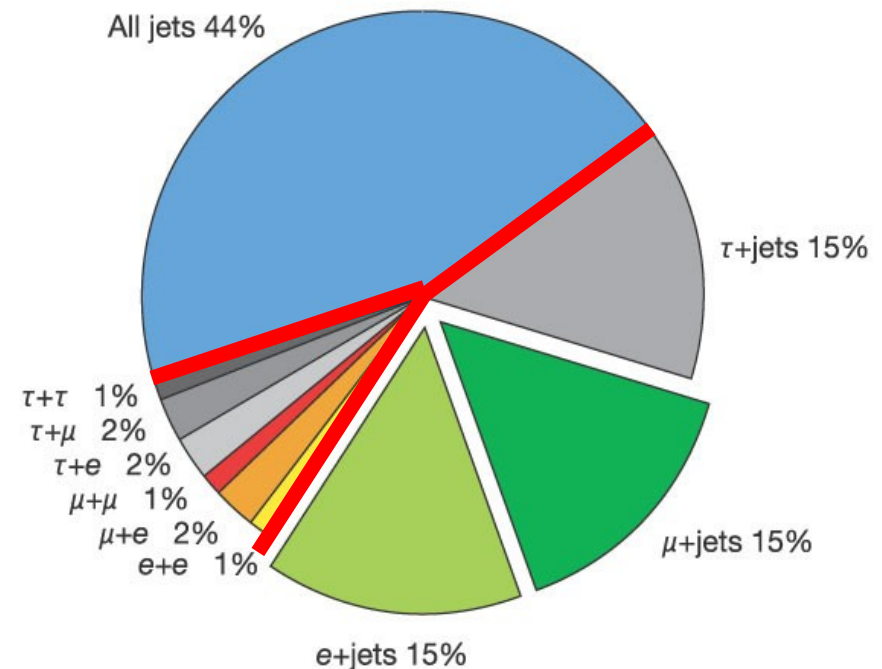
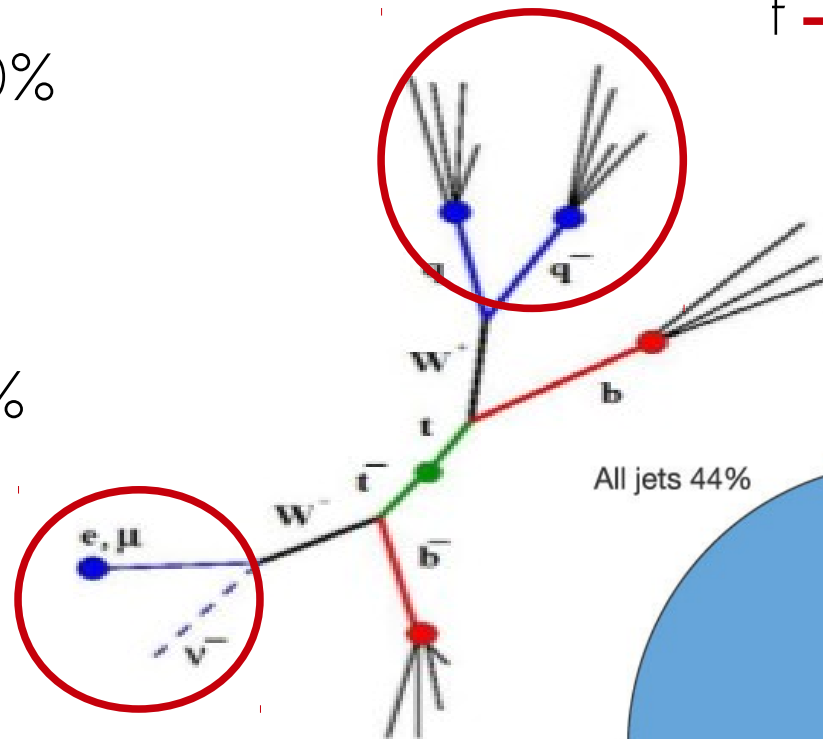
$\sim 80\%$

$\sim 20\%$

Decay

$t \rightarrow W b$ (BR 99%)

Determines the $t\bar{t}$ decay topology



Resolved Result ($\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$)

ATLAS-TOPQ-15-06

ATLAS-TOPQ-15-06

