

# Misura del processo Drell-Yan con leptoni tau e ricerche di leptoquark con l'esperimento ATLAS ad LHC



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA



**Giovanni Padovano**

on behalf of the HMDY analysis team of the ATLAS collaboration

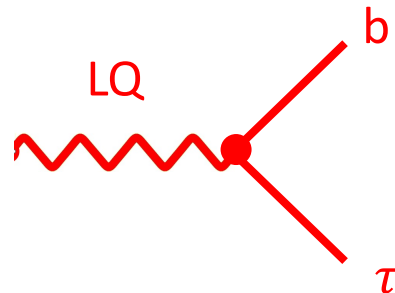
Incontri di Fisica delle Alte Energie – Catania

14/04/2023

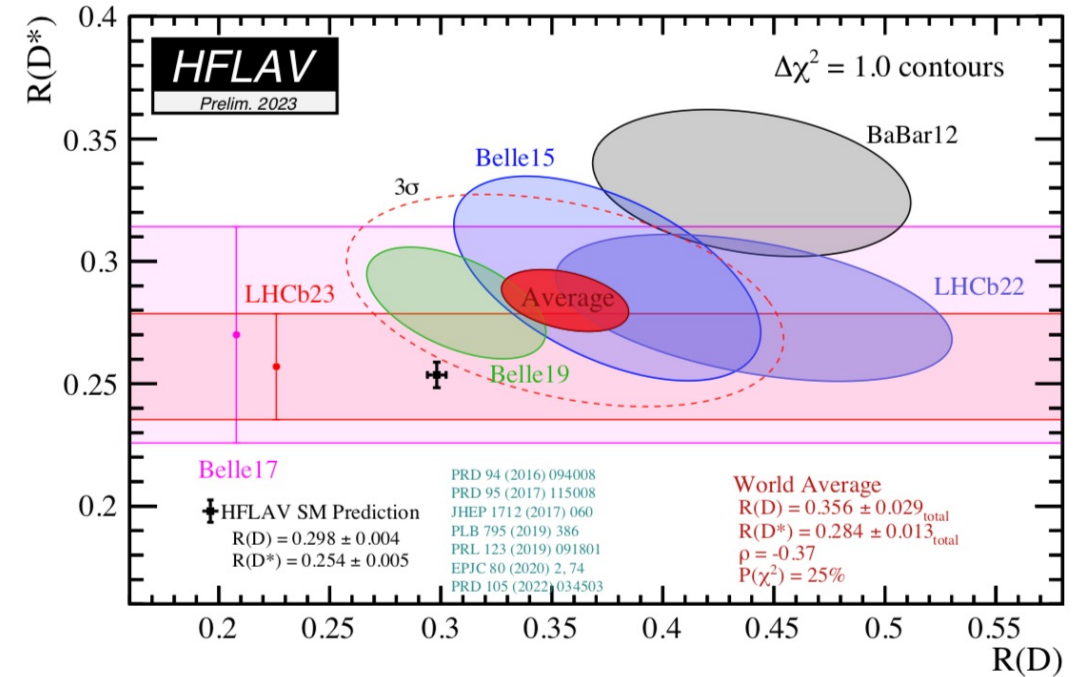
# Introduzione : anomalie di flavor, leptoquark

- Interesse nella collaborazione **ATLAS** per le misure utilizzando eventi con leptoni **tau** nello stato finale.
- Motivato dalle misure di **anomalie** nei decadimenti dei **mesoni B** effettuate da LHCb:
  - $R_D / R_{D^*}$ , anomalia di  $3.2\sigma$
  - $R_K / R_{K^*}$ , anomalie misurate nel 2019, smentite nel 2022.
- Possibile spiegazione: **leptoquark** maggiormente accoppiati con la terza generazione di fermioni.

**Leptoquark:** mediatore in grado di accoppiarsi in vertici sia con leptoni che quark



[seminar: indico.cern 1231797](https://indico.cern.ch/event/1231797)



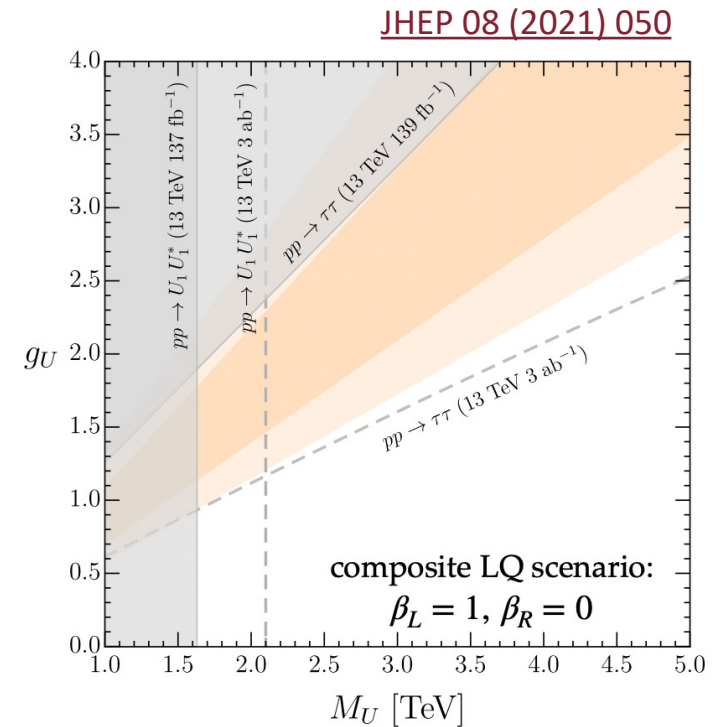
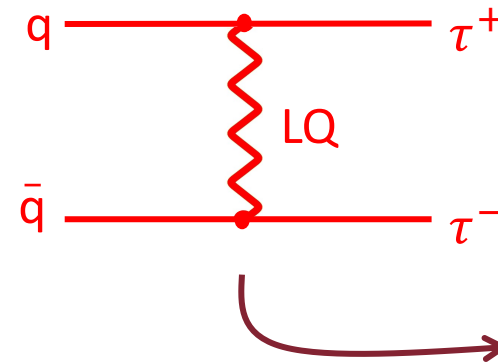
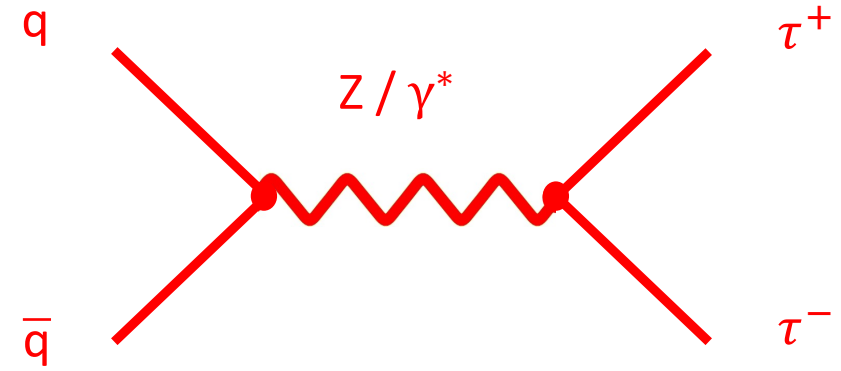
[arxiv 2212.09152](https://arxiv.org/abs/2212.09152)

$$\text{low-}q^2 \begin{cases} R_K & = 0.994^{+0.090}_{-0.082} \text{ (stat)} \quad {}^{+0.027}_{-0.029} \text{ (syst)}, \\ R_{K^*} & = 0.927^{+0.093}_{-0.087} \text{ (stat)} \quad {}^{+0.034}_{-0.033} \text{ (syst)} \end{cases}$$

$$\text{central-}q^2 \begin{cases} R_K & = 0.949^{+0.042}_{-0.041} \text{ (stat)} \quad {}^{+0.023}_{-0.023} \text{ (syst)}, \\ R_{K^*} & = 1.027^{+0.072}_{-0.068} \text{ (stat)} \quad {}^{+0.027}_{-0.027} \text{ (syst)}. \end{cases}$$

# Introduzione : Drell-Yan con leptoni tau, obiettivi

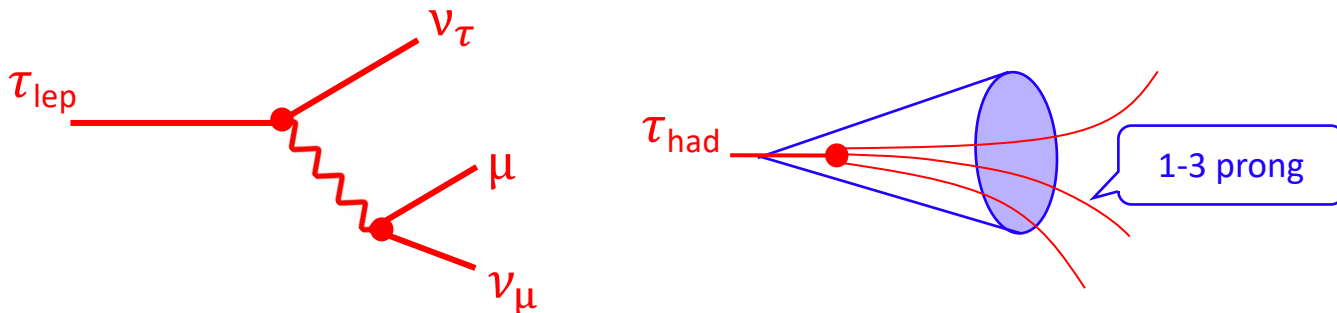
- Questa analisi: studio del **processo di Drell-Yan**  
 $pp \rightarrow Z/\gamma^* \rightarrow \tau\tau$ .
- Primo obiettivo: ricerca del segnale esotico LQ
  - il processo LQ interferisce con il processo Standard Model  $Z/\gamma^* \rightarrow \tau\tau$
  - si tracciano curve di esclusione nel piano  $m_U$  (massa LQ) –  $g_U$  (cost. accoppiamento LQ)
- Ulteriori obiettivi:
  - **misura** di precisione della **sezione d'urto** differenziale  $pp \rightarrow Z/\gamma^* \rightarrow \tau\tau$
  - **misura** della **asimmetria** forward-backward



# Strategia di analisi : canali, regioni

- Canali di misura: **semi-leptonico**:  $Z \rightarrow \tau_{lep} \tau_{had}$ , **adronico**:  $Z \rightarrow \tau_{had} \tau_{had}$
- Regioni:
  - **segnale**: usata per ricerca LQ e misura sezione d'urto, unfoldata.
  - **controllo**: utili a vincolare alcuni fondi (ee,  $\mu\mu$ , e $\mu$ )
  - **validazione**: utili a verificare la stima di fondi data-driven (tau-fakes)
- Separazione in tre **categorie** di **b-jet**: 0b, 1b, 2b+.

	opposite-sign			same-sign		
	0b	1b	2b+	0b	1b	2b+
<b>tau+tau</b>	signal regions			fakes validation regions		
<b>e+tau</b>						
<b>mu+tau</b>						
<b>e+mu</b> ee/mumu	VV and t $\bar{t}$ control regions					



**NB:** il tau adronico può decadere:

- 1-prong:  $\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau$ , etc ..
- 3-prong:  $\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^- \nu_\tau$ , etc ..

# Studio del fondo : distribuzioni cinematiche

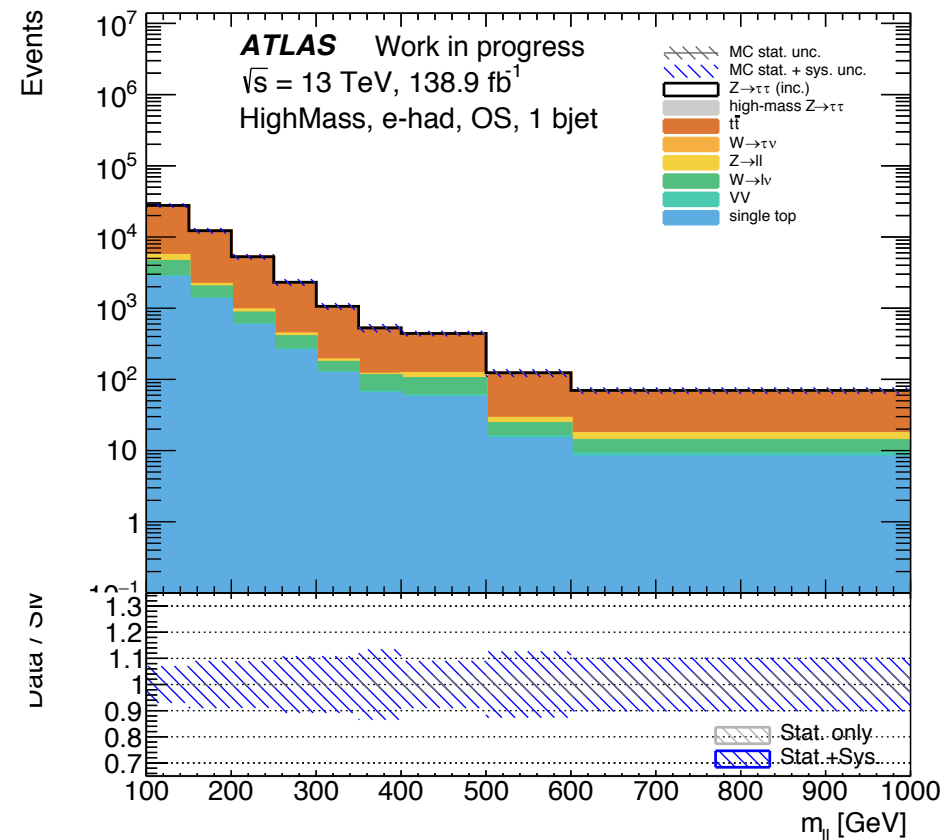
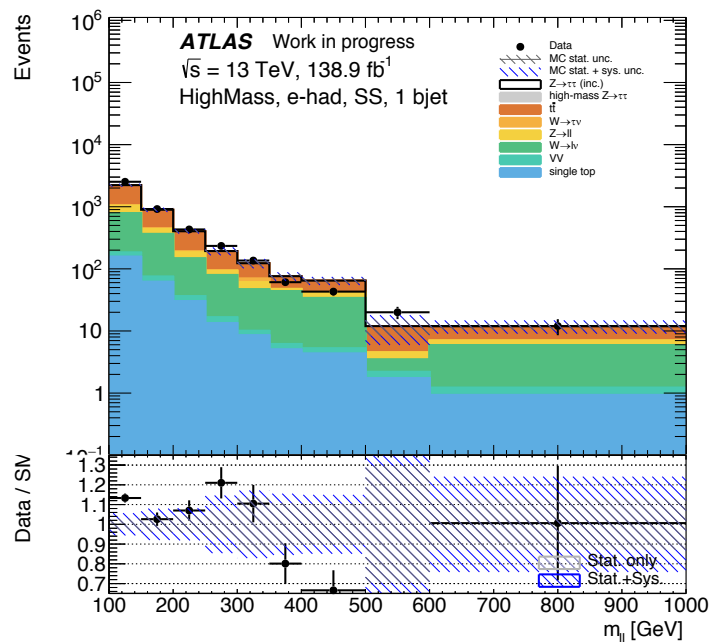
- Distribuzione degli eventi per variabili cinematiche di interesse:  $m_{ll}$ , lead  $\tau p_T$ ,  $\eta$ ,  $\phi$  ...

- Principali **fondi**:

- $W \rightarrow e\nu$ ,  $W \rightarrow \mu\nu$ ,  $W \rightarrow \tau\nu$ ;
- $Z \rightarrow ee$ ,  $Z \rightarrow \mu\mu$ ;
- $VV$ ,  $VVV$ ,  $t\bar{t}$ , single top.

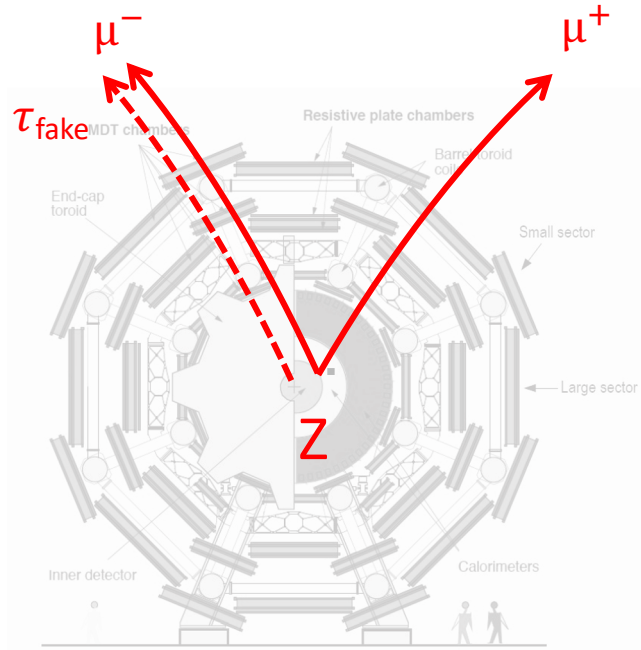
- Unblinding** dati ad alta-massa:

- prima parziale (2015+2016)
- a seguire totale (Run2 completo)



- Cross-check** rapporto dati/MC al **picco** dello **Z** ( $60 \text{ GeV} < m_{\tau\tau} < 100 \text{ GeV}$ ) e in regioni con due tau con carica di stesso segno (SS)

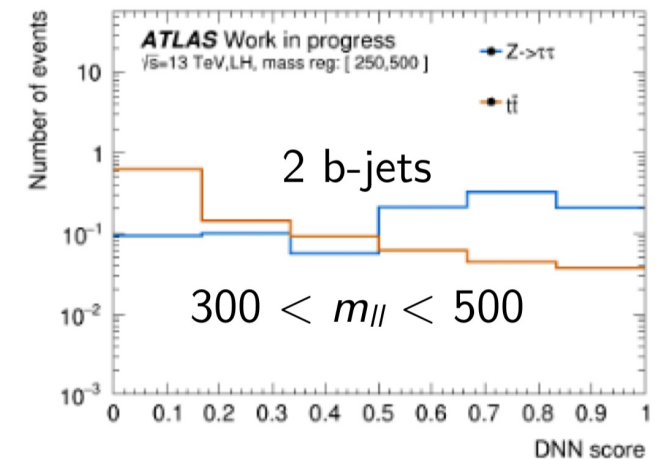
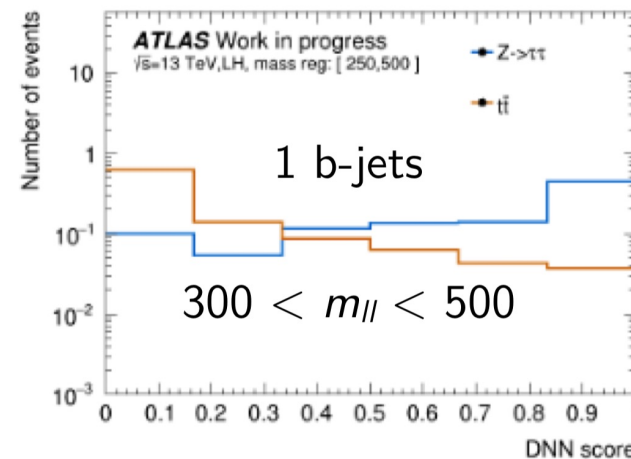
# Studio del fondo : reiezione $Z \rightarrow ee/\mu\mu, tt\bar{t}$



- **Fondo  $Z \rightarrow \mu\mu$**  : un muone misidentificato come  $\tau_{fake}$ .
  - $\tau_{fake}$  è 1-prong ed allineato con il muone vero,  $\Delta R(\tau_{fake} - \mu) \approx 0$ ;
  - si rigetta il  $\tau_{fake}$  utilizzando l'overlap removal.
- **Fondo  $Z \rightarrow ee$**  : un elettrone misidentificato come  $\tau_{fake}$ 
  - rigettato con tool machine learning eBDT per separazione  $e/\tau_{fake}$

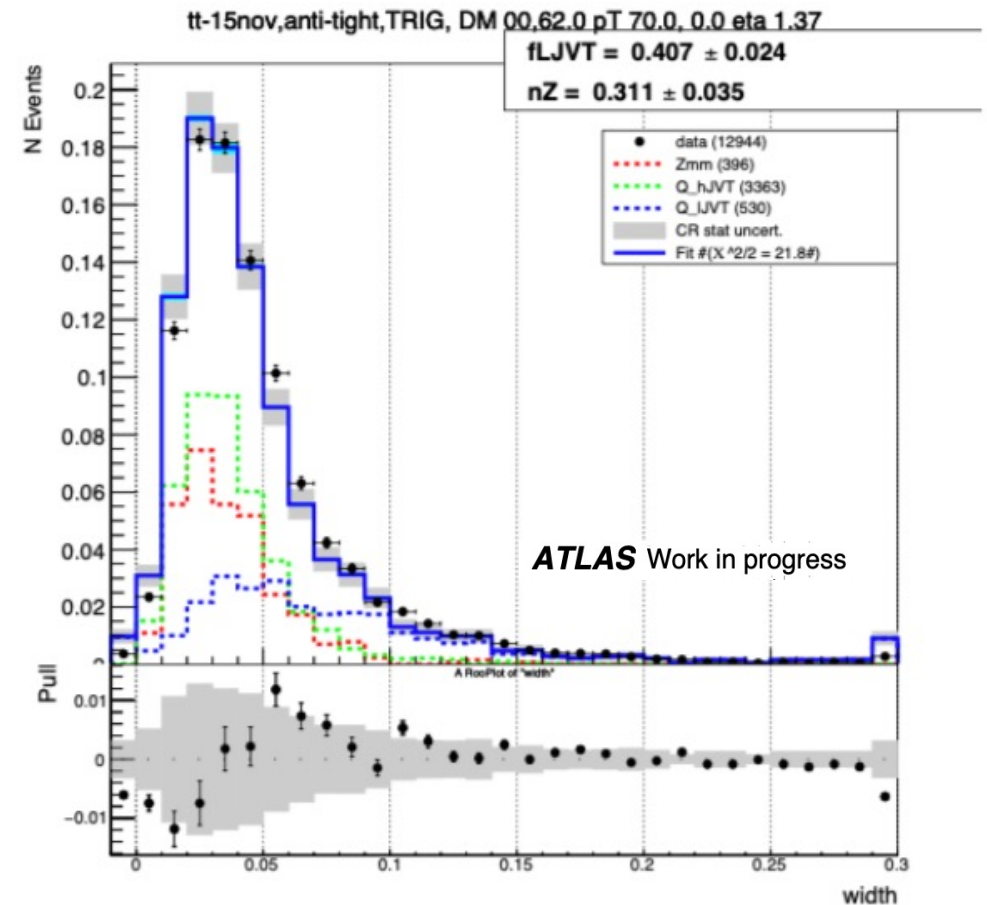
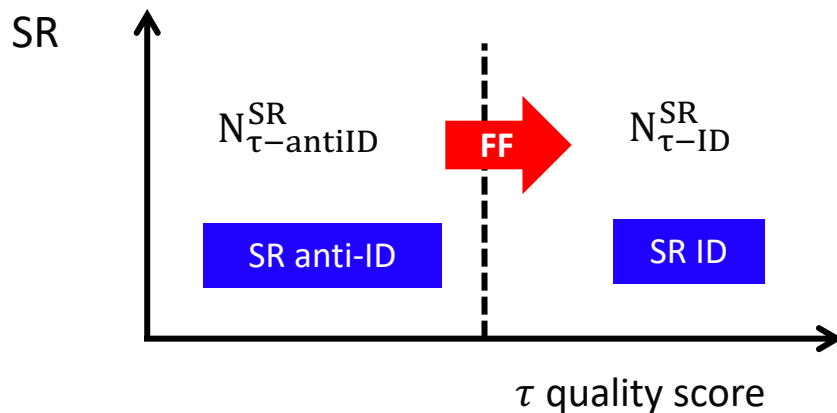
- **Varie strategie in corso di studio per reiezione del fondo  $tt\bar{t}$ :**

- tagli su  $m_T$ , leading jet  $p_T$
- rete neurale DNN.



# Fondo $\tau_{\text{fakes}}$ : metodo dei FakeFactors

- Stima del fondo di jet misidentificati come  $\tau_{\text{fake}}$  con **metodo dei FakeFactors (FF)**.
- ATLAS fornisce fattori di trasferimento anti-ID  $\rightarrow$  ID per tre tipologie di jet:
  - **quark jets**, in regioni  $Z \rightarrow \mu\mu + \text{jets}$ ;
  - **gluon jets**, in regioni multijet con high JVT score
  - **pile-up jets**, in regioni multijet con low JVT score
- **Template fit** per ricavare la composizione in quark/gluon jets nella SR anti-ID :  $\alpha_q, \alpha_{\text{IJVT}}$ .



**NB:** JVT è un tagger machine learning per discriminazione di jet di pile-up da jet prompt

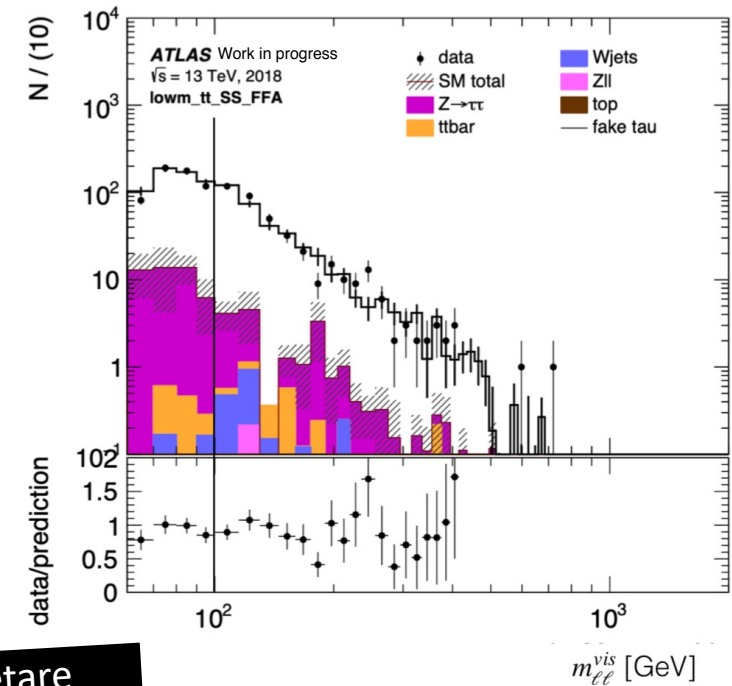
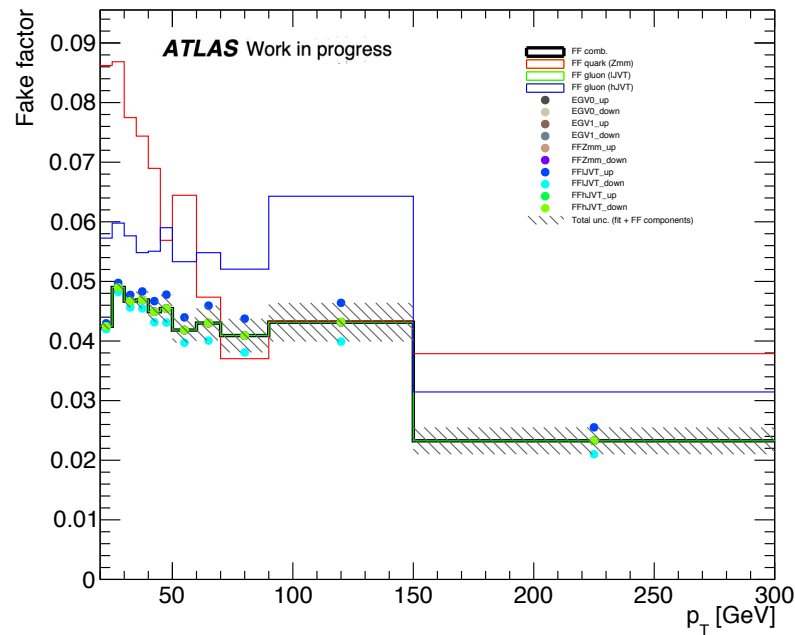
# Fondo $\tau_{\text{fakes}}$ : metodo dei FakeFactors

- Si ottiene il  $FF_{\text{comb}}$  dalla **combinazione** dei FF standard con i coefficienti estratti dal template fit:

$$FF_{\text{comb}} = \alpha_q FF_q + (1 - \alpha_q) [ \alpha_{\text{IJVT}} FF_{\text{IJVT}} + (1 - \alpha_{\text{hJVT}}) FF_{\text{hJVT}} ]$$

- Estrapolazione del fondo  $\tau_{\text{fake}}$  nella SR-ID

$$N_{\tau\text{-ID}}^{\text{SR}} = FF \times N_{\tau\text{-antiID}}^{\text{SR}} \quad \text{dove} \quad FF = \frac{N_{\tau\text{-ID}}^{\text{CR}}}{N_{\tau\text{-antiID}}^{\text{CR}}}$$



Una delle parti più ostiche dell'analisi, ancora da completare



# Incertezze sistematiche

- In corso di studio le principali sorgenti di incertezza

- Teoriche:

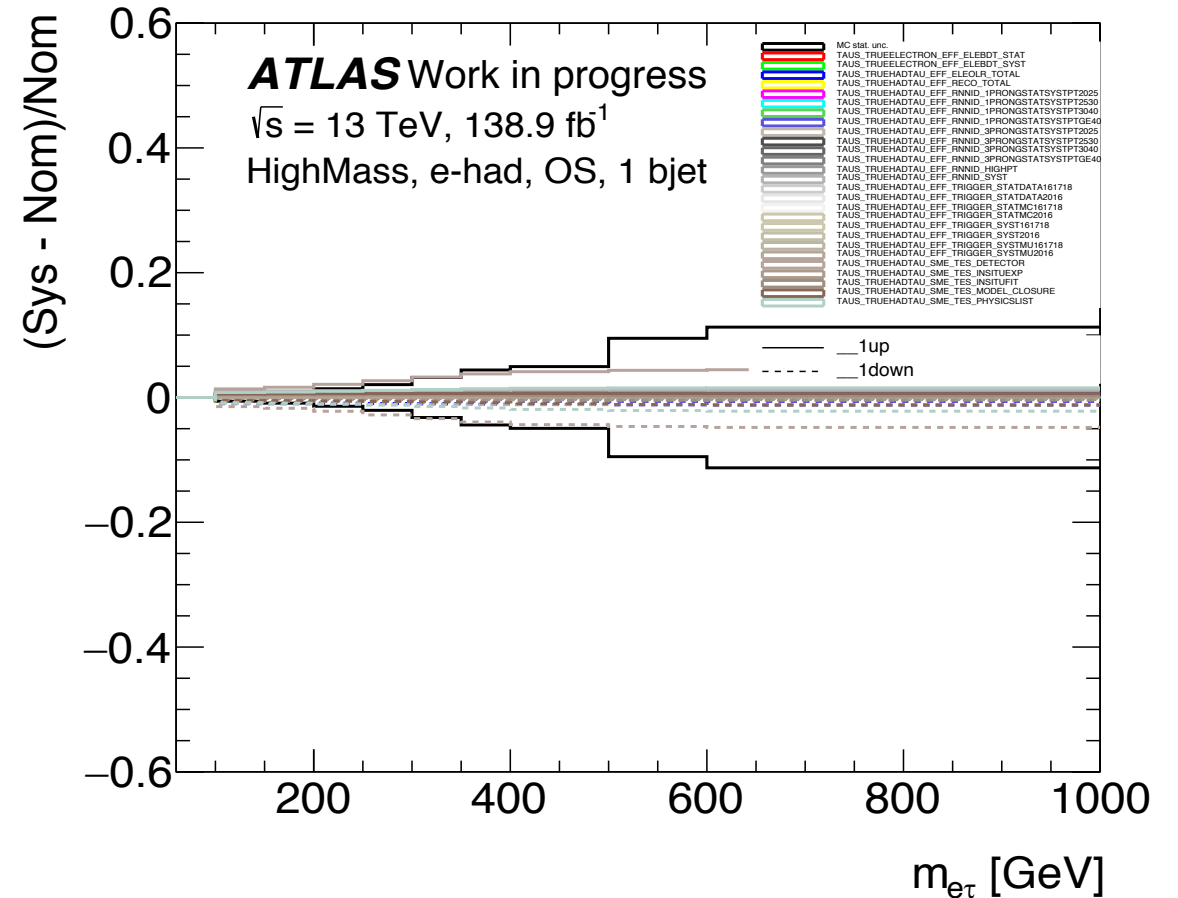
- modelling: Sherpa vs Pow-Pythia8 vs Herwig7
- scale-variations, PDFs ...

- Sperimentali:

- tau: identificazione, risoluzione, scala
- elettroni, muoni: identificazione, risoluzione, scala
- JET: risoluzione, scala, composizione, calibrazione in  $\eta$

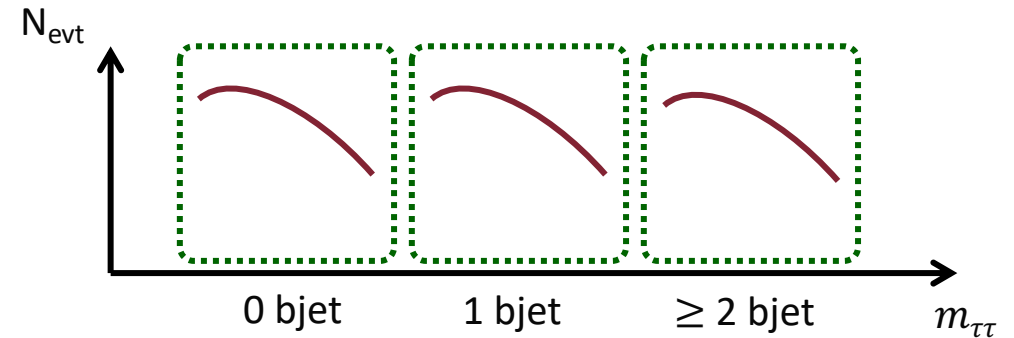
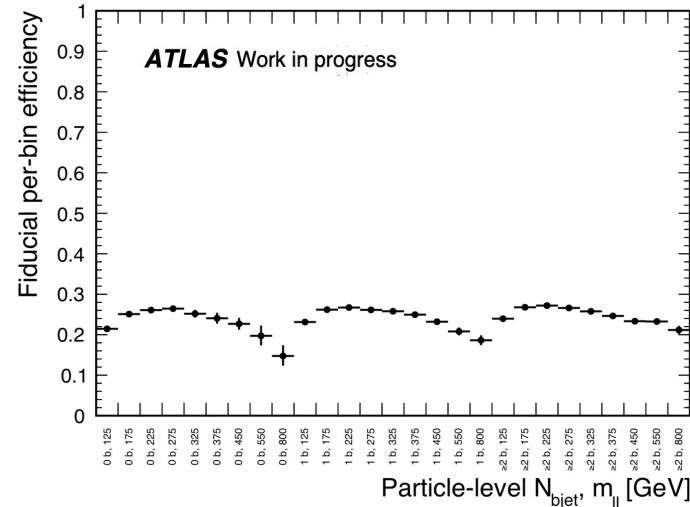
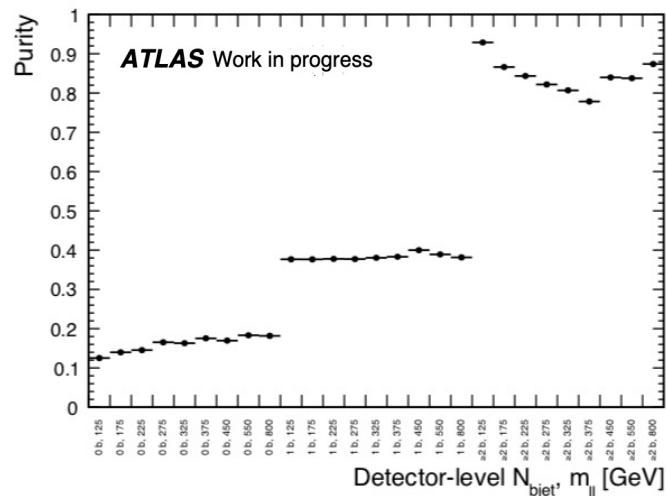
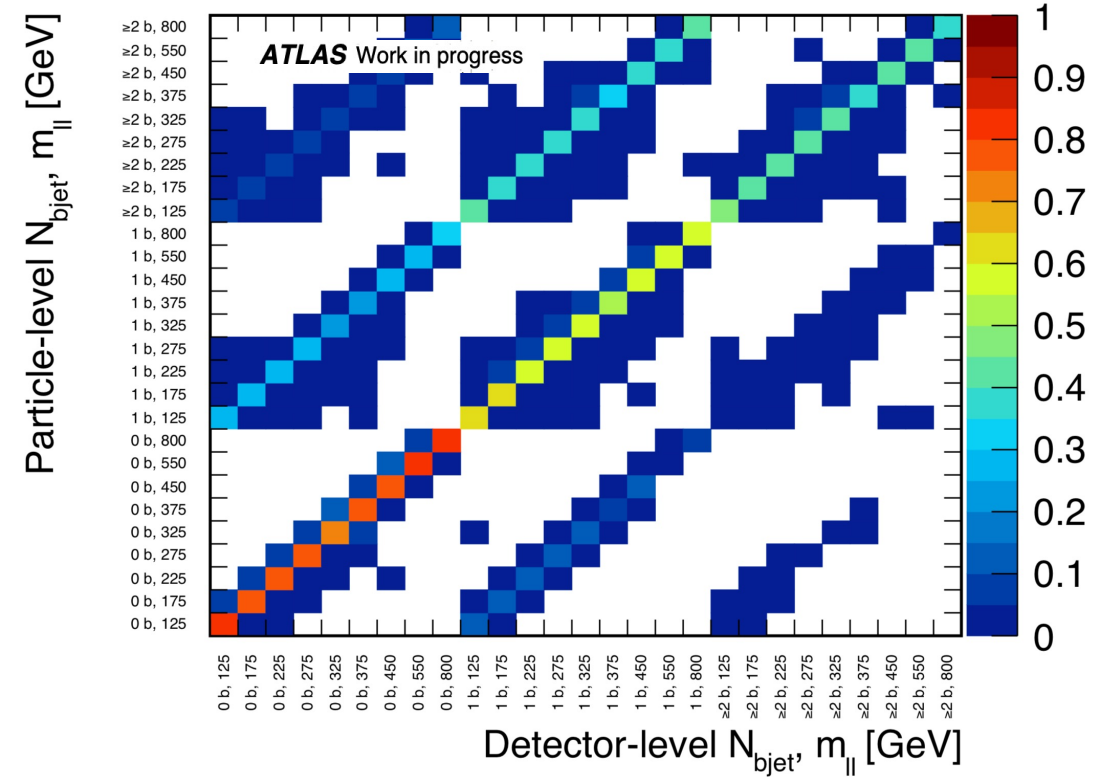
- Legate ai metodi utilizzati:

- fake-factor method:  $FF_q$ ,  $FF_{IJVT}$ , fit
- unfolding: da valutare



# Unfolding : matrice trasferimento, efficienze, purezze

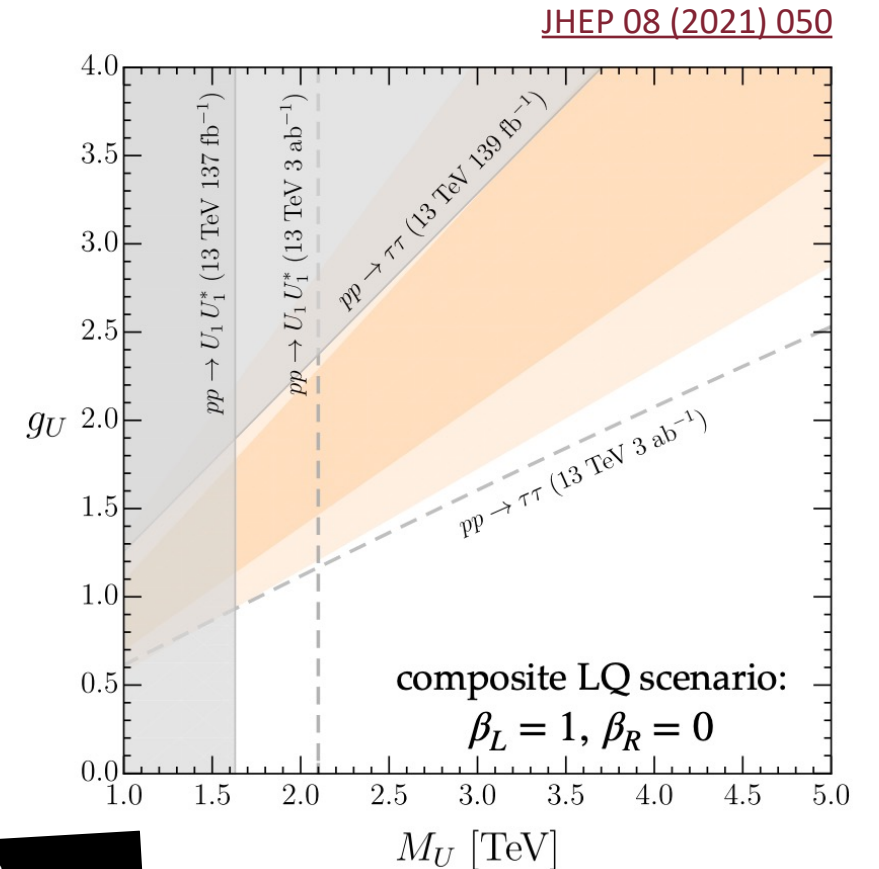
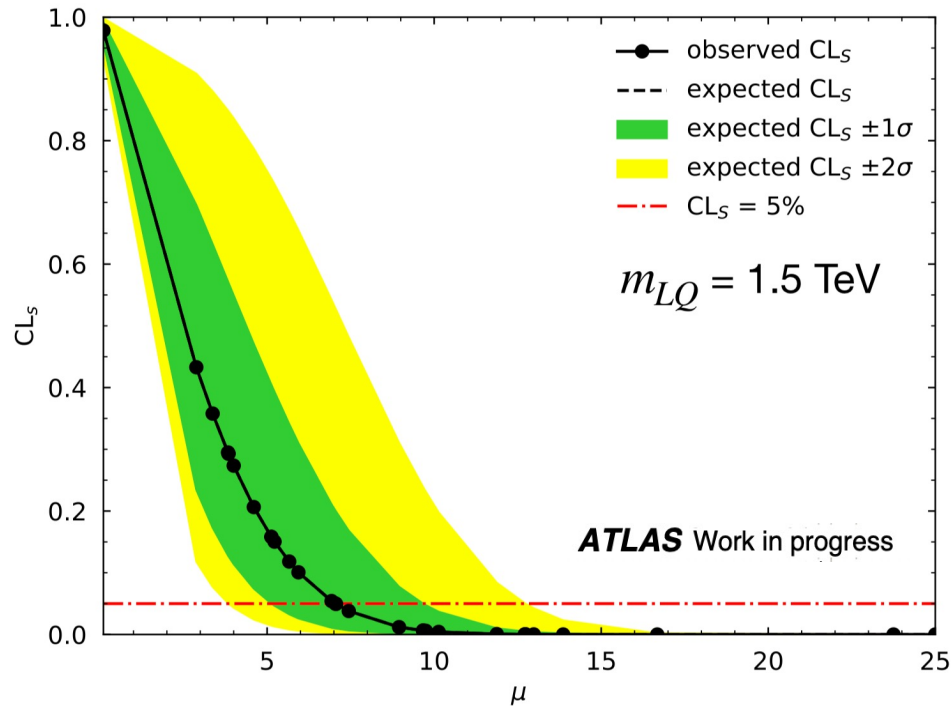
- **Unfolding:** si affiancano le distribuzioni separate in b-jet in un unico istogramma e si effettua l'unfolding 1D (bayesiano).
- **Matrice di trasferimento:** passaggio di eventi fra bin
  - intorno alla diagonale  $\Rightarrow$  risoluzione in  $m_{\tau\tau}$
  - fra due blocchi  $\Rightarrow$  inefficienze di b-tagging
- **Efficienze e purezze per ogni bin**



# Ricerca di leptoquark LQ : fit e interpretazione

- **Fit** simultaneo della SR e delle CR e limite superiore sulla signal-strength per vari valori di massa ( $m_U = 1.5 \text{ TeV}, 2.5 \text{ TeV}$ ).
- **Intepretazione:** si ottiene una **curva di esclusione** nel piano  $m_U - g_U$ .
- **Prima proiezione:** asimov dataset, no termine di interferenza

$$\mathcal{L}_U = -\frac{1}{2} U_{\mu\nu}^\dagger U^{\mu\nu} + M_U^2 U_\mu^\dagger U^\mu - ig_s (1 - \kappa_c) U_\mu^\dagger T^a U_\nu G^{\mu\nu,a} - \frac{2i}{3} g_Y (1 - \kappa_Y) U_\mu^\dagger U_\nu B^{\mu\nu} + \frac{g_U}{\sqrt{2}} (U^\mu J_\mu^U + \text{h.c.}),$$



Signal strength: intensità del segnale misurato risp. a quello atteso:  $\mu = \sigma / \sigma_{\text{th}}$

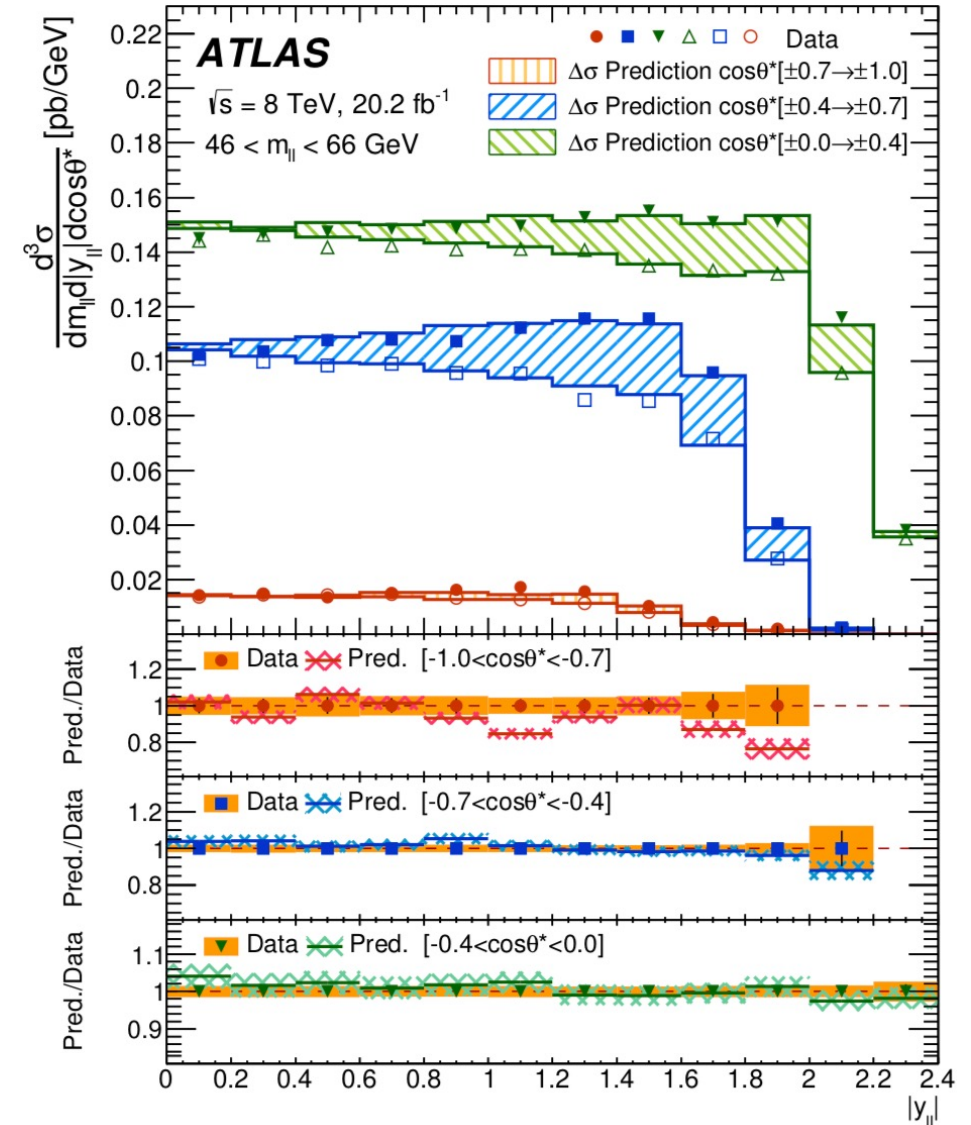
# Misure Standard Model : sezione d'urto differenziale

JHEP 12 (2017) 059

- Misure Standard Model successive alla ricerca esotica di leptoquark
- Sezione d'urto** triplo-differenziale per il processo di Drell-Yan con leptoni tau:  $pp \rightarrow Z/\gamma^* \rightarrow \tau\tau$

$$\frac{d^3\sigma}{dm_{\ell\ell} dy_{\ell\ell} d\cos\theta^*} = \frac{N^{\text{data}} - N^{\text{bgk}}}{L_{\text{INT}}} \frac{1}{\Delta m_{\ell\ell} \Delta y_{\ell\ell} \Delta \cos\theta^*}$$

- Misure precedenti in ATLAS:
  - sezione d'urto integrale,  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ ,  $Z \rightarrow \tau\tau$
  - sezione d'urto doppio/triplo differenziale,  $\sqrt{s} = 7\text{-}8 \text{ TeV}$ ,  $Z \rightarrow ee/\mu\mu$

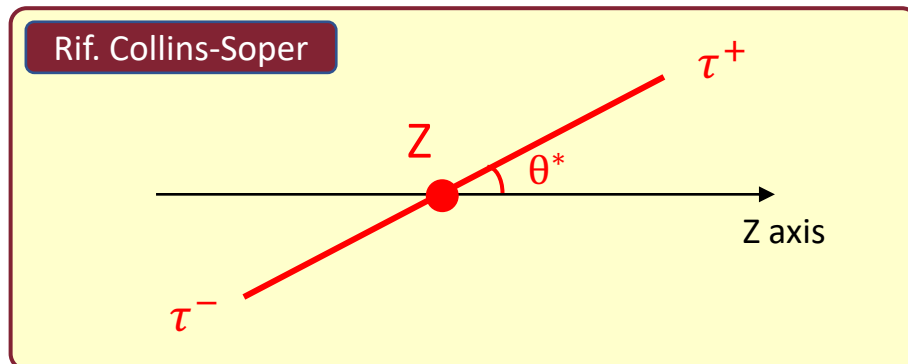


# Misure Standard Model : $A_{FB}$

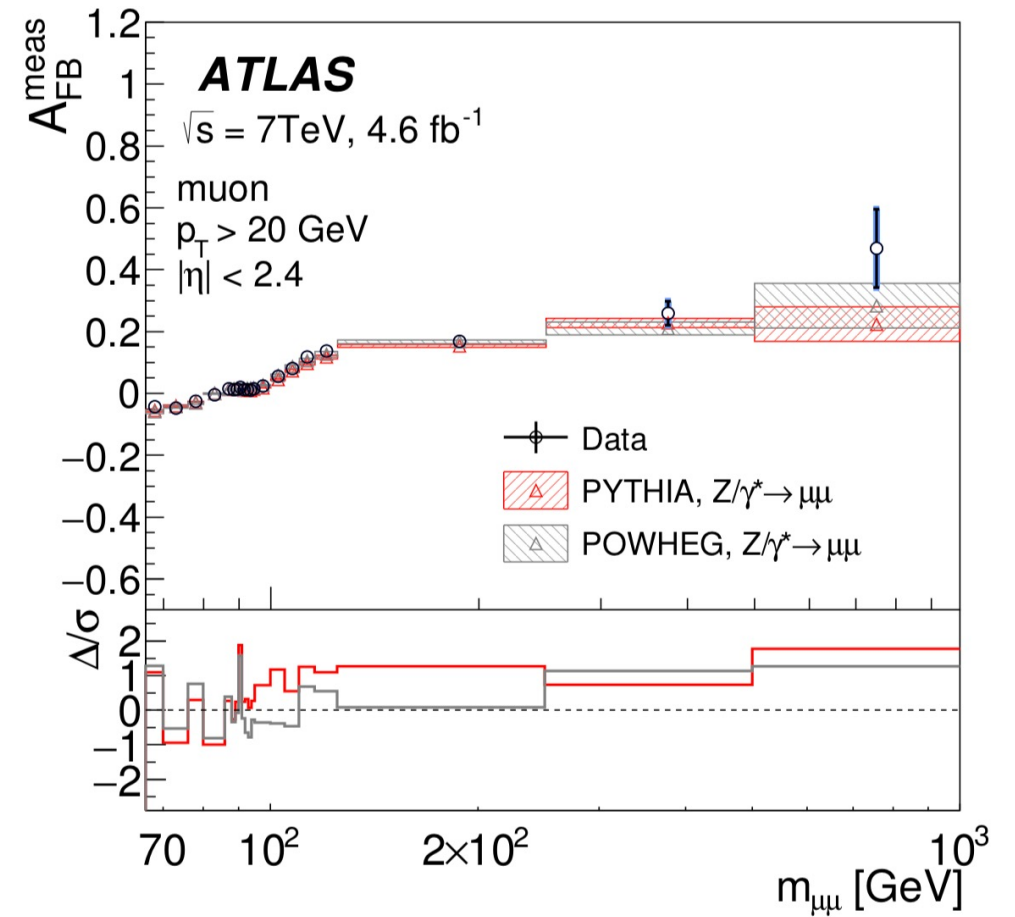
- Misura della **asimmetria forward – backward** integrando la sezione d'urto negli emisferi  $\cos\theta^* > 0$  e  $\cos\theta^* < 0$

$$A_{FB} = \frac{\sigma(\cos\theta^* > 0) - \sigma(\cos\theta^* < 0)}{\sigma(\cos\theta^* > 0) + \sigma(\cos\theta^* < 0)}$$

- Misura precedente in ATLAS:  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ ,  $Z \rightarrow ee / \mu\mu$



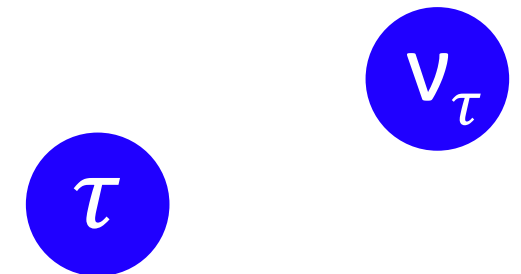
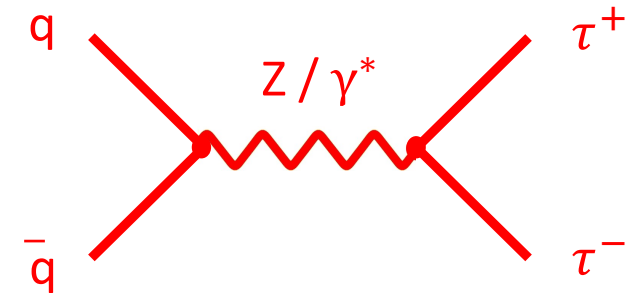
JHEP 09 (2015) 049



Il rif. di Collins-Soper è un particolare sistema di quiete della Z.

# Conclusioni

- Lavoro a **buon punto**: sviluppate le parti principali della procedura di analisi (studio dei fondi, sistematiche, unfolding, limite).
- **Prossimi passi** per il completamento della ricerca di leptoquark:
  - finalizzazione stima del **fondo**  $\tau_{\text{fake}}$
  - selezione delle sistematiche più rilevanti
  - inserimento delle **sistematiche** nel **fit** LQ.
- Immediatamente dopo si passerà a finalizzare le **misure Standard Model** (sezione d'urto e asimmetria).



Grazie per l'attenzione !

# Backup