



# PREDIZIONI TEORICHE ACCURATE PER LA PRODUZIONE DI QUARK TOP IN COLLISORI ADRONICI

Silvia Ferrario Ravasio

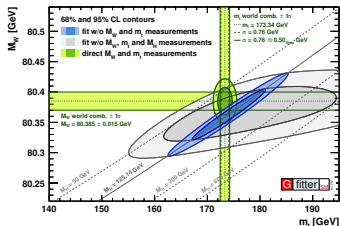
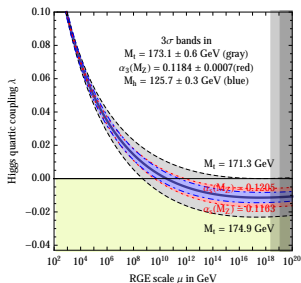
**IFAE 2018** - XVIII edizione degli Incontri di Fisica delle Alte Energie,  
INFN e Università degli Studi di Milano-Bicocca.

05/04/2018

# La massa del quark top: teoria

- $t$  particella elementare più pesante del Modello Standard
- determinazione accurata di  $m_t$  utile per:

- 1 test di precisione del Modello Standard;  
[\[arXiv:1407.3792, Baak et al.\]](https://arxiv.org/abs/1407.3792)

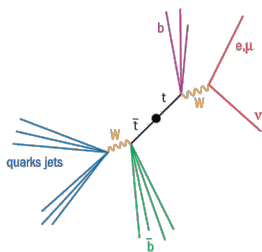


- 2 investigare la stabilità del vuoto;  
[\[arXiv:1512.01222, Espinosa\]](https://arxiv.org/abs/1512.01222)

- 3 ricerca di particelle esotiche per possibili estensioni del Modello Standard.

# La massa del quark top: esperimenti

- Il meccanismo principale per la produzione di top a LHC è la produzione di coppie.
- Molti metodi per estrarre  $m_t$ , i più accurati sono detti “**misure dirette**” e sono basati sulla ricostruzione dei momenti dei **prodotti di decadimento** del  $t$ .



⇒  $B$ -jet;

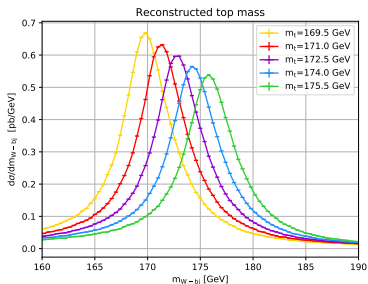
⇒ prodotti di decadimento del  $W$ :

→ leptone carico + neutrino

→ 2 jet leggeri

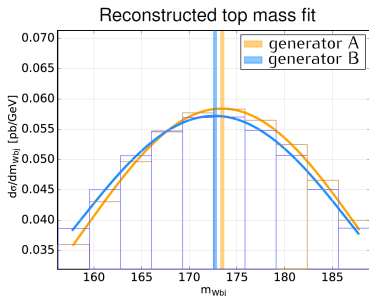
# La massa del quark top: esperimenti

- Il meccanismo principale per la produzione di top a LHC è la produzione di coppie.
- Molti metodi per estrarre  $m_t$ , i più accurati sono detti “**misure dirette**” e sono basati sulla ricostruzione dei momenti dei **prodotti di decadimento** del  $t$ .
- Le distribuzioni misurate sono paragonate a quelle ottenute con un generatore **Monte Carlo**, di cui si varia la massa di input  $m_t$ : la massa che riproduce meglio i dati è la massa estratta.



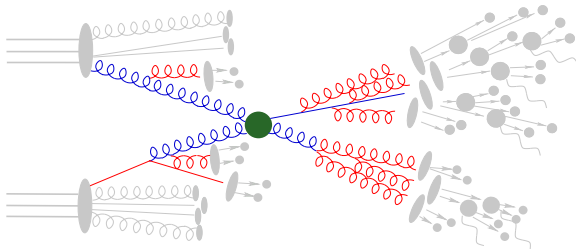
# La massa del quark top: esperimenti

- Il meccanismo principale per la produzione di top a LHC è la produzione di coppie.
- Molti metodi per estrarre  $m_t$ , i più accurati sono detti “**misure dirette**” e sono basati sulla ricostruzione dei momenti dei **prodotti di decadimento** del  $t$ .
- Le distribuzioni misurate sono paragonate a quelle ottenute con un generatore **Monte Carlo**, di cui si varia la massa di input  $m_t$ : la massa che riproduce meglio i dati è la massa estratta.
- $m_t$  può dipendere dal Monte Carlo.



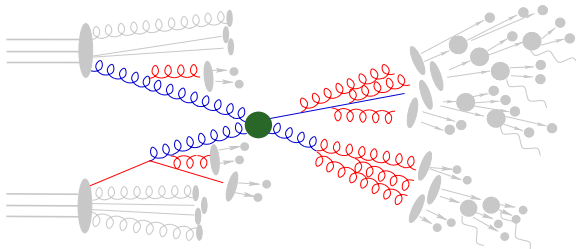
# Generatori Monte Carlo di eventi

- **NLO+PS**: il **processo duro** contiene correzioni radiative in  $\alpha_s$  (NLO), le **emissioni successive** sono implementate in approssimazione soffice e collineare.



# Generatori Monte Carlo di eventi

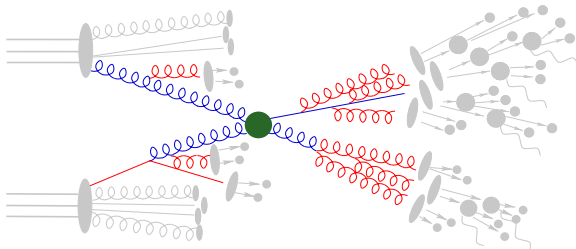
- **NLO+PS**: il **processo duro** contiene correzioni radiative in  $\alpha_s$  (NLO), le **emissioni successive** sono implementate in approssimazione soffice e collineare.



- **POWHEG BOX** è un generatore di eventi NLO, basato sul metodo **POWHEG**, che genera l'evento includendo la **prima emissione**.  
[arXiv: hep-ph/0409146, Nason]

# Generatori Monte Carlo di eventi

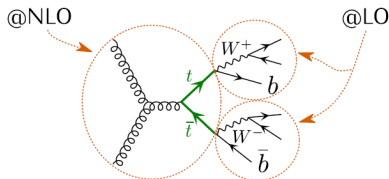
- **NLO+PS**: il **processo duro** contiene correzioni radiative in  $\alpha_s$  (NLO), le **emissioni successive** sono implementate in approssimazione soffice e collineare.



- **POWHEG BOX** è un generatore di eventi NLO, basato sul metodo **POWHEG**, che genera l'evento includendo la **prima emissione**.  
[arXiv: hep-ph/0409146, Nason]
- Successivamente programmi come **Pythia** o **Herwig** aggiungono le altre emissioni, che devono essere **meno dure** della prima. Questi programmi includono anche un modello per l'adronizzazione e per l'evento sottostante.

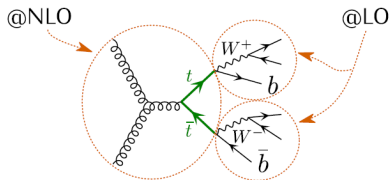


- Il primo generatore per la produzione di  $t\bar{t}$  implementato in POWHEG BOX è  $h\nu q$ . [arXiv:0707.3088, Frixione, Nason, Ridolfi]



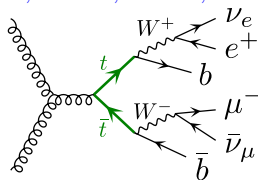
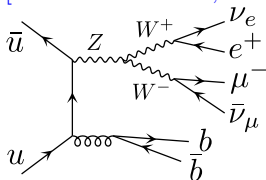
- ⇒ Correzioni radiative al processo di produzione;
- ⇒ decadimento approssimato usando la tecnica del ripesamento;
- ⇒ correlazioni di spin ed effetti offshell descritti parzialmente.

- Il primo generatore per la produzione di  $t\bar{t}$  implementato in POWHEG BOX è *h<sub>v</sub>q*. [[arXiv:0707.3088](https://arxiv.org/abs/0707.3088), Frixione, Nason, Ridolfi]



- ⇒ Correzioni radiative al processo di produzione;
- ⇒ decadimento approssimato usando la tecnica del ripesamento;
- ⇒ correlazioni di spin ed effetti offshell descritti parzialmente.
- Molto usato dalle comunità sperimentali
  - ⇒ [arXiv:1803.10178](https://arxiv.org/abs/1803.10178), ATLAS
  - ⇒ [arXiv:1803.09678](https://arxiv.org/abs/1803.09678), ATLAS
  - ⇒ [arXiv:1803.06292](https://arxiv.org/abs/1803.06292), CMS
  - ⇒ [arXiv:1803.03991](https://arxiv.org/abs/1803.03991), CMS

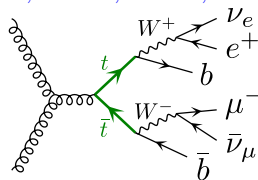
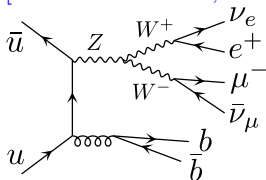
- L'ultimo generatore per la produzione di  $t\bar{t}$  implementato in POWHEG BOX è  $b\bar{b}4\ell$ .  
[arXiv:1607.04538, Ježo, Lindert, Nason, Oleari, Pozzorini].



⇒ Correzioni radiative per il processo  $pp \rightarrow b\bar{b}l\bar{\nu}_\ell\bar{l}\nu_l$ , dominato dalla produzione di  $t\bar{t}$  che decade leptonicamente.

⇒ Il decadimento del top, effetti di fisica offshell, correlazioni di spin e interferenze con processi non risonanti sono inclusi esattamente.

- L'ultimo generatore per la produzione di  $t\bar{t}$  implementato in POWHEG BOX è  $b\bar{b}4\ell$ .  
[arXiv:1607.04538, Ježo, Lindert, Nason, Oleari, Pozzorini].

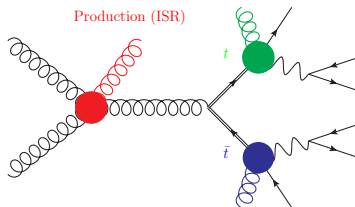


⇒ Correzioni radiative per il processo  $pp \rightarrow b\bar{b}l\bar{\nu}_\ell l\nu_l$ , dominato dalla produzione di  $t\bar{t}$  che decade leptonicamente.

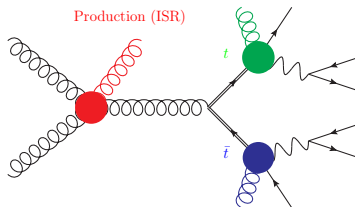
⇒ Il decadimento del top, effetti di fisica offshell, correlazioni di spin e interferenze con processi non risonanti sono inclusi esattamente.

- Per poter includere le correzioni radiative dalle risonanze decadute, è stata sviluppata una nuova versione di POWHEG BOX, **POWHEG BOX RES.** [arXiv:1509.09071, Ježo, Nason]

- Il nuovo formalismo tiene conto delle diverse strutture di risonanza del processo. Inoltre permette di generare **emissioni multiple**.

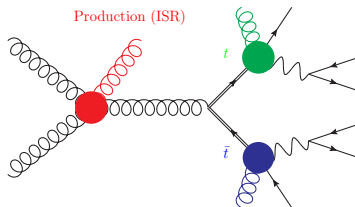


- Il nuovo formalismo tiene conto delle diverse strutture di risonanza del processo. Inoltre permette di generare **emissioni multiple**.



- **PYTHIA** e **HERWIG** scartano radiazione in produzione in modo da garantire che l'emissione generata da POWHEG sia la più dura.

- Il nuovo formalismo tiene conto delle diverse strutture di risonanza del processo. Inoltre permette di generare **emissioni multiple**.



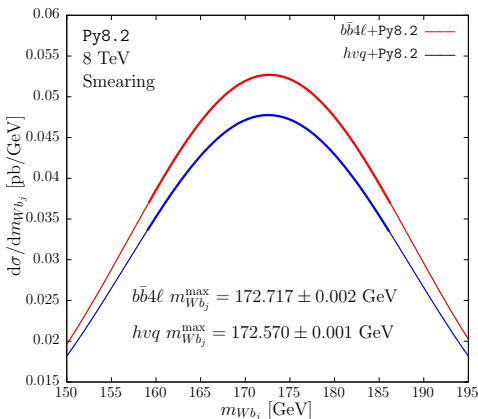
- **PYTHIA** e **HERWIG** scartano radiazione in produzione in modo da garantire che l'emissione generata da POWHEG sia la più dura.
- Il meccanismo di veto può essere esteso anche al decadimento.
  - ⇒ **Pythia8.2**: nuova versione pubblica a breve.
  - ⇒ **Herwig7.1**: prima interfaccia preliminare.
- Strumenti per studiare l'impatto delle descrizioni di  $h\nu q$  e  $b\bar{b}4\ell$  sull'estrazione di  $m_t$ .

[arXiv:1801.03944, SFR, Ježo, Nason, Oleari]

# Massa del top ricostruito

Massa del top ricostruito + smearing Gaussiano

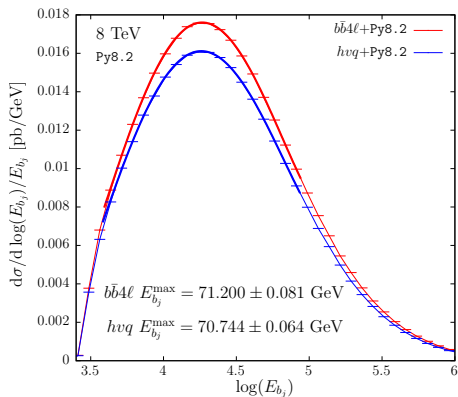
$$\tilde{f}(x) = \mathcal{N} \int dy f(y) \exp\left(\frac{-(x-y)^2}{2\sigma^2}\right), \quad \sigma = 15 \text{ GeV}.$$





# Energia del jet di $B$

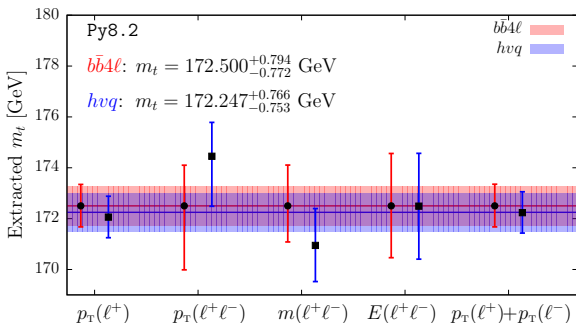
- Basato su [arXiv:1603.03445](https://arxiv.org/abs/1603.03445), Agashe, Franceschini, Kim, Schulze.
- Preso in considerazione da CMS in [CMS-PAS-TOP-15-002](#).
- Variabile adronica indipendente dal meccanismo di produzione.
- $E_{b_j}(m_t) \simeq E_{b_j}(m_t^{\text{ref}}) + 0.5(m_t - m_t^{\text{ref}}) \Rightarrow \Delta m_t = -2\Delta E_{b_j}$



$\Delta m_t \simeq 1 \text{ GeV} \Rightarrow hvq \text{ inadatto.}$

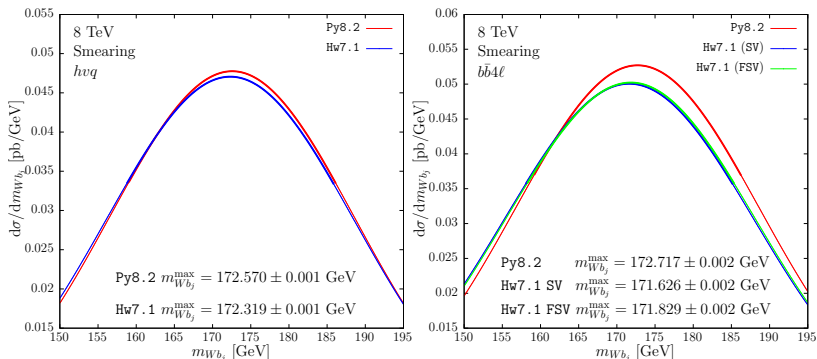
# Osservabili leptoniche

- Basato su [arXiv:1407.2763](https://arxiv.org/abs/1407.2763), Mitov, Frixione;
- Preso in considerazione da ATLAS in [ATLAS-CONF-2017-044](https://arxiv.org/abs/1702.02727).
- $\langle O_i \rangle = \langle O_i(m_t^{\text{ref}}) \rangle + B_i(m_t - m_t^{\text{ref}})$  con  
 $O_i = \{p_T(\ell^+), p_T(\ell^+\ell^-), m(\ell^+\ell^-), E(\ell^+\ell^-), p_T(\ell^+) + p_T(\ell^-)\}$ .
- Da  $O_i^{\text{exp}}$  ricavo il corrispondente valore  $m_i \pm \Delta m_{t,i}$ , media pesata:  
 $V_{ik} = \Delta m_{t,i}^2 \delta_{ik} + (1 - \delta_{ik}) \min(\Delta m_{t,i}^2, \Delta m_{t,k}^2, \rho_{ik} \Delta m_{t,i} \Delta m_{t,k})$



$\Rightarrow$   $hvq$  inadatto a descrivere osservabili sensibili alle correlazioni di spin.

Paragone fra **Pythia8.2** e **Herwig7.1** **AL MOMENTO** non molto soddisfacente per  $b\bar{b}4\ell$ .



- Le misure più precise di  $m_t$  sono basate sui Monte Carlo:  
aumentare l'accuratezza della descrizione del decadimento del  $t$ .

- Le misure più precise di  $m_t$  sono basate sui Monte Carlo:  
aumentare l'accuratezza della descrizione del decadimento del  $t$ .
- Il generatore più preciso implementato in POWHEG per  $pp \rightarrow t\bar{t}$  con decadimento leptonic è  $b\bar{b}4\ell$ :
  - ❶ da preferire ad  $hvq$  per la descrizione del  $b$ -jet e delle osservabili leptoniche;
  - ❷ rendere pubblica l'interfaccia a Pythia8.2;
  - ❸ rifinire l'interfaccia a Herwig7.1.

- Le misure più precise di  $m_t$  sono basate sui Monte Carlo: aumentare l'accuratezza della descrizione del decadimento del  $t$ .
- Il generatore più preciso implementato in POWHEG per  $pp \rightarrow t\bar{t}$  con decadimento leptonic è  $b\bar{b}4\ell$ :
  - ❶ da preferire ad  $hvq$  per la descrizione del  $b$ -jet e delle osservabili leptoniche;
  - ❷ rendere pubblica l'interfaccia a Pythia8.2;
  - ❸ rifinire l'interfaccia a Herwig7.1.
- Investigare l'ambiguità teorica intrinseca associata alla massa polo del top.