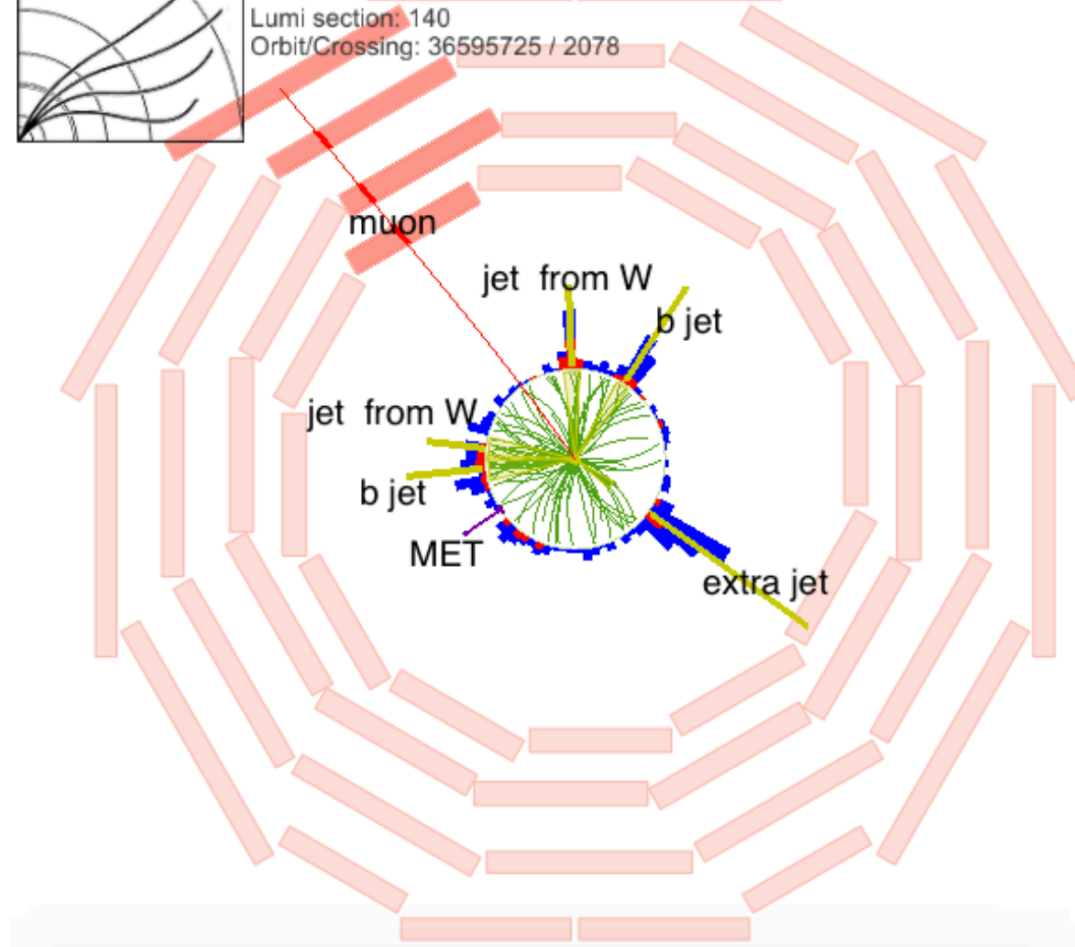


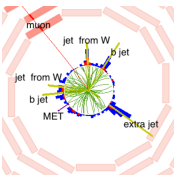


CMS Experiment at LHC, CERN  
Data recorded: Thu Jul 9 01:29:29 2015 CEST  
Run/Event: 251252 / 85041479  
Lumi section: 140  
Orbit/Crossing: 36595725 / 2078



## Attività e opportunità in fisica del top

Enrico Robutti  
INFN Genova



# Introduzione

---

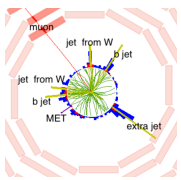
Non una review esaustiva sulla fisica del top in CMS

Selezione di alcune misure, in particolare con riferimento alla (poca) attività con contributo INFN

Possibili contributi per Run II

Coinvolgimento INFN ridotto rispetto al passato

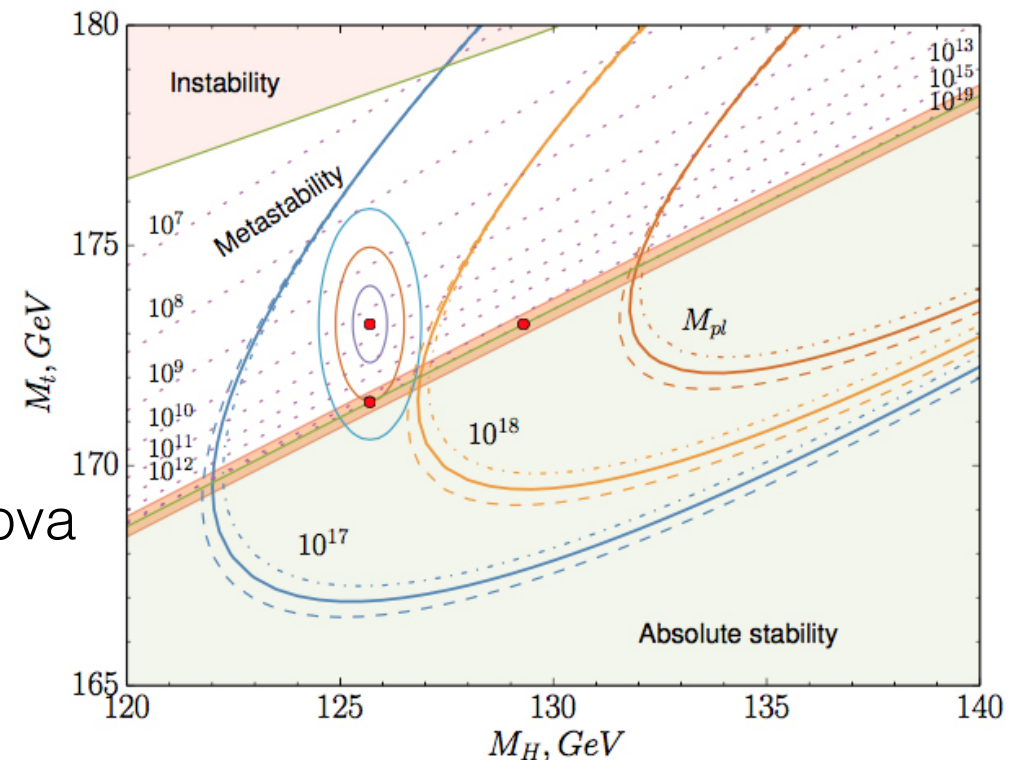
- attualmente nessun ruolo di coordinamento (eccetto PubComm)

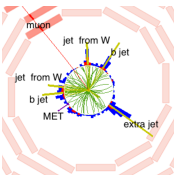


# Perché studiare il top

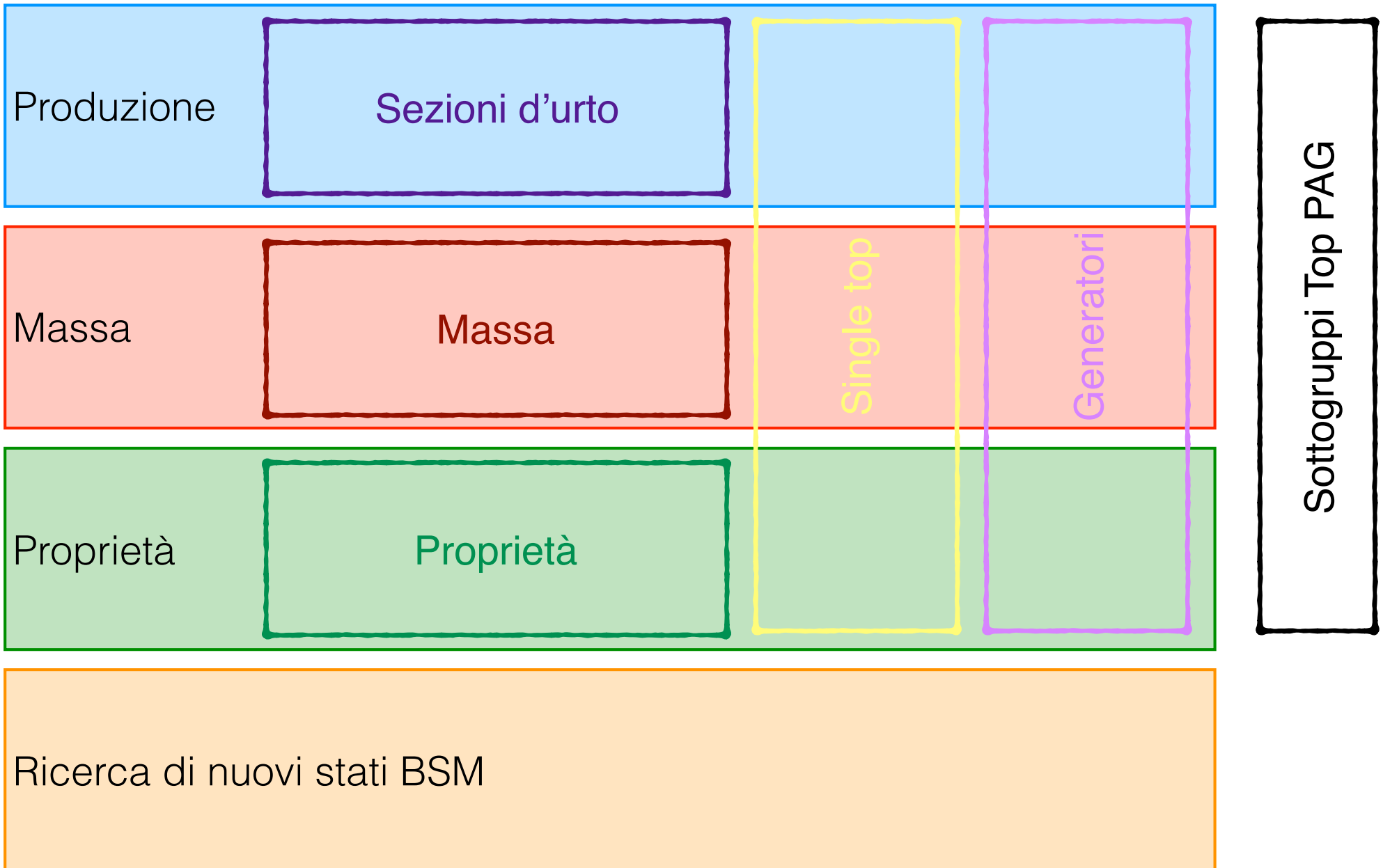
Il top è la particella elementare più pesante che conosciamo  $\Rightarrow$  ruolo privilegiato in misure di precisione del Modello Standard e in ricerche di Nuova Fisica:

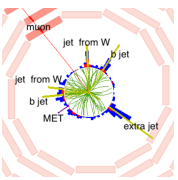
- unico quark con massa maggiore del W  $\Rightarrow$  decadimento debole in W reali
  - no adronizzazione;
  - accesso diretto agli accoppiamenti deboli (CKM)
- unico quark con accoppiamento con Higgs  $\mathcal{O}(1)$ 
  - centrale nei processi di produzione di Higgs a LHC (top loop);
  - ruolo della massa nella stabilità del vuoto elettrodebole
- candidato ideale per ricerche di Nuova Fisica in numerosi modelli BSM



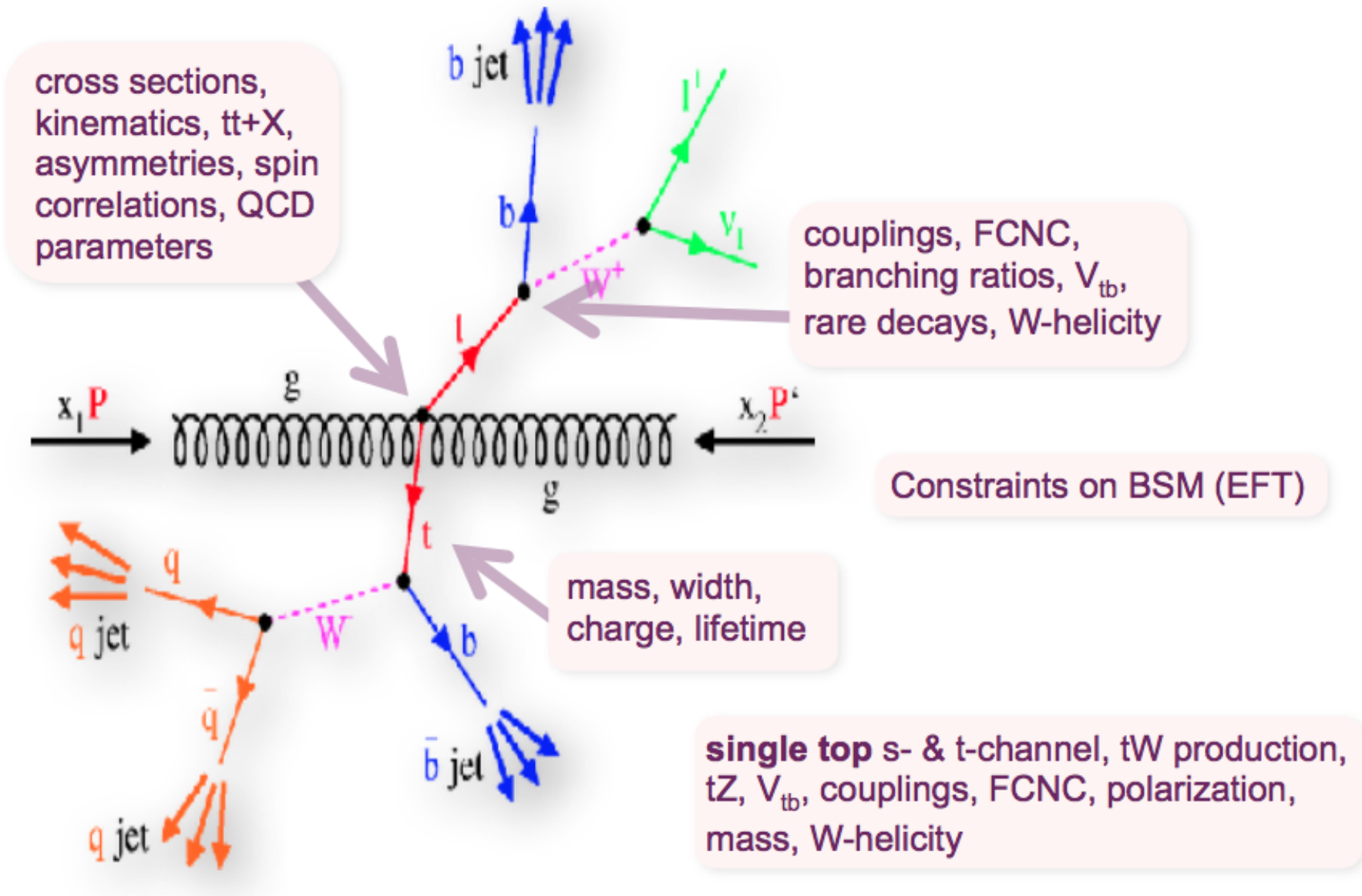


# Aree di interesse nella fisica del top

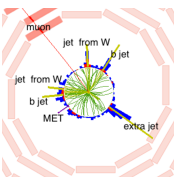




# Tante misure, in una figura



(dalla riunione di Physics Planning del 26.10.2017)

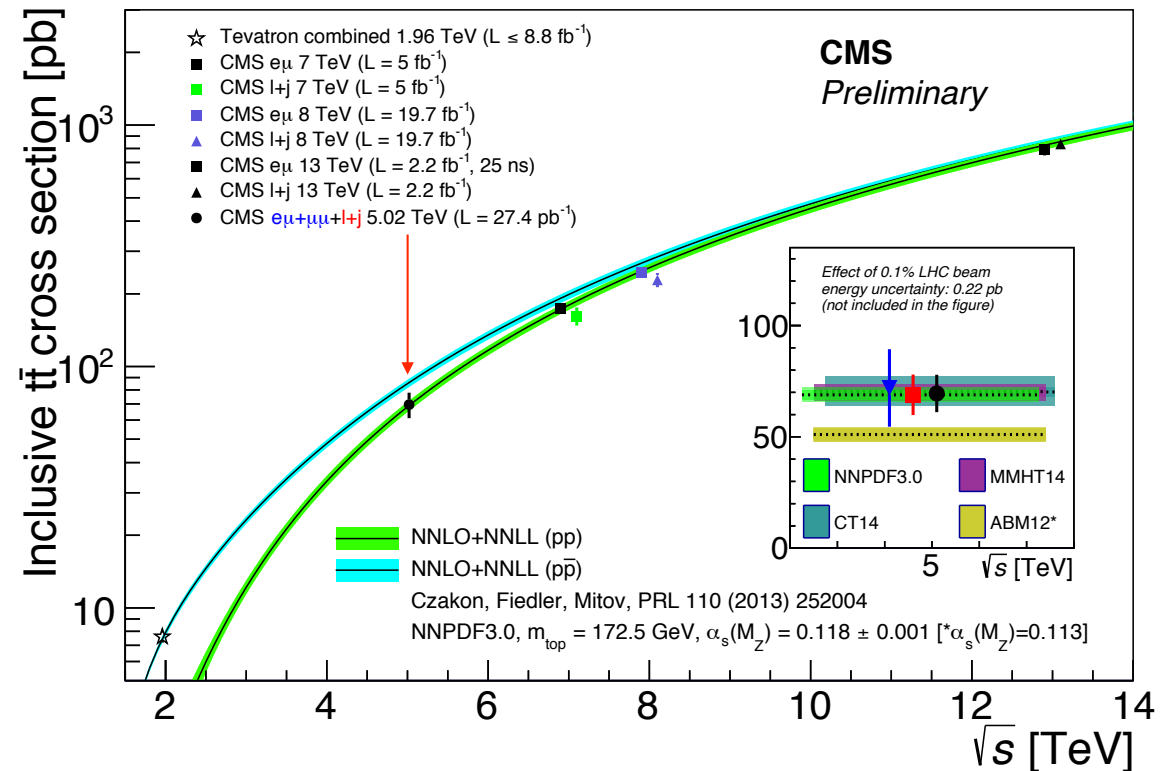
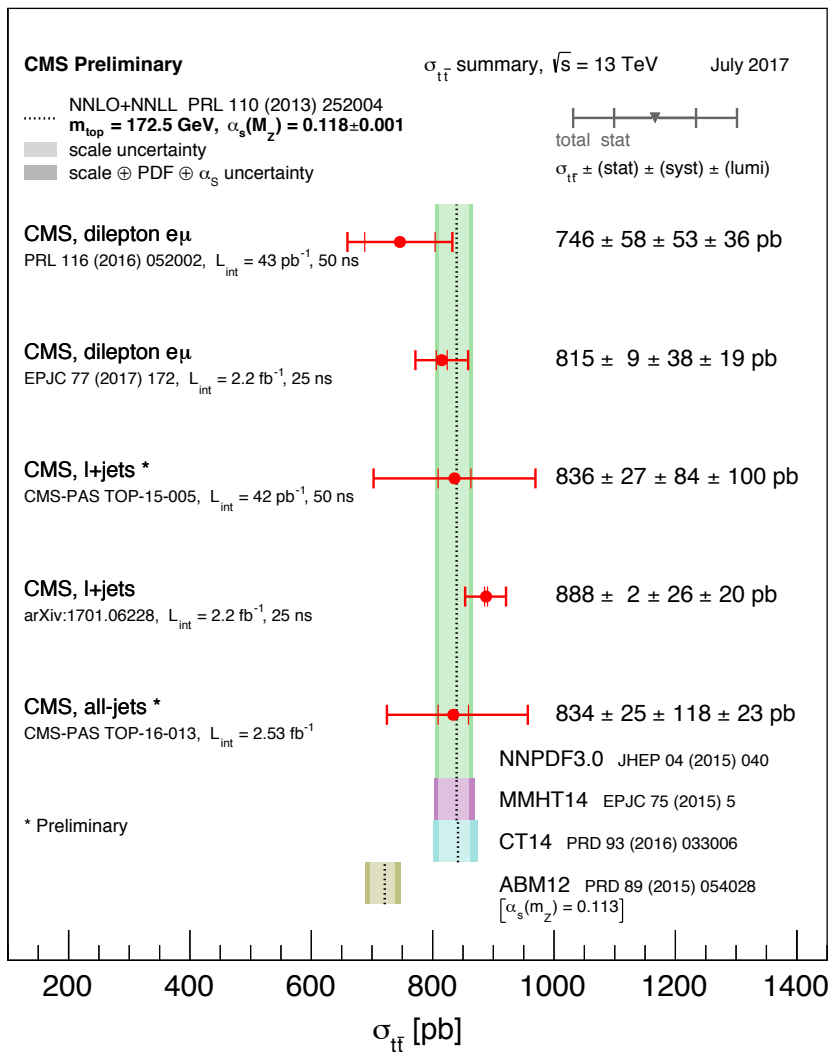


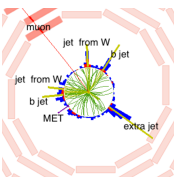
# Sezione d'urto di produzione $t\bar{t}$

Le misure più precise sfruttano i canali con leptoni:  $e$  e  $\mu$  e soprattutto  $l + \text{jets}$

- limitate da sistematiche

Possono essere sfruttate per vincolare parametri:  $m_{\text{top}}$ ,  $\alpha_s$ , PDF del protone



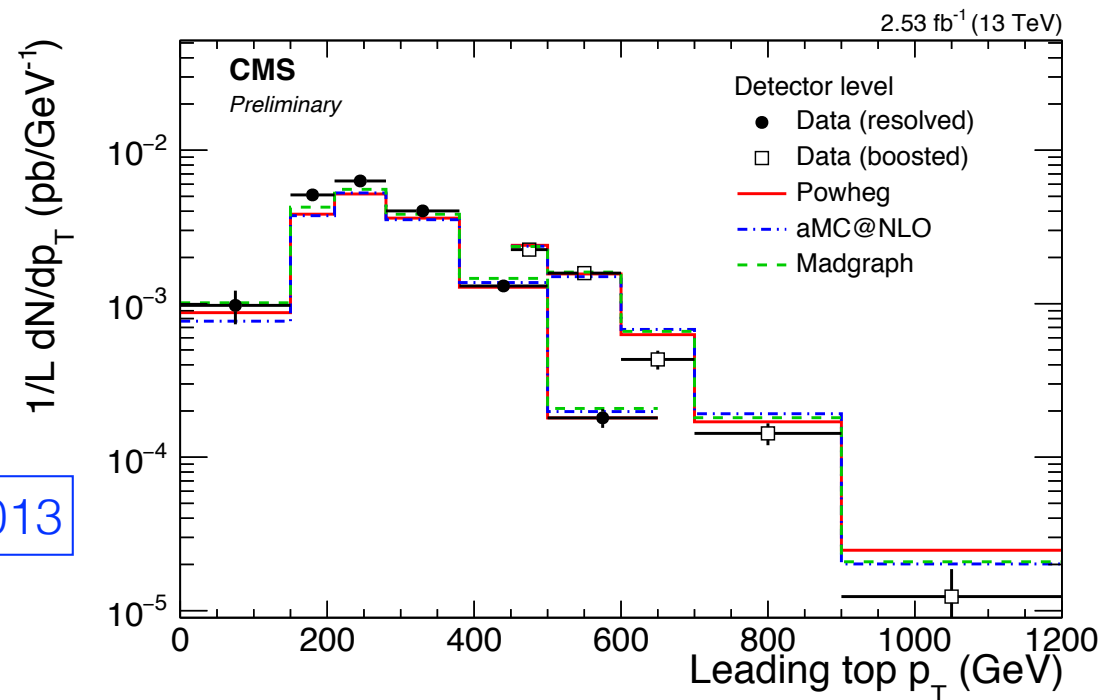


# Ricostruzione $t\bar{t}$ nel canale adronico

Analisi con contributo italiano (Bologna) nel canale adronico a 13 TeV:

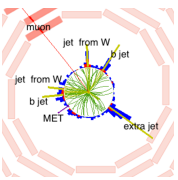
- a basso  $p_t$  incertezza molto superiore ai canali con leptoni
- diventa più interessante per alto  $p_t$  ( $> 400$  GeV)
  - prodotti di decadimento “boosted” (jet non risolti)
  - contributo significativo a misure differenziali

PAS TOP-16-013

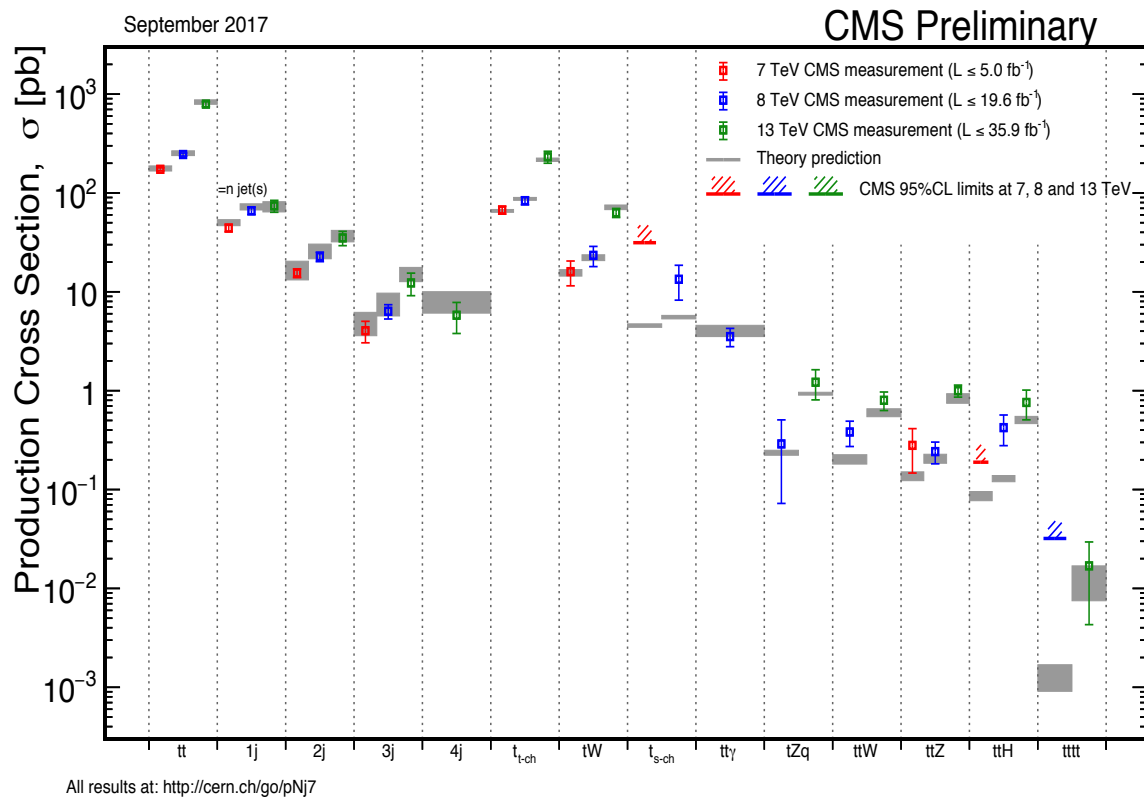


Possibili prosecuzioni dell'analisi (a seconda delle forze disponibili):

- studio di produzione  $t\bar{t}H$ ;
- misura di  $m_{\text{top}}$



# $t\bar{t} + X$

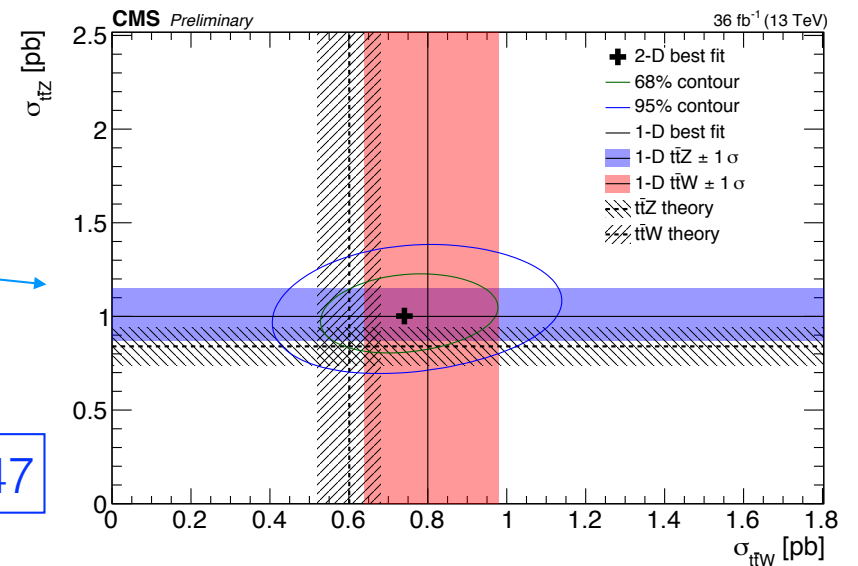


## Verifica previsioni SM

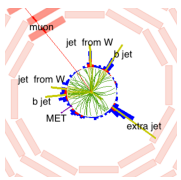
- contributi di Nuova Fisica;
- accoppiamenti del top;
- stima fondi per altri canali di interesse

Recente misura di  $\sigma(t\bar{t}W)$  e  $\sigma(t\bar{t}Z)$

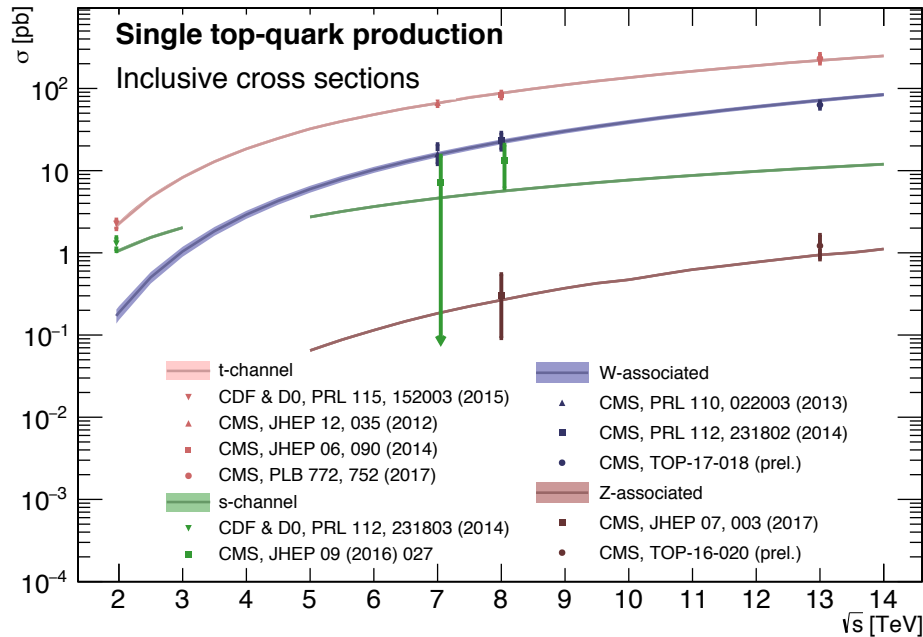
arXiv:1711.02547







# Sezioni d'urto single top e tZq



Sezioni d'urto misurate per  $t$ -channel e  $tW$  a tutte le energie

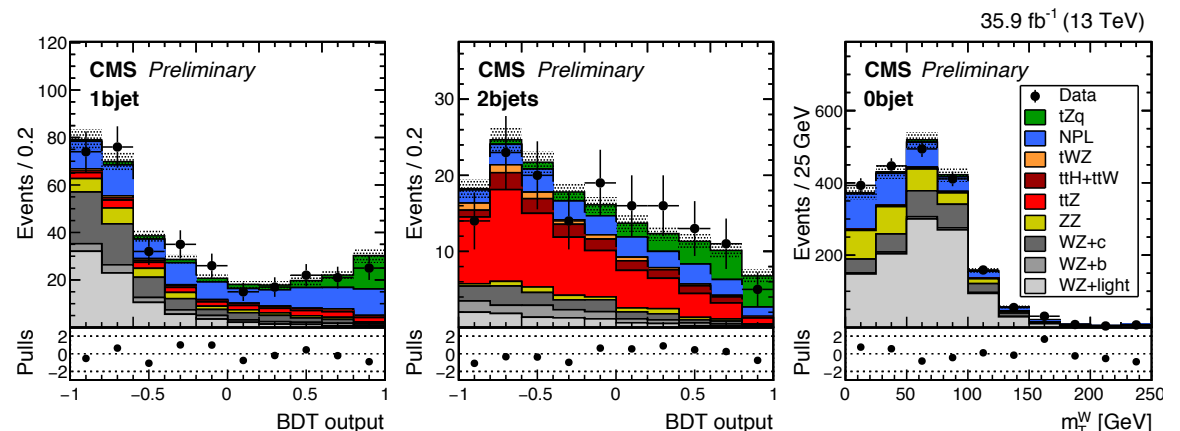
- limite superiore a 8 TeV per  $s$ -channel

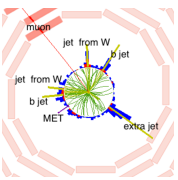
Produzione associata di Z ( $tZq$ ): processo raro nel Modello Standard

- vertici  $ttZ$  e  $WWZ$  nei diagrammi al LO (possibili contributi di Nuova Fisica)
- stato finale a 3 leptoni

$$\sigma(pp \rightarrow t\ell^+\ell^-q) = (123^{+44}_{-39}) \text{ fb} \quad (3.7 \sigma)$$

PAS-TOP-16-020



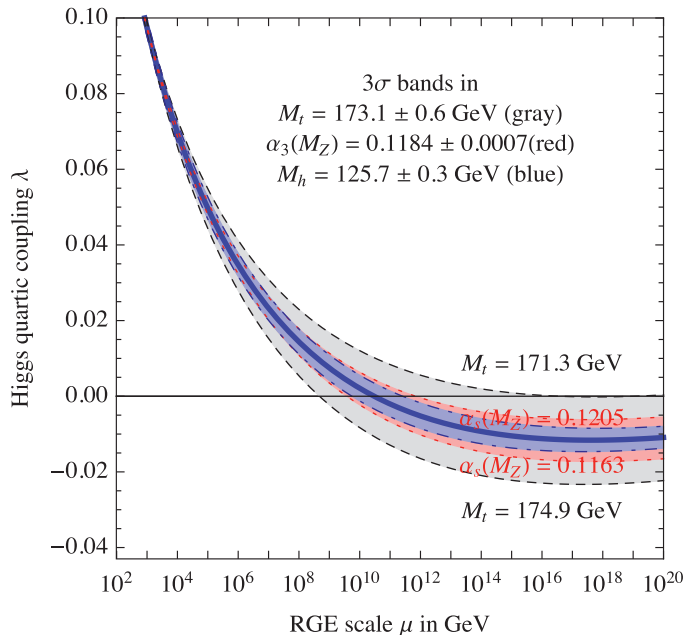
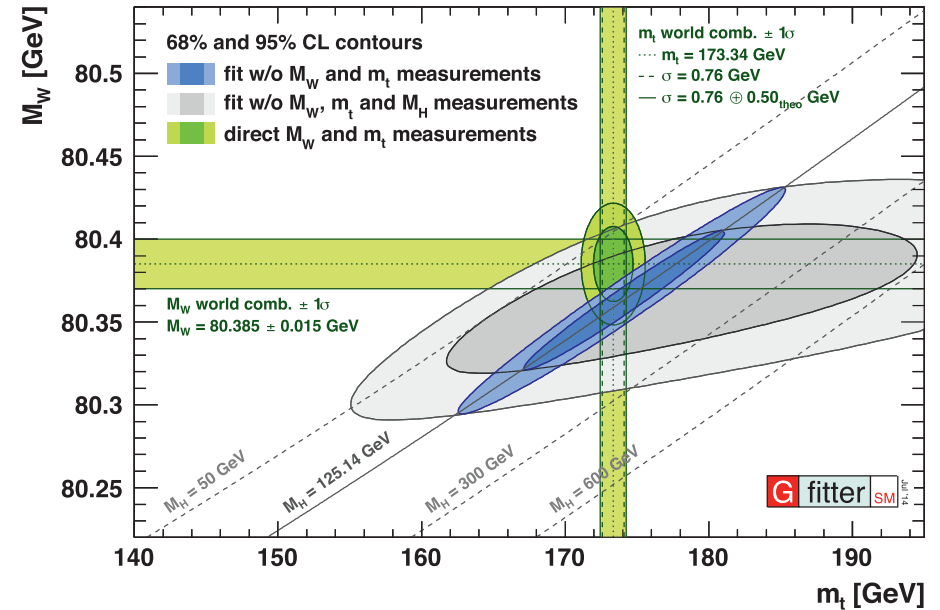


# Misure di precisione di $m_{\text{top}}$

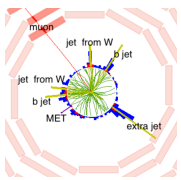
Il top ha una presenza dominante nei loop per le correzioni del Modello Standard

⇒ il valore della massa influenza tutti i calcoli oltre il LO degli osservabili

⇒ la precisione nella sua misura è importante per testare la consistenza interna della teoria ed evidenziare eventuali effetti di Nuova Fisica

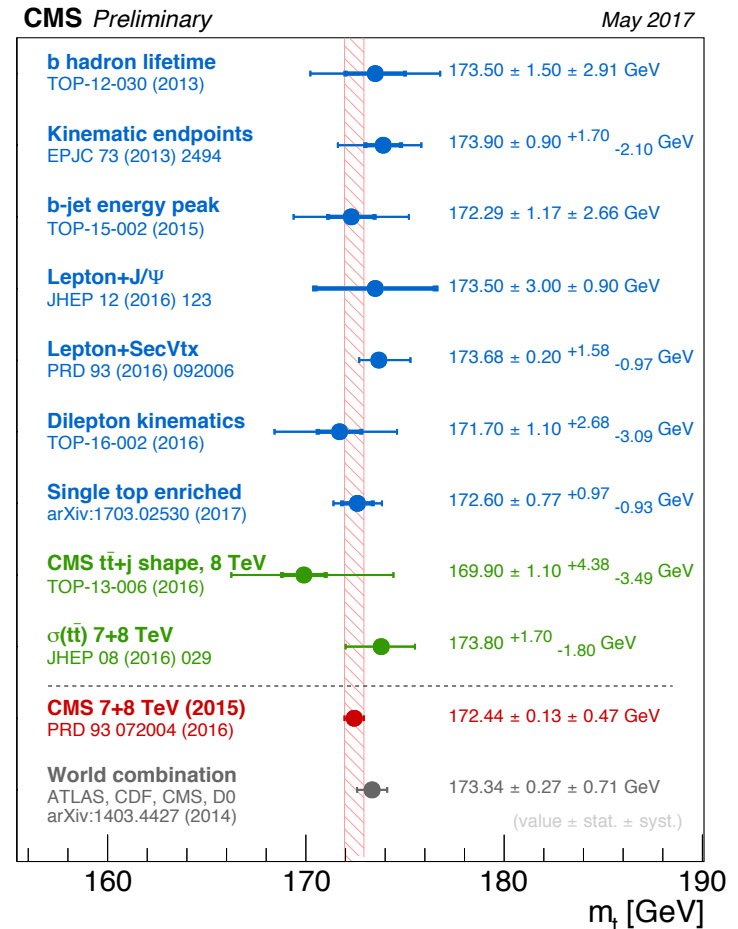
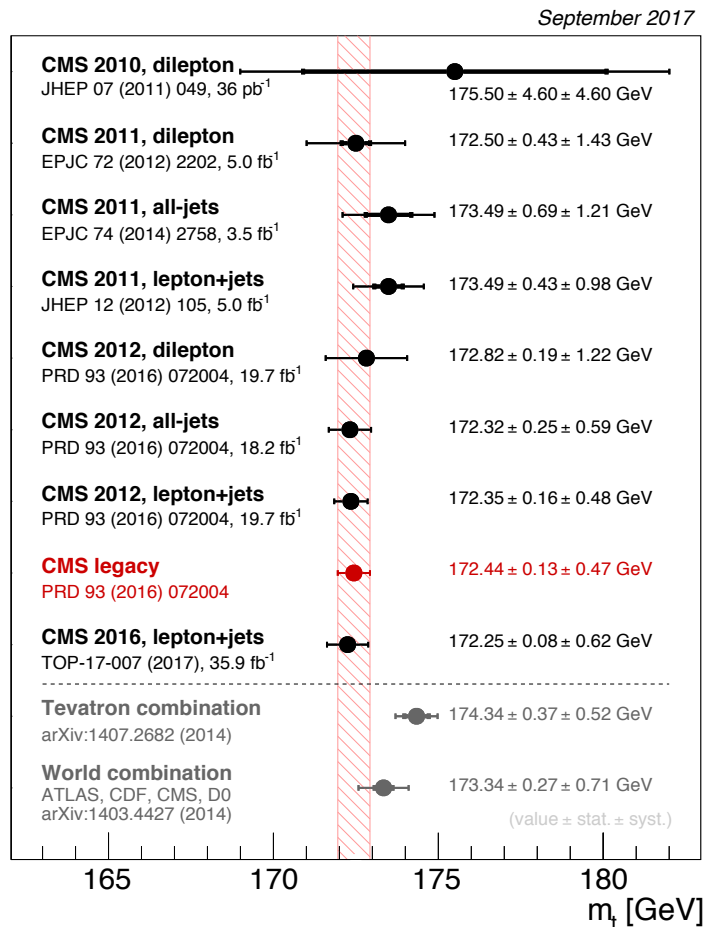


L'estrapolazione del Modello Standard ad alte energie, in particolare l'evoluzione dell'accoppiamento quartico del bosone di Higgs, dipende in maniera critica dal valore di  $m_{\text{top}}$



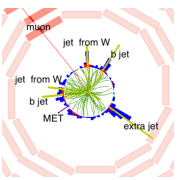
# Misure di $m_{\text{top}}$ a CMS

Le misure più precise sono ottenute nel canale  $l + \text{jet}$  in produzione  $t\bar{t}$



Misure in altri canali e con varie tecniche sono utili per disaccoppiare effetti sistematici e migliorare i modelli usati nei generatori

- molte tecniche alternative proposte

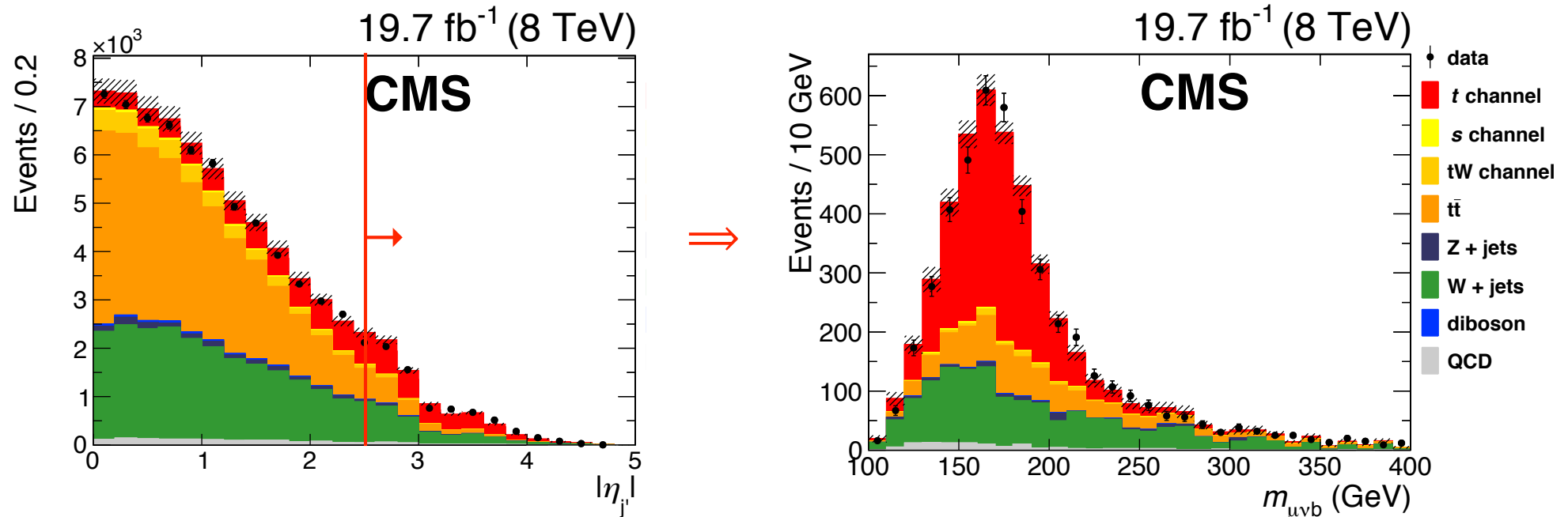


# Misura di $m_{\text{top}}$ in eventi top singolo

Gli eventi da produzione elettrodebole (single top) forniscono un campione indipendente da  $t\bar{t}$ , con molti effetti sistematici scorrelati

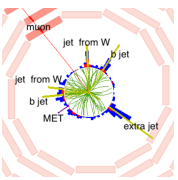
Misura sul campione a 8TeV nel canale con  $\mu$  (Genova)

- soppressione  $t\bar{t}$  con selezione jet leggeri in avanti  $\Rightarrow$  purezza single top  $\sim 75\%$



$$m_{\text{top}} = (172.95 \pm 0.77^{+0.97}_{-0.93}) \text{ GeV}$$

Eur.Phys.J. C77 (2017) 5, 354



# $m_{\text{top}}$ in top singolo a 13 TeV

A 13 TeV,  $\sigma(\text{single top})/\sigma(t\bar{t})$  diminuisce, ma la statistica aumenta  
 $\Rightarrow$  si può “stringere” la selezione sui single top:

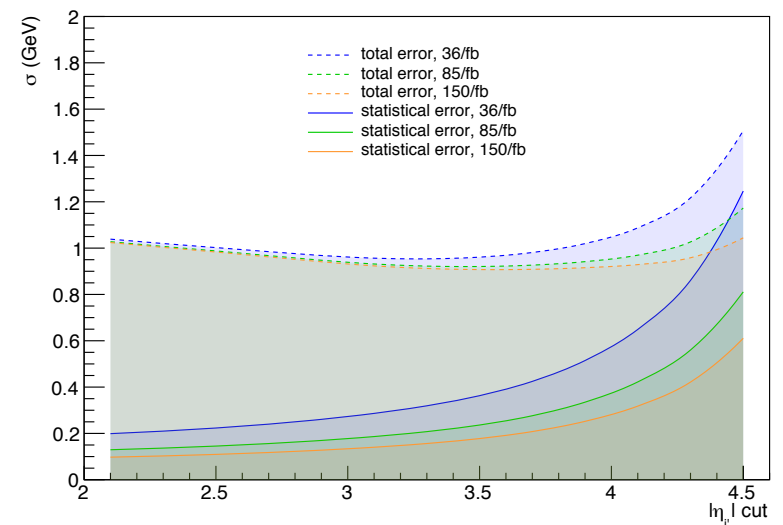
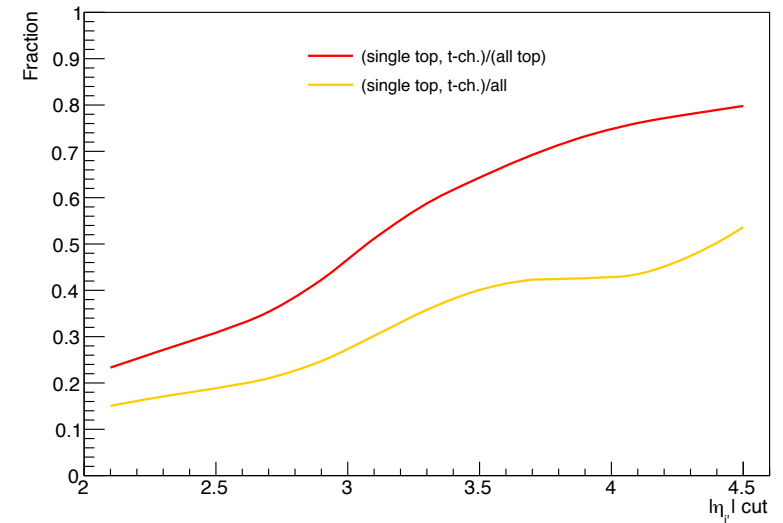
- si ripristina la purezza;
- migliore rapporto S/N  $\Rightarrow$  riduzione incertezze sistematiche

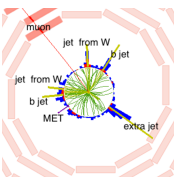
Proiezioni basate su attuali campioni single top a 13 TeV ( $\sim 36 \text{ fb}^{-1}$ )

- evoluzioni degli errori “naif”, con stessa selezione dell’analisi a 8TeV (solo  $\mu$ );
- altri miglioramenti possibili (aggiunta elettroni, selezione più raffinata, sistematiche,...)

$\Rightarrow$  errore totale competitivo!

Intenzione di ripetere l’analisi, bisogna radunare le forze...





# Misura di $|V_{tq}|$ da eventi top singolo

Le analisi di top singolo assumono che sia la produzione che il decadimento del top avvengano tramite vertici  $tWb$  ( $|V_{tb}| \approx 1$ )

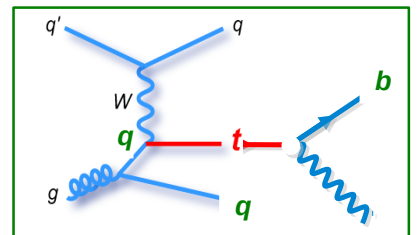
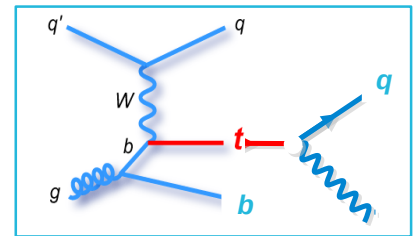
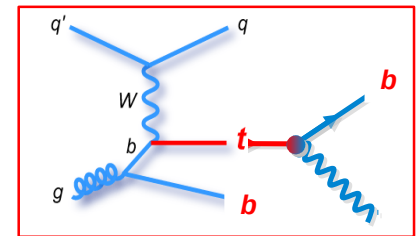
In realtà la selezione raccoglie anche eventi con vertici  $tWd$  e  $tWs$

$$\alpha |V_{tb}|^2 |V_{tb}|^2 \epsilon_{(b,b)}^{\text{selection}}$$

$$+ \alpha |V_{tb}|^2 (|V_{td}|^2 + |V_{ts}|^2) \epsilon_{(b,q)}^{\text{selection}}$$

$$+ \beta |V_{td}|^2 |V_{tb}|^2 \epsilon_{(d,b)}^{\text{selection}}$$

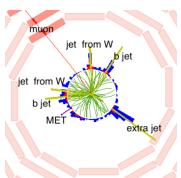
$$+ \gamma |V_{tb}|^2 |V_{ts}|^2 \epsilon_{(s,b)}^{\text{selection}}$$



rapporto di decadimento

Vertex	tWb	tWd	tWs
$ V_{tq} $	$0.998 \pm 0.01$	$0.0084 \pm 0.0006$	$0.0429 \pm 0.0026$
$R_q$	$0.999 \pm 0.01$	$7.06 \pm 1.01 \cdot 10^{-5}$	$1.84 \pm 0.22 \cdot 10^{-3}$
$\sigma_{t\text{-ch.,q}}$	$216.99.06 \pm 5.8$	$1441 \pm 10.$	$500 \pm 10.$

sezione d'urto di produzione



# Misura di $|V_{tq}|$ da eventi top singolo

Analisi in corso (Napoli) su dati a 13 TeV del 2016 ( $\sim 36 \text{ fb}^{-1}$ )

Definizione di variabili discriminanti su campioni con diverse composizioni

Fit globale con contributi da vertici  $tWd$  e  $tWs$

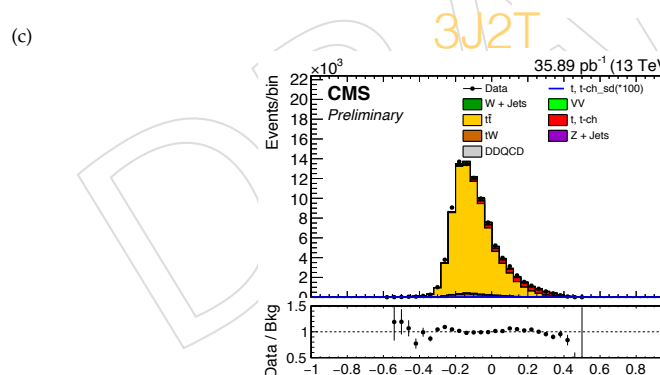
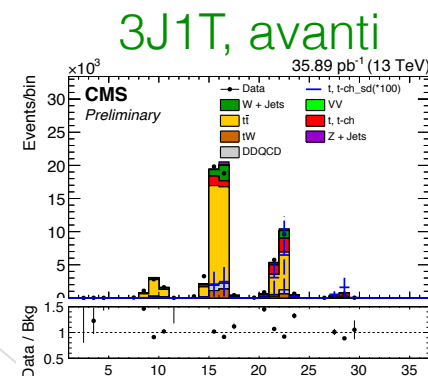
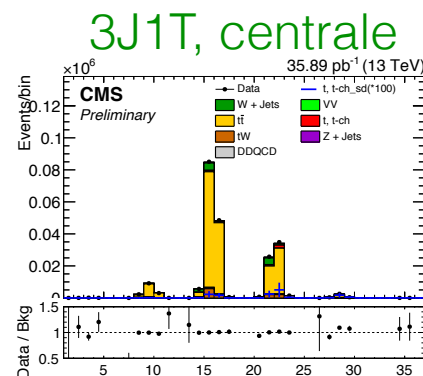
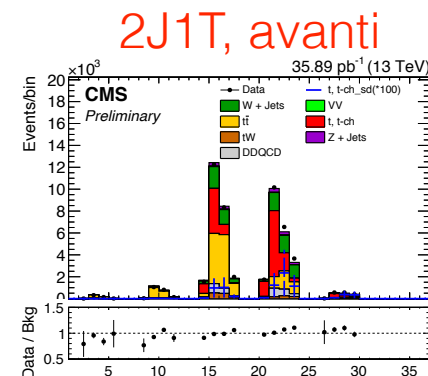
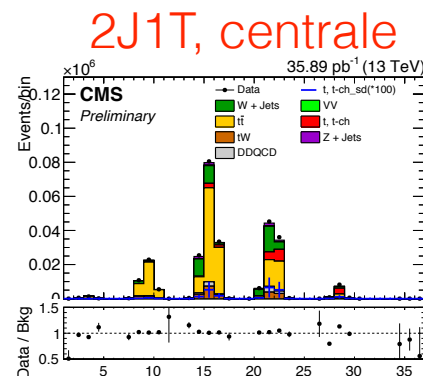
$$|V_{tb}| = 0.974 \pm 0.003$$

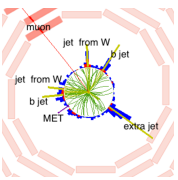
$$|V_{tb}|^2 + |V_{tq}|^2 < 0.061 \text{ 95\% C.L.}$$

(molto preliminare)

Analisi da finalizzare per la pubblicazione

Intenzione di estendere a tutta la statistica di Run II se forze disponibili





# Altre opportunità di analisi

Dalla riunione di Physics Planning del 26.10.2017: enfasi sulle misure di proprietà del top

Analisi di interesse “non coperte” in tutte le aree. Alcune:

- processi rari con  $t\bar{t}$  adronico:  $t\bar{t}t\bar{t}$ ,  $t\bar{t}b\bar{b}$ ,  $t\bar{t}c\bar{c}$ ;
- processi rari in single top:  $tWZ$ ;
- $m_{\text{top}}$  da sezioni d'urto differenziali

## New ideas, not covered:

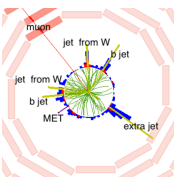
- Asymmetry in  $t\bar{t}$ +photon, energy/incline asymmetry in  $t\bar{t}$ +1jet
- Direct probe of top width from b-charge asymmetry
- Angular correlations in forward tagged jets
- Top quark radius

## Analyses in Run1, not covered in Run2:

- Charge asymmetry
- Transverse top polarization
- Ratio  $B(t \rightarrow Wb)/B(t \rightarrow Wq)$
- Top quark charge

Substantial opportunities for contributions !





# Conclusioni

---

La fisica del top continua a essere molto attiva in CMS

- 14 articoli pubblicati o spediti nel 2017, 23 nuove CADI lines

Il coinvolgimento INFN è però inferiore rispetto al passato

Possibilità di contribuire/iniziare analisi di interesse, anche in settori su cui abbiamo esperienza

Link utili:

presentazione al **Physics Planning Meeting**:

[https://indico.cern.ch/event/671372/contributions/2767812/attachments/1548010/2430339/physics\\_planning\\_oct17\\_final.pdf](https://indico.cern.ch/event/671372/contributions/2767812/attachments/1548010/2430339/physics_planning_oct17_final.pdf)

**Top! Hammertime** (a CMS top quark workshop):

<https://indico.cern.ch/event/658669/>