



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

MISURA DELLA MASSA DEL TOP A CMS

Anno Accademico 2011/2012

Corso di Fisica Nucleare e Subnucleare II

Professore Carlo Dionisi
Tutor Dott. Marco Rescigno
Dott. Fabrizio Margaroli

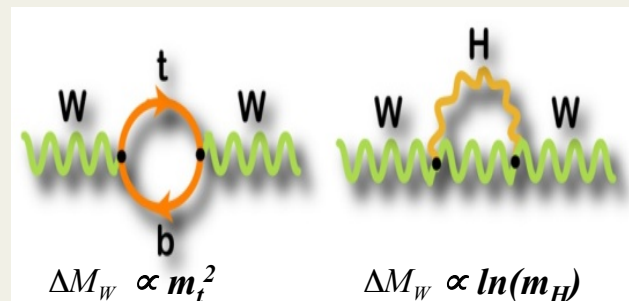
Studente Alessandro Cicchetti

Importanza della misura

A livello teorico la massa del top è importante per 4 motivi:

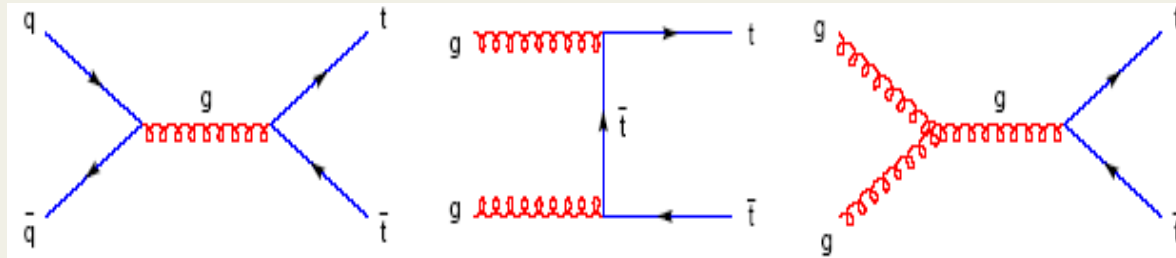
- 1) $X = f(\alpha, G, \alpha_s, M_Z, m_t, m_H)$ completa il set di variabili dello S.M.
- 2) stretto legame con i loop delle correzioni radiative
- 3) pone un vincolo sulla massa dell'Higgs

4) L'accoppiamento di Yukawa $\lambda_t = \sqrt{2} \frac{M_t}{v} \approx 1$, possibilità di un ruolo privilegiato del top nei processi di creazione di massa



Produzione del Top

Alcuni diagrammi di Feynman per la produzione di $t\bar{t}$:



Tevatron:

85% $q\bar{q}$
15% gg

LHC:

15% $q\bar{q}$
85% gg

Presenti anche fenomeni single top \rightarrow sezione d'urto

Produzione del Top 2

Sezione d'urto puntiforme:

$$\sigma(Q\bar{Q} \rightarrow t\bar{t}) = \frac{4\pi\alpha_s^2}{3\hat{s}} \frac{2}{9}$$

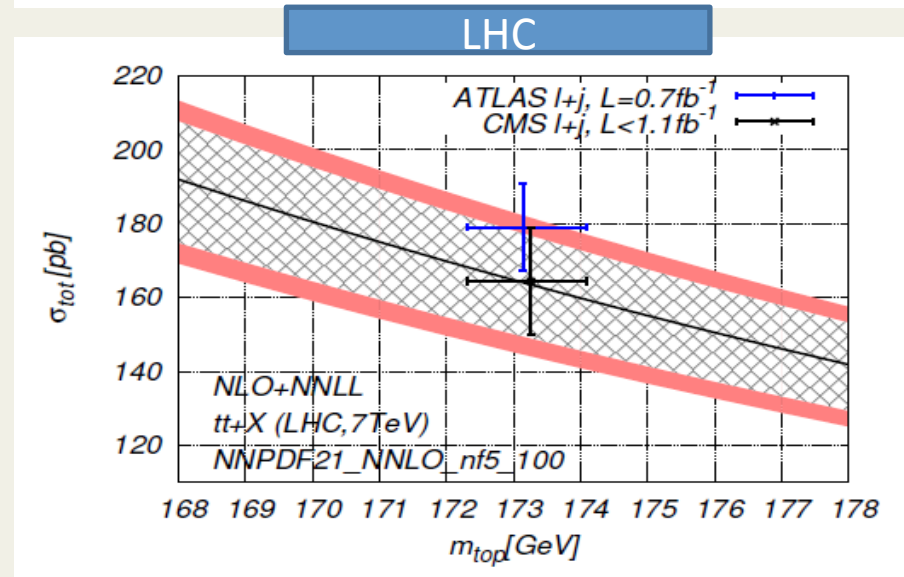
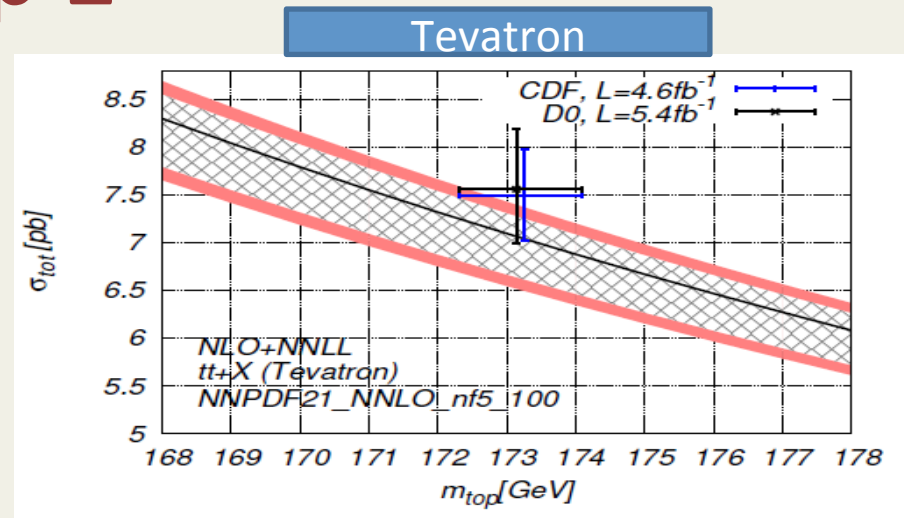
In collisioni ppbar, la soglia per la produzione dipende dalla frazione di momento trasportata dal quark

$$x_1 x_2 = \frac{\hat{s}}{s} \geq \frac{4m_t^2}{s}$$

Si può calcolare numericamente la sezione d'urto per produzione di coppie ttbar da ppbar in funzione della massa del top.

A CMS

per $m_t \sim 173 \text{ GeV}$ $\sigma \sim 160 \text{ pb}$

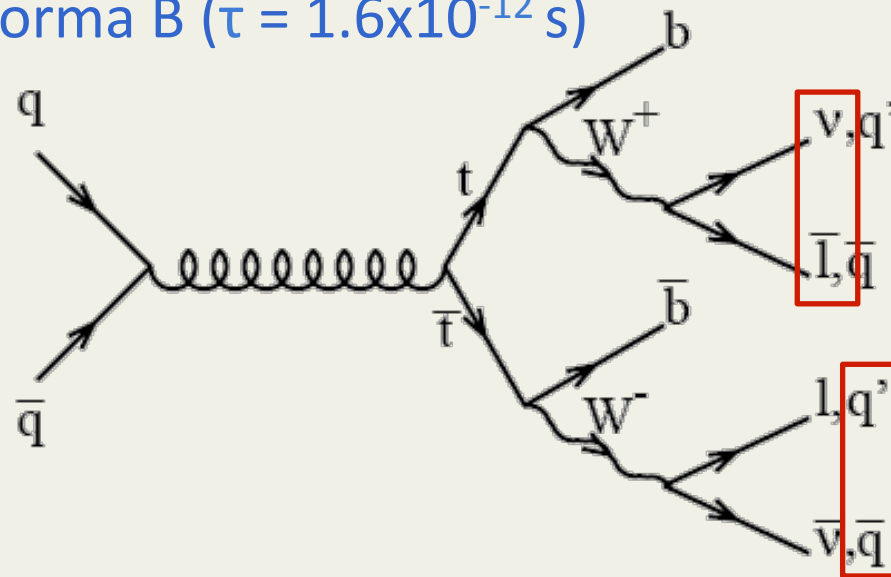


Canali di decadimento

$$\frac{BR(t \rightarrow Wb)}{BR(t \rightarrow Wq)} = \frac{|V_{tb}|^2}{|V_{tb}|^2 + |V_{td}|^2 + |V_{ts}|^2} = 0.99825 \pm 0.00005$$

Il top, con un $\tau_t = 0.5 \times 10^{-24} \text{s}$ è l'unico quark che non riesce ad adronizzare ($\tau_{\text{strong}} \approx 10^{-23}$) e decade in:

- bosone $W \rightarrow qq$ 66% o lv 33%
- quark b, che forma B ($\tau = 1.6 \times 10^{-12} \text{s}$)



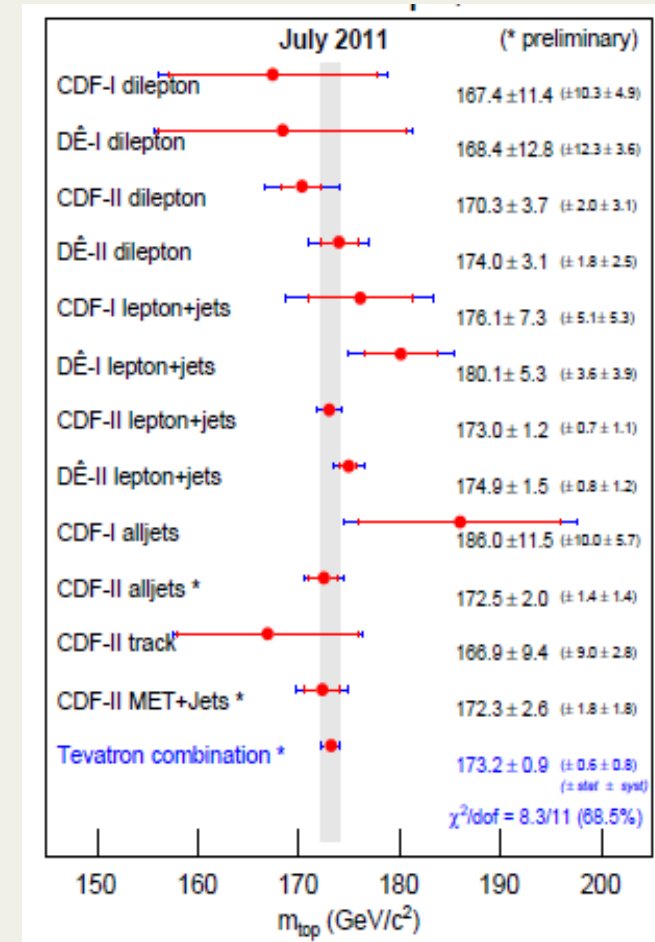
Misura di riferimento

Al momento attuale la misura più accurata è stata realizzata al Tevatron (CDF) nel canale l+jets:

$$M_t = 173.0 \pm 1.2 \text{ GeV}$$

Dall'intera raccolta dati in tutti i canali e in entrambi gli esperimenti si ottiene:

$$M_t = 173.2 \pm 0.9 \text{ GeV}$$



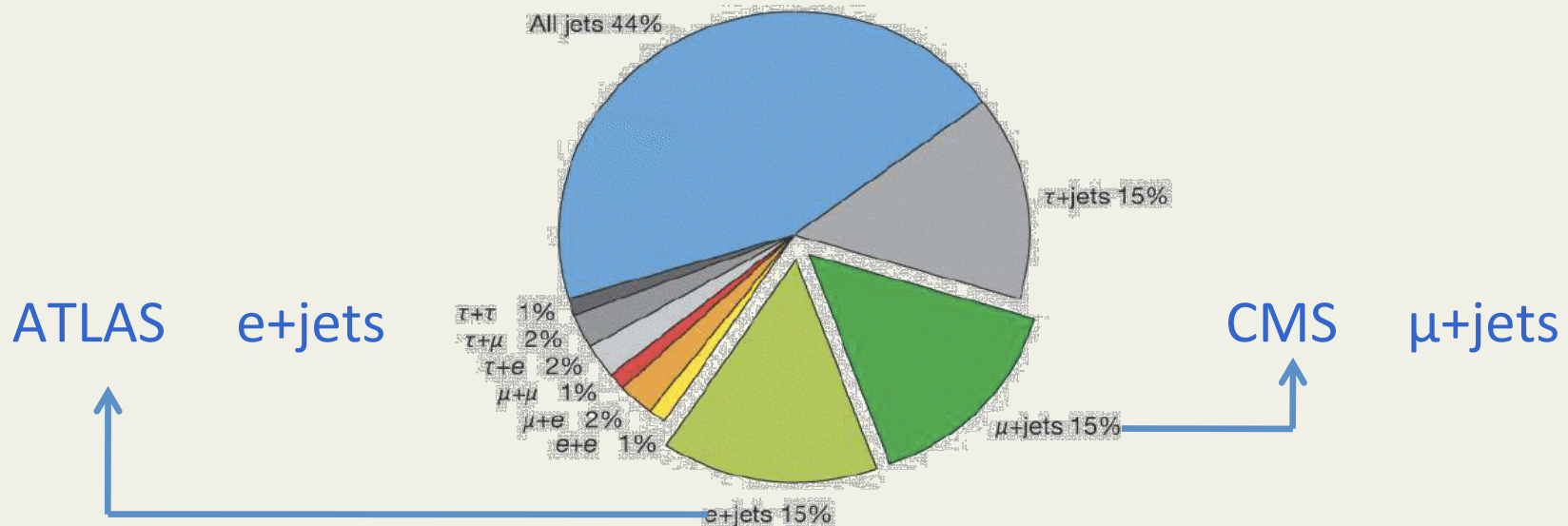
Caratteristiche *Large Hadron Collider* (LHC)

Nel 2011

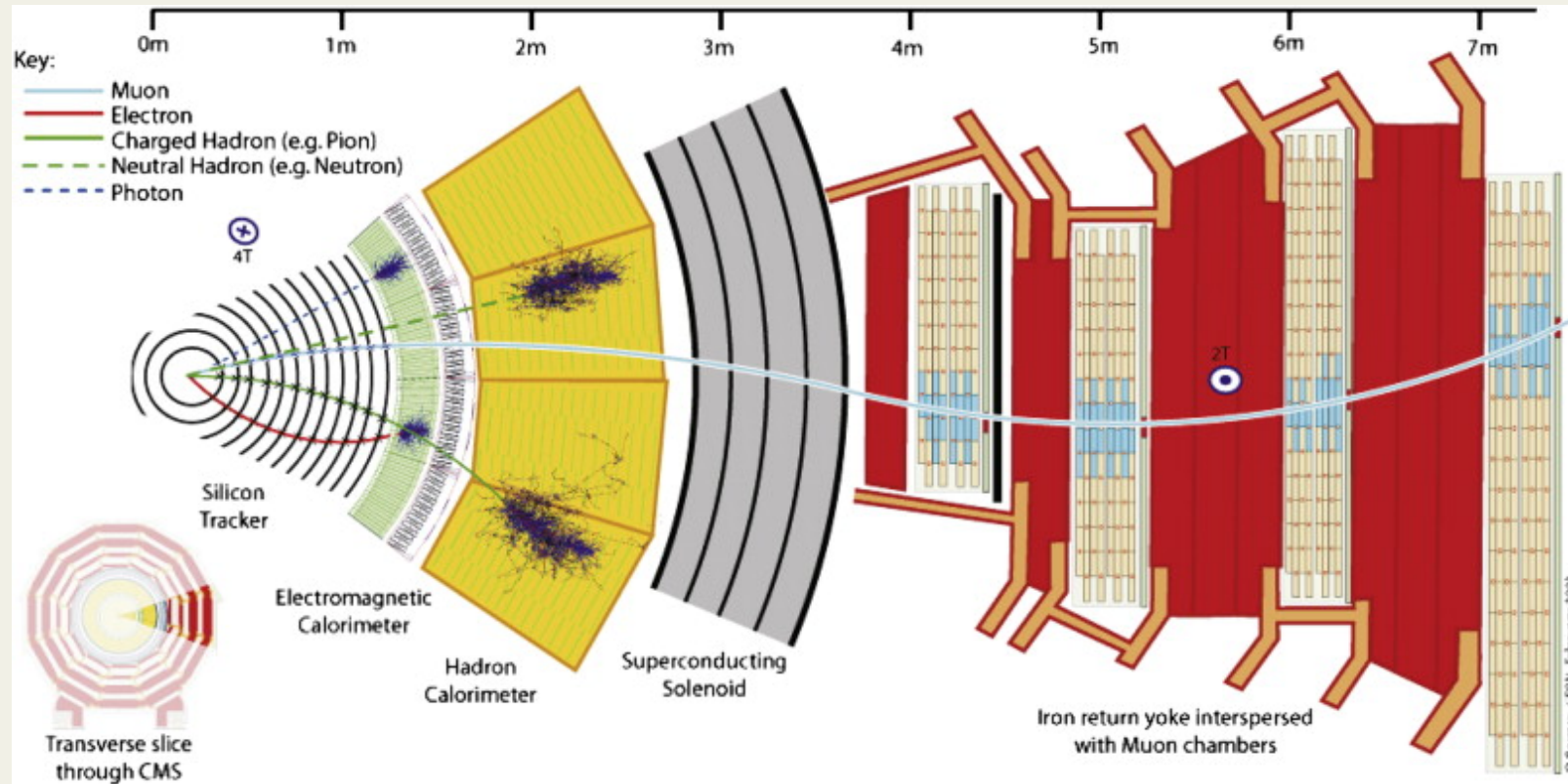
$v_s = 7 \text{ GeV}$
 $L = 4,7 \text{ fb}^{-1}$
 $\sigma = 160 \text{ pb}$
 $N_{\text{tot},2011} = 7.52 \times 10^5 \approx 10 N_{\text{tot},\text{Teva}}$

$$\frac{\sigma L}{t} = \frac{1.6 \cdot 10^{-10} \cdot 4.7 \cdot 10^{15}}{3.1536 \cdot 10^7}$$

↓
1.4 tt al min



Struttura *Compact Muon Solenoid* (CMS)



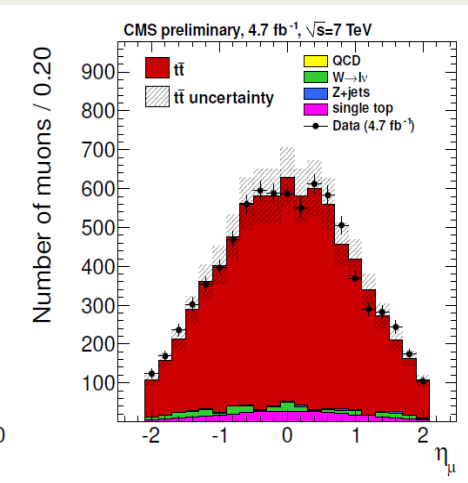
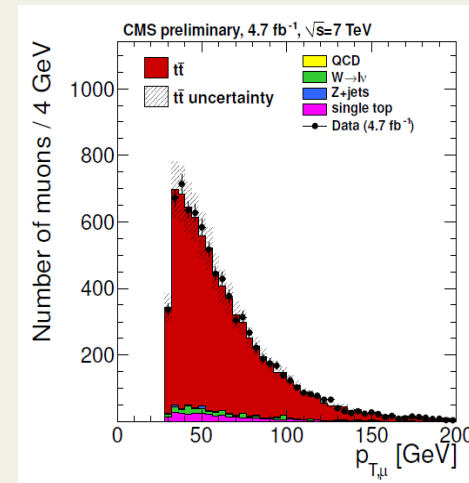
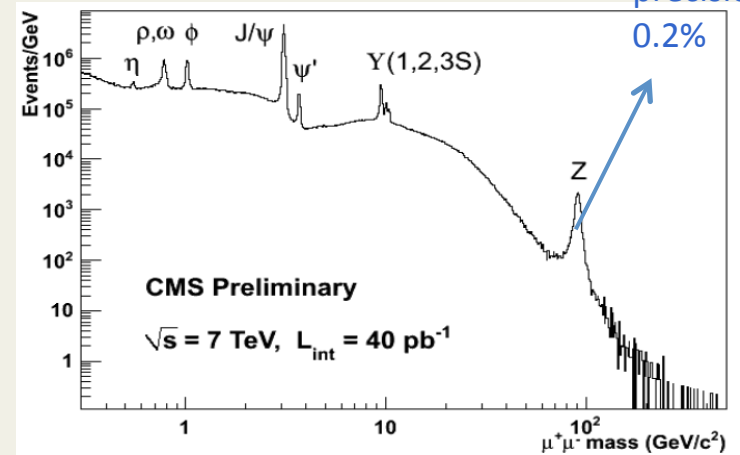
Canale semileptonico a CMS

Data Sample

Per identificare il decadimento e per migliorare il S/Bkg sono richieste le seguenti caratteristiche:

- muone isolato
 $p_t > 30 \text{ GeV}$
 $|\eta| < 2.1$
- $\text{MissEnergyTransverse} > 20 \text{ GeV}$

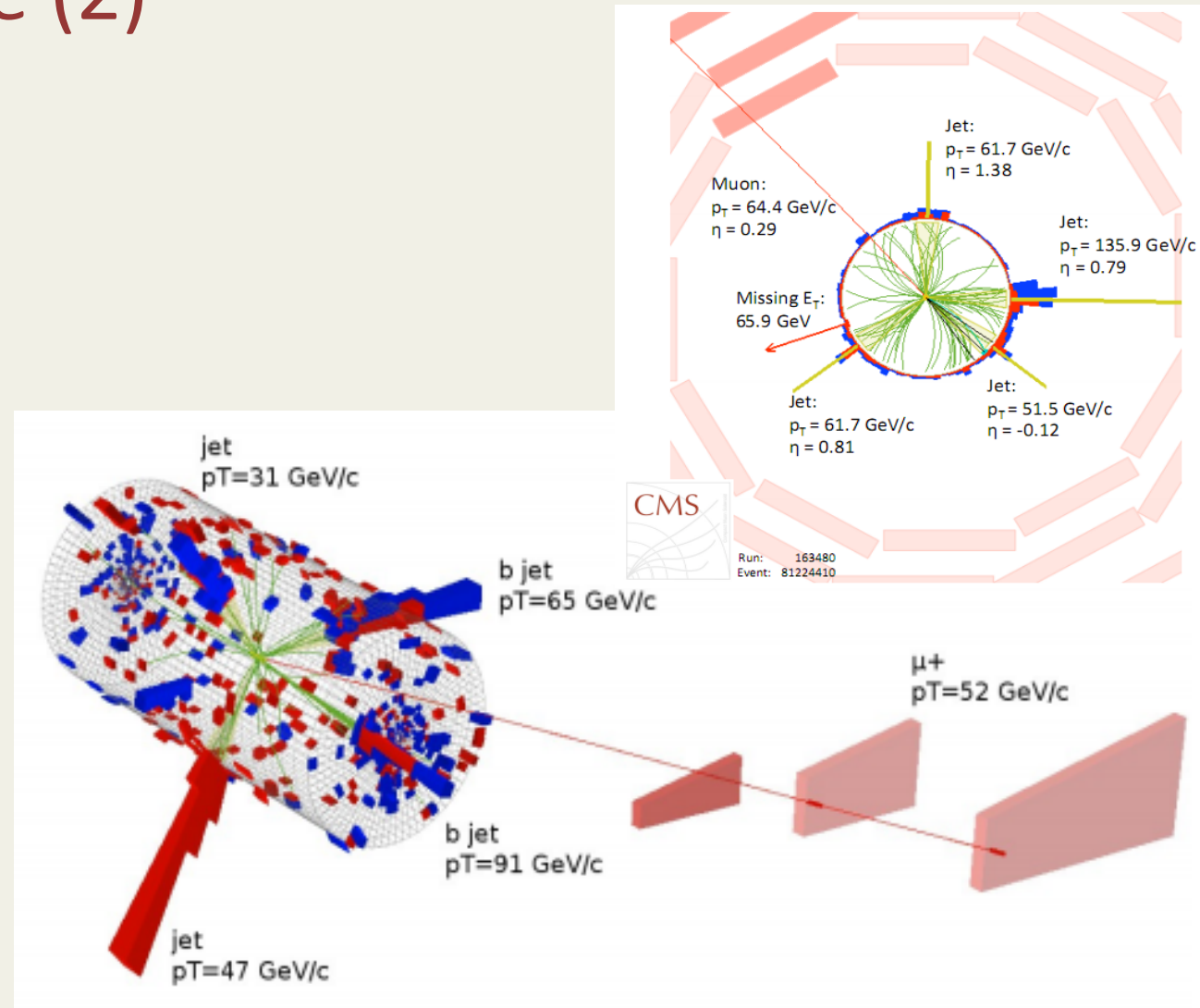
p_t con una precisione dello



Data sample (2)

- almeno 4 jet:
 - 2 b-tagged
 - 2 provenienti dai light quark

$p_T > 30 \text{ GeV}$
 $|\eta| < 2.4$



Data Sample (3)

Nel decadimento leptonic il p_z del neutrino non può essere misurato.

Massa Trasversa:

$$M_t^W = \sqrt{2 \cdot p_t^l \cdot p_t^{\nu} \cdot (1 - \cos \Delta\phi)}$$

$$p_t^{\nu} = |\vec{p}_t^l + \vec{u}|$$

$\Delta\phi$: *angolo nel piano trasverso
tra leptone e neutrino*

Jet Energy Scale

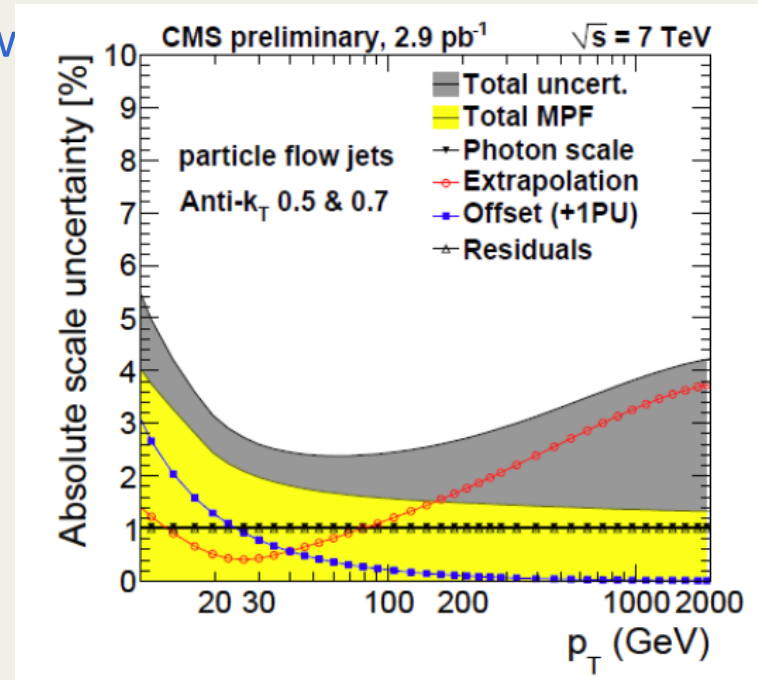
Il Jet viene ricostruito attraverso il Particle Flow
JES definito come:

$$JES = \frac{\langle p_t^{jet} - p_t^\gamma \rangle_{data}}{\langle p_t^{jet} - p_t^\gamma \rangle_{MC}} \approx 1$$

γ/Z +jet balance method usato per calibrare
l'impulso trasverso, con precisione $< 2\%$;

I jet di interesse per la misura hanno:

- un PV in $|z| < 24$ cm
con almeno 4 tracce riconducibili ad esso
- Distanza radiale dal beam $\rho < 2.0$ cm



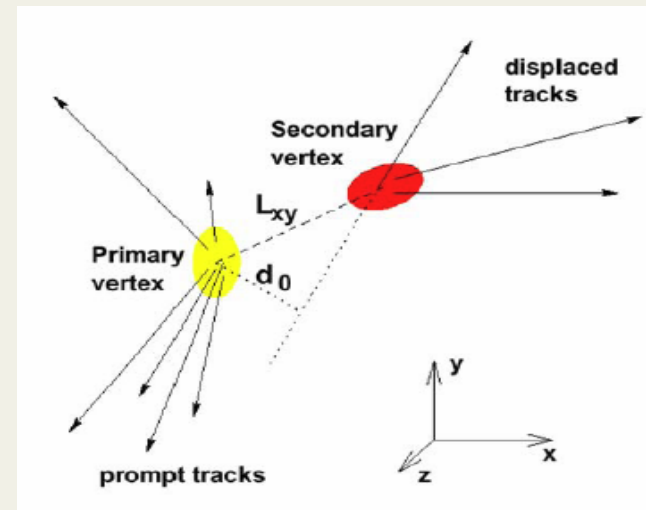
Per $30 < p_t < 120$, incertezza $< 3\%$

b-tagging (SVX)

I tracker nei pressi del vertice di interazione devono eliminare una buona dose di informazioni e ricostruire solo gli eventi appartenenti al Jet.

Per adroni B $c\tau \sim 480\mu\text{m}$.

Un altro parametro importante è la significanza, $IP/\sigma_{IP} < 5$, che è utilizzata per discriminare una parte degli eventi analizzati in particolare quelli provenienti da light quark.



Il b-tagging code prevede:

- numero totale di silicon hits ≥ 8
- transverse Impact Parameter $d_{xy} < 0.2 \text{ cm}$
- longitudinal Impact Parameter $d_z < 17 \text{ cm}$
- transverse momentum $> 1.0 \text{ GeV}/c$
- distance to jet axis

$$\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2} < 0.5$$

Fit Cinematico

Viene utilizzato per selezionare gli eventi tt e attribuire l'assegnamento jet-quark.

Per ogni assegnamento vengono imposte tre restrizioni:

$$\begin{aligned}M_{lv} &= M_w \\ M_{qq} &= M_w \\ M_{lvb} &= M_{qqb}\end{aligned}$$



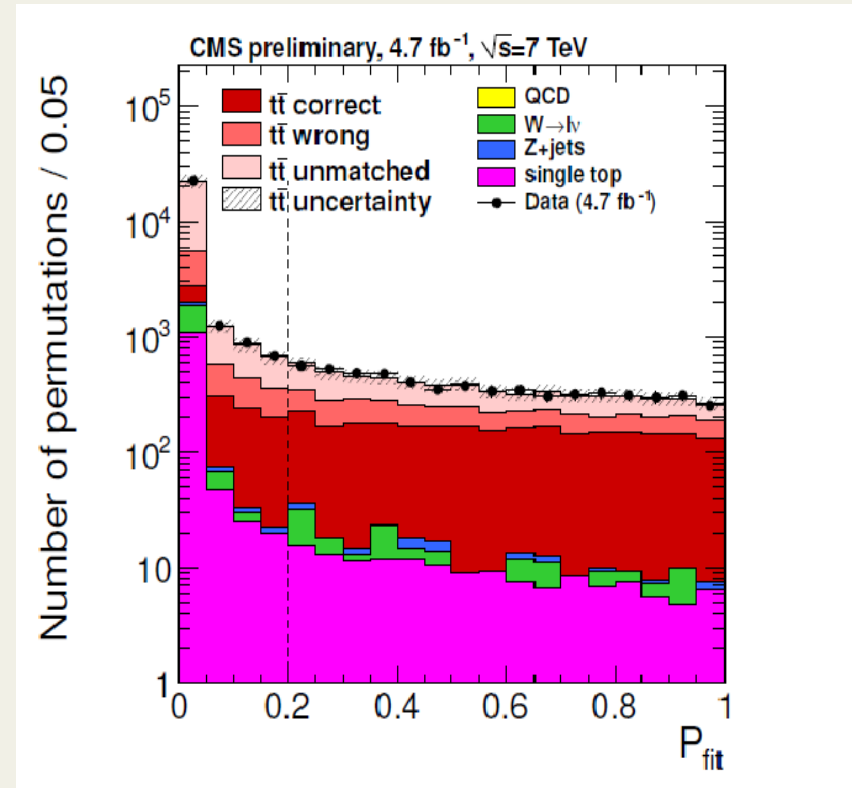
Con M_w fissata a 80.4 GeV

Si richiedono:

- Buona misura del MET proveniente dal neutrino
- Buona calibrazione dei Jet
- Corretto B-tagging

Fit Cinematico (2)

- Inizialmente si hanno 12 permutazioni
- La terza costruzione richiede che $p_{v,z}$ sia tale che $m_t = m_{tbar} \rightarrow 24$ permutazioni
- Richiedendo 2 b-jets $\rightarrow 6$ permutazioni
- Tre tipi di permutazioni:
 - Correct permutations
 - Wrong permutations
 - Unmatched permutations
- Soglia di P_{fit} a 0.2

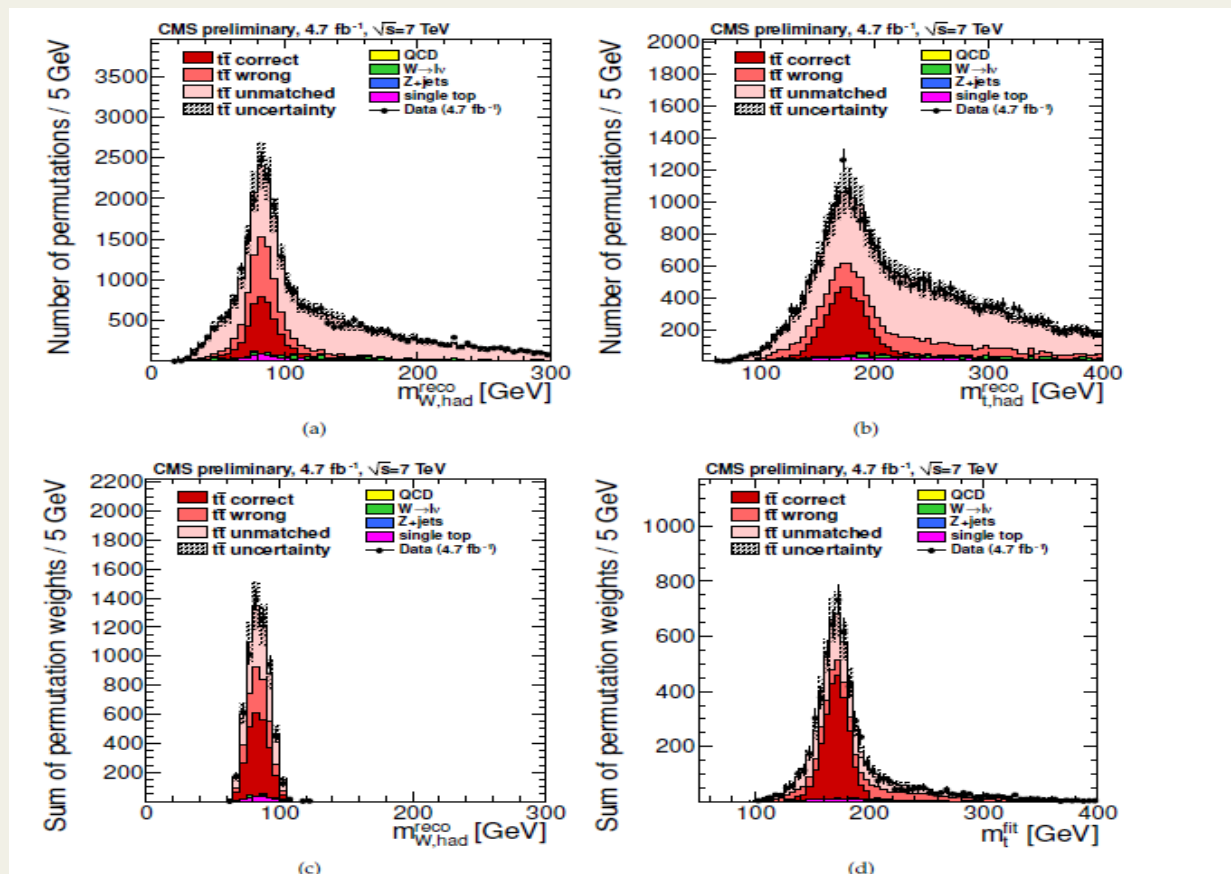


Fit Cinematico (2)

Da ogni i-esimo evento si estraggono:

- M_i
- σ_i
- χ^2

Differenze tra M_t e M_w prima e dopo il fit e il χ^2 cut.
up e wp incidono soprattutto sulle code ad alta energia



Ideogram Method

1. Si misurano M_t e JES tenendo conto di tutte le possibili permutazioni e del b-tagging information.
2. Per misurare M_t si usa come osservabile la $M_{t,fit}$
3. Come estimatore in-situ del JES si usa la $M_{w,reco}$
4. Si utilizza questo metodo per la sua velocità di calcolo (grande mole di dati da analizzare)

Ideogram Method (2)

La Likelihood per singolo data sample e in caso di bkg trascurabile è definita come:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}(m_t, \text{JES} | \text{sample}) &\sim \mathcal{L}(\text{sample} | m_t, \text{JES}) \\ &= \prod_{\text{events}} \mathcal{L}(\text{event} | m_t, \text{JES})^{w_{\text{event}}} \\ &= \prod_{\text{events}} \left(\sum_{i=1}^n P_{\text{fit}}(i) P(m_{t,i}^{\text{fit}}, m_{W,i}^{\text{reco}} | m_t, \text{JES}) \right)^{\sum_{i=1}^n P_{\text{fit}}(i)}\end{aligned}$$

il parametro $w_{\text{event}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{fit}}(i)$ è inserito per ridurre l'impatto di tutte le permutazioni che non sono corrette e la somma è normalizzata al numero di eventi.

Grazie alla restrizione sulla massa del W $M_{t,\text{fit}}$ e $M_{W,\text{Reco}}$ sono scorrelate e pertanto possiamo riscrivere le probabilità:

$$\begin{aligned}P(m_{t,i}^{\text{fit}}, m_{W,i}^{\text{reco}} | m_t, \text{JES}) &= P(m_{t,i}^{\text{fit}} | m_t, \text{JES}) \cdot P(m_{W,i}^{\text{reco}} | m_t, \text{JES}) \\ &= \sum_j f_j P_j(m_{t,i}^{\text{fit}} | m_t, \text{JES}) \cdot P_j(m_{W,i}^{\text{reco}} | m_t, \text{JES})\end{aligned}$$

f_j sono determinati dalle simulazioni

Ideogram Method (3)

Le distribuzioni di $M_{t,\text{fit}}$ sono fittate diversamente in base al tipo di permutazione:

cp → Breit-Wigner convoluta con una risoluzione gaussiana

wp,up → Crystal Ball

Minimizzando il paraboloide della Likelihood si estrae il valore di M_t e di JES
La 1σ è data dalla condizione $-2\ln\{L\}=1$

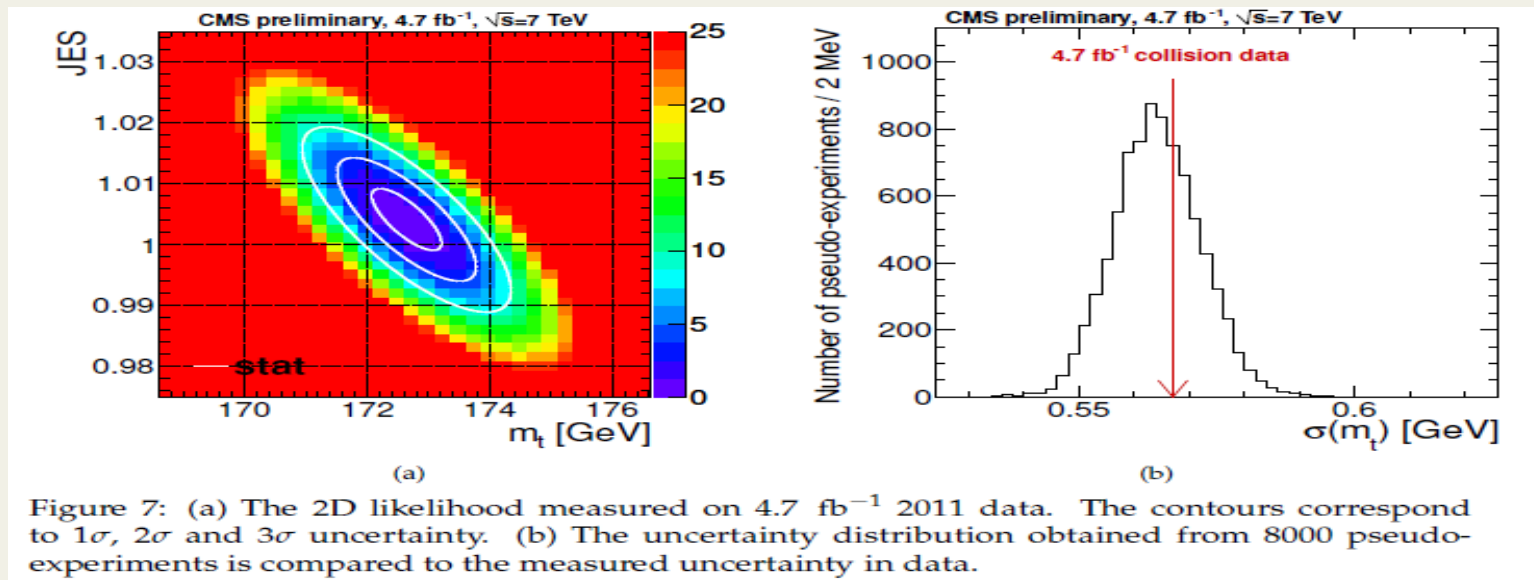


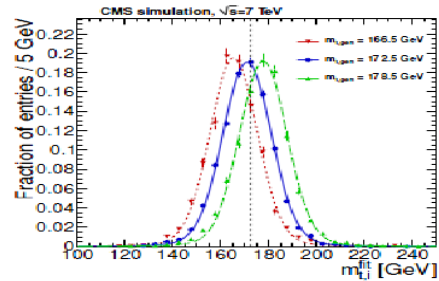
Figure 7: (a) The 2D likelihood measured on 4.7 fb⁻¹ 2011 data. The contours correspond to 1σ , 2σ and 3σ uncertainty. (b) The uncertainty distribution obtained from 8000 pseudo-experiments is compared to the measured uncertainty in data.

Correct permutation

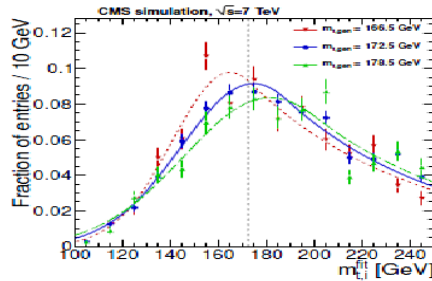
Wrong permutation

Unmatched permutation

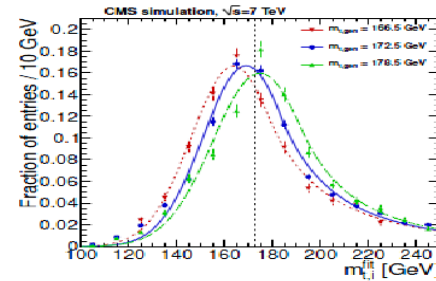
M_{top}



(a)

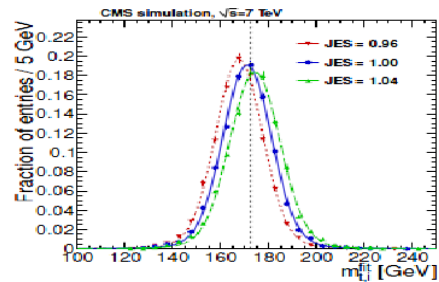


(b)

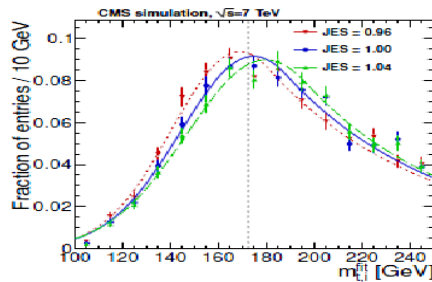


(c)

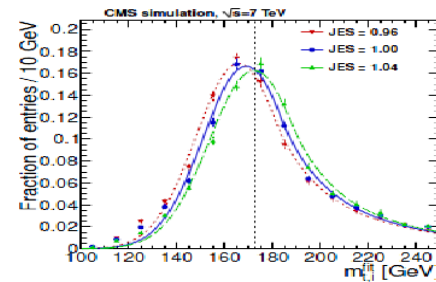
M_{top}



(d)

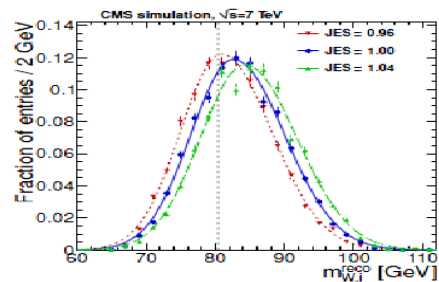


(e)

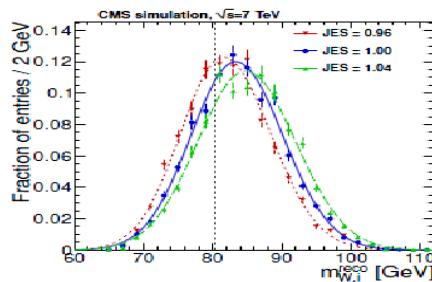


(f)

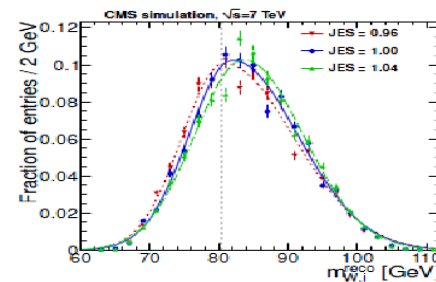
M_W



(g)



(h)



(i)

Variando la massa

Variando JES

Variando JES

Risultato

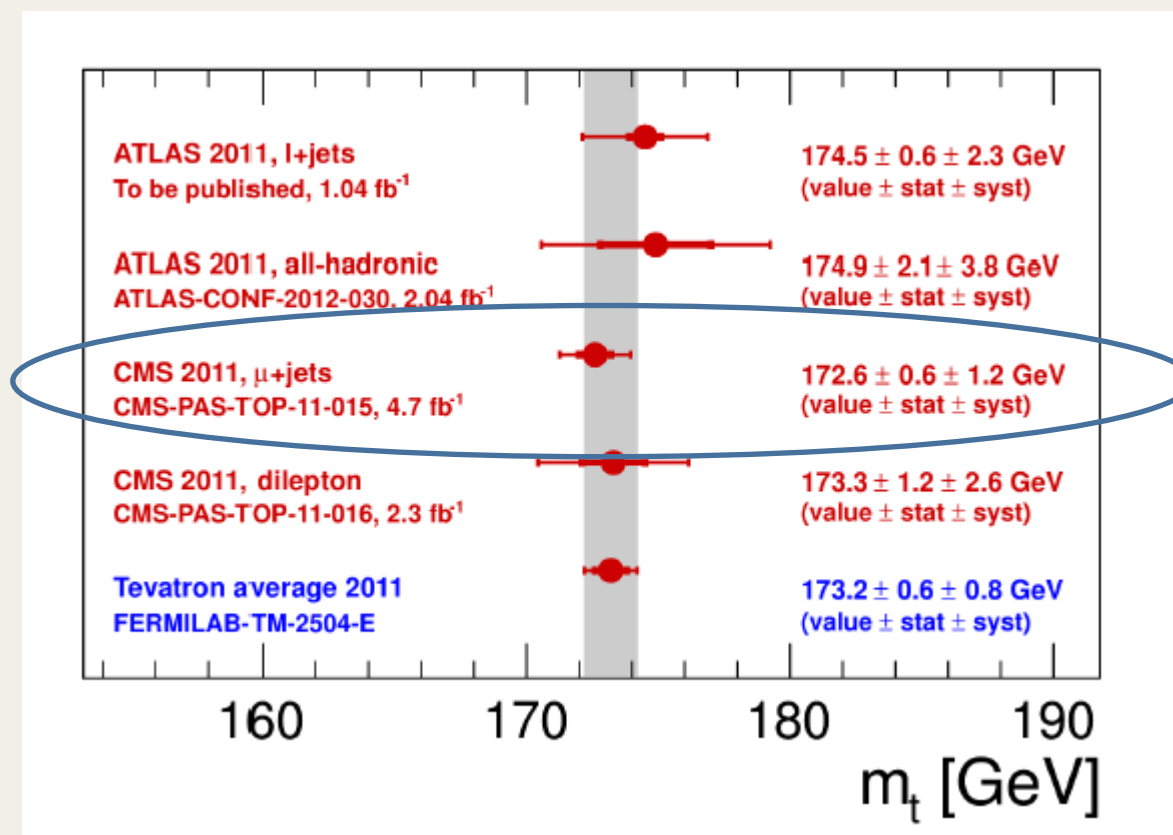
We select 2391 μ +jets events out of 4.7 fb^{-1} of 2011 data taken by the CMS detector and measure:

$$\begin{aligned} m_t &= 172.64 \pm 0.57 \text{ (stat+JES)} \pm \underline{1.18 \text{ (syst)}} \text{ GeV} \\ \text{JES} &= 1.004 \pm 0.005 \text{ (stat)} \pm 0.012 \text{ (syst)} \end{aligned}$$

L'incertezza statistica può essere attenuata fino a ± 0.4 utilizzando i dati globali delle esperienze di CMS.

La misura è dominata dall'incertezza sistematica

Incertezze sistematiche



Incertezze sistematiche (2)

CMS

Table 1: List of systematic uncertainties

	δ_{m_t} (GeV)	δ_{JES}
Calibration	0.15	0.001
<i>b</i> -tagging	0.17	0.002
<i>b</i> -JES	0.66	0.000
p_T - and η -dependent JES	0.23	0.003
Jet energy resolution	0.21	0.003
Missing transverse energy	0.08	0.001
Factorization scale	0.76	0.007
ME-PS matching threshold	0.25	0.007
Non- $t\bar{t}$ background	0.09	0.001
Pile-up	0.38	0.005
PDF	0.05	0.001
Total	1.18	0.012

CDF

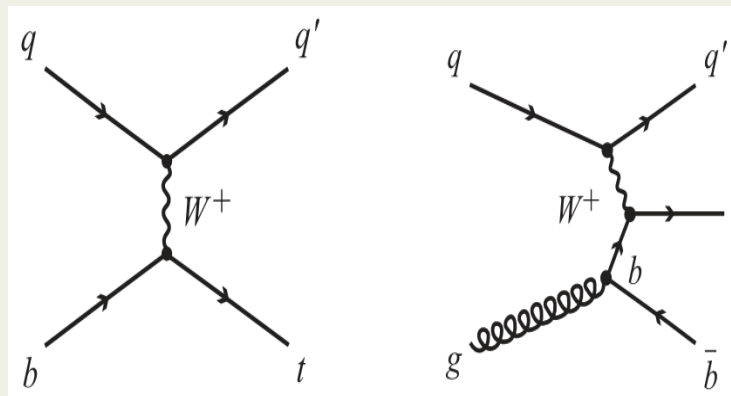
Systematic Source	Uncertainty (GeV/ c^2)
Calibration	0.10
Monte Carlo Generator	0.37
ISR and FSR	0.15
Residual JES	0.49
<i>b</i> -JES	0.26
Lepton p_T	0.14
Multiple Hadron Interactions	0.10
PDFs	0.14
Background Modeling	0.33
Color Reconnection	0.37
Total	0.88

Attualmente al CMS non sono state calcolate tutte le sistematiche

- B-JES
Rappresenta l'incertezza dei modelli di *b*-jet. Jet provenienti dai light quark, da *b*, o dai gluoni portano differenti risposte in energia che vengono studiate dalle simulazioni.
- Factorization scale determinato dalla scarsa conoscenza dell'ISR, FSR (a CDF sono stati studiati i dati Z+jets)
- Pile-up energia in più associata ai jet

Backup

Single Top



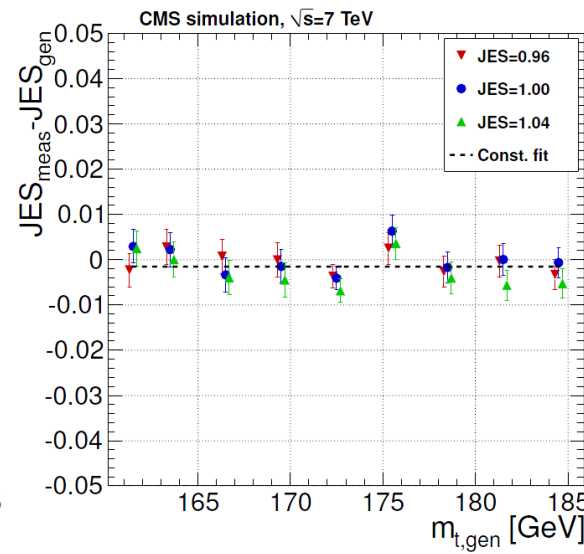
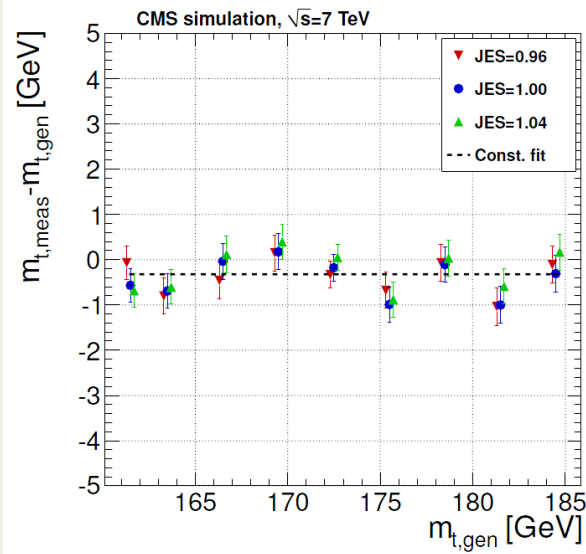
Analysis Calibration

Il bias è stato calcolato tramite le seguenti relazioni:

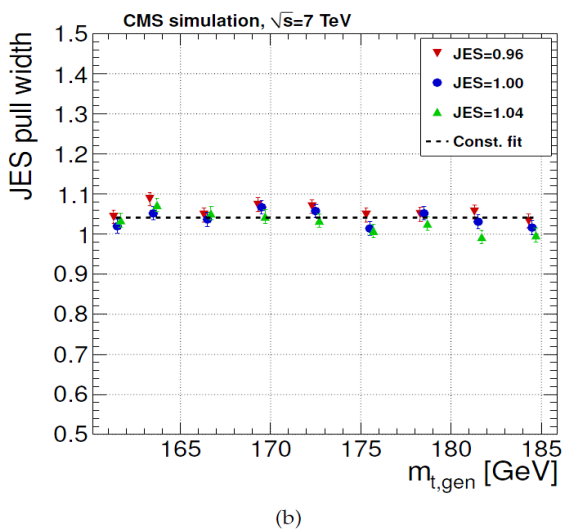
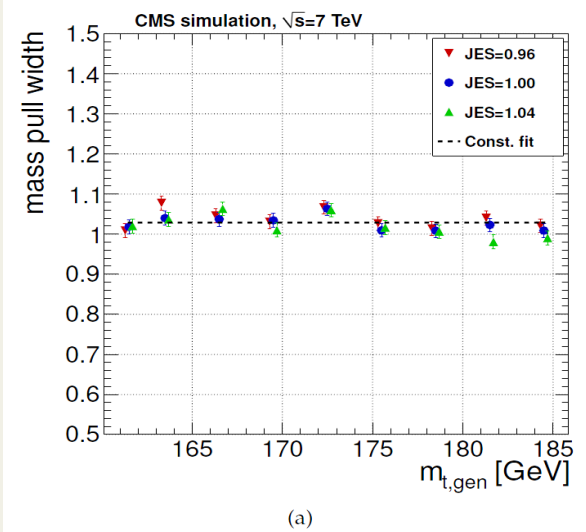
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Mass bias} = m_{t,\text{meas}} - m_{t,\text{gen}} \\ \text{JES bias} = \text{JES}_{\text{meas}} - \text{JES}_{\text{gen}} \end{array} \right.$$

Il fit che dovrebbe uscire per diversi valori dei due parametri dovrebbe essere una retta a pendenza 0, ma si registra un:

$$\begin{array}{l} \text{mass offset} = -0,32 \pm 0.15 \\ \text{JES offset} = -0.002 \pm 0.001 \end{array}$$



Offset



Pull

$$\text{pull} = \frac{m_{t,\text{meas}} - m_{t,\text{gen}}}{\sigma(m_{t,\text{meas}})}$$

Dati CMS

