



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI

Misura della massa del quark top al Tevatron

Anno Accademico
2008/2009

Corso di Fisica Nucleare e Subnucleare II
Prof.C.Dionisi

Studente **Vieri Candelise**

Tutor **prof.Marco Rescigno**

Introduzione

Parte 1

Perché misurare la massa del quark top

Produzione del top al Fermilab

Metodi di misura / background

Parte 2

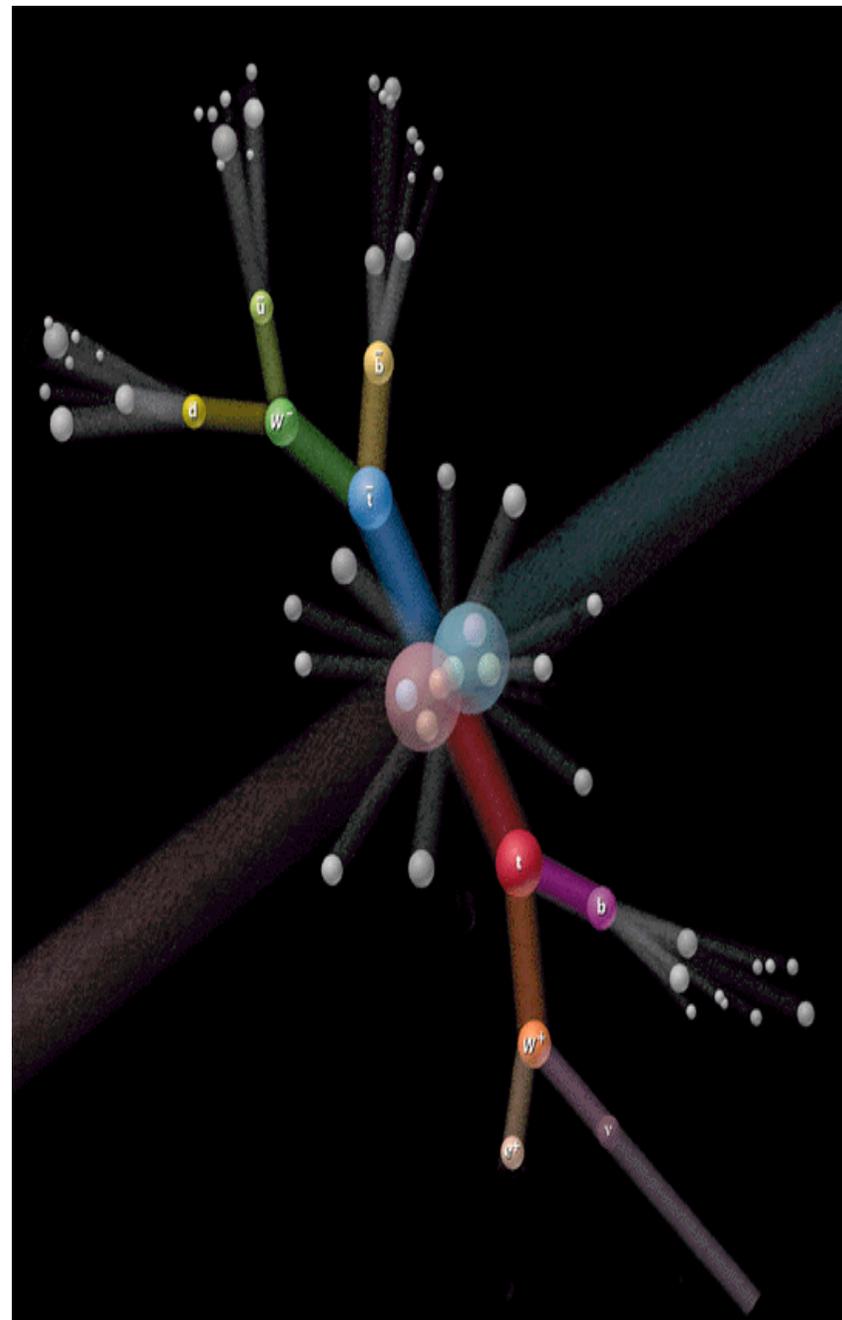
Correzioni all'energia dei jet

Calibrazione "in situ"

Parte 3

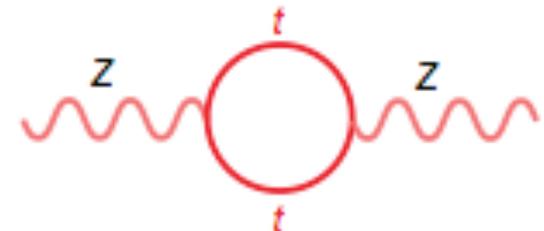
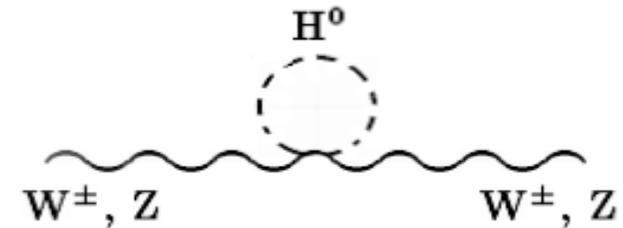
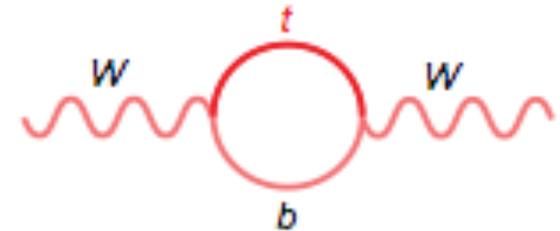
Ricostruzione della Massa

Risultati e prospettive



La Massa del Top e il Modello Standard

- Parametro libero dello SM
- Compare nella teoria Elettrodebole nelle correzioni radiative a un loop
- Accoppiamento di Yukawa
- $g_{ttH} \sim 0,7$ VS $g_{bbH} \sim 0,02$
- Il top ci insegna qualcosa su Higgs tramite i parametri della teoria elettrodebole:



$$\Delta m_W \propto \Delta m_t^2$$

Misurare con precisione la massa del top
pone *un vincolo* su M_{Higgs}

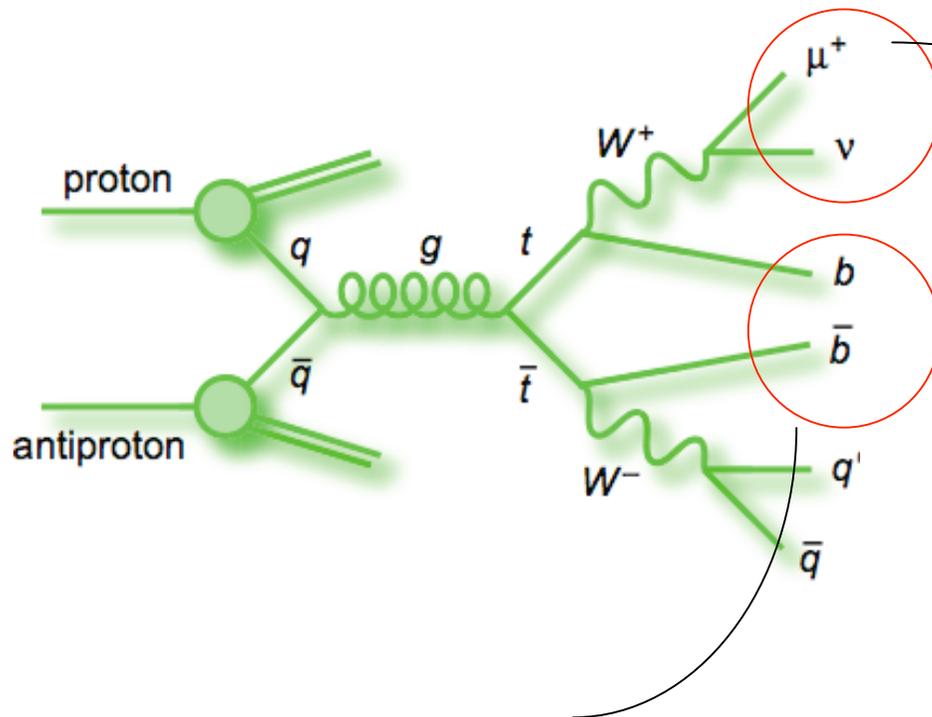


$$\Delta m_W \propto \log \Delta m_H$$

Strumento di conferma della validità dello SM

Il quark top al Tevatron

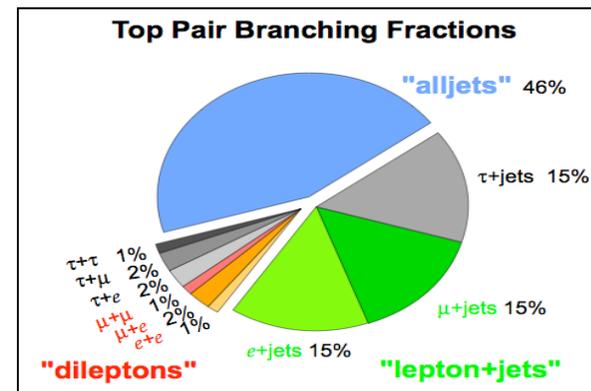
- Non riesce ad adronizzare: $\tau = 10^{-25} \text{s}$
- Decade nel canale $t \rightarrow W + b$ (BR $\approx 100\%$)
- Produzione di top al Tevatron dalle collisioni pp a $\sqrt{s} = 1,96 \text{ TeV}$:



Tre tipologie di analisi dei prodotti di $t\bar{t}$ in base al decadimento del W:

- $l\nu qqbb$ “lepton+jets”
- $qqbb$ “all hadronic”
- $ll\nu\nu$ “pure leptonic”

b-tagging fondamentale per ridurre il fondo



Selezione eventi e background

Selezione degli eventi

- Selezione di elettroni con $E_t > 20$ GeV & muoni con $pt > 20$ GeV
- Selezione dei neutrini dal decadimento del W: grande contributo di Transverse Missing energy . Richiesta $E_T^{\text{miss}} > 20$ GeV
- B-tagging per 2 b-jet
- Ricostruzione e correzione dell'energia dei 2 jet

Stima del fondo

La contaminazione dipende fortemente dal numero di jet con b-tag

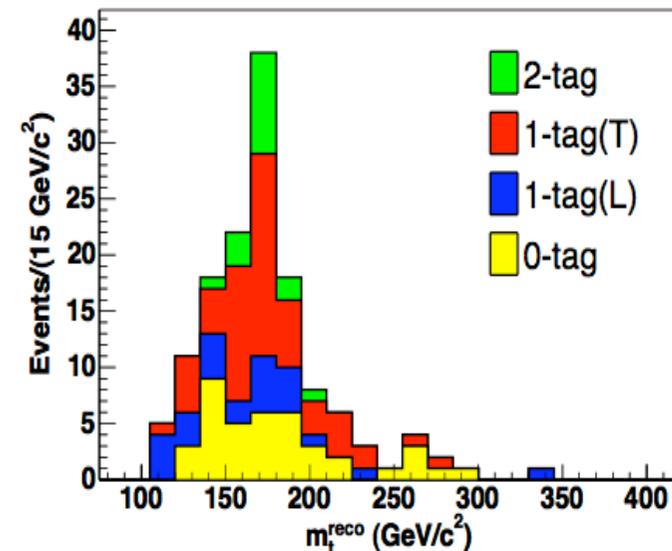
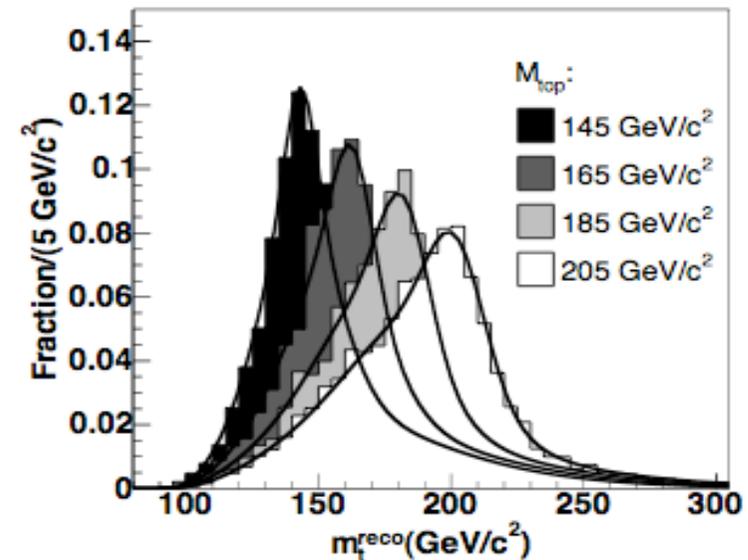
- 1) **W+ light flavour** (*mistag*) eventi che contengono light flavour jet identificati come heavy flavour jet: il contributo di W+light flavour è ottenuto con un mistag rate per ogni jet con $E_T > 10$ GeV, $|\eta| < 2.4$
- 2) **W+ heavy flavour** eventi con un b-tag provenienti da processi Wbb/Wcc/Wc. Questo contributo è stimato con simulazioni MC

Template method nel canale lepton+jets

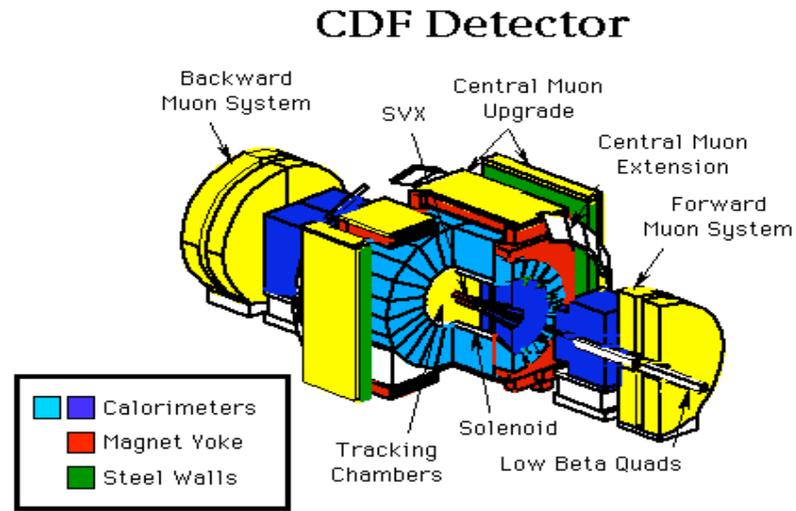
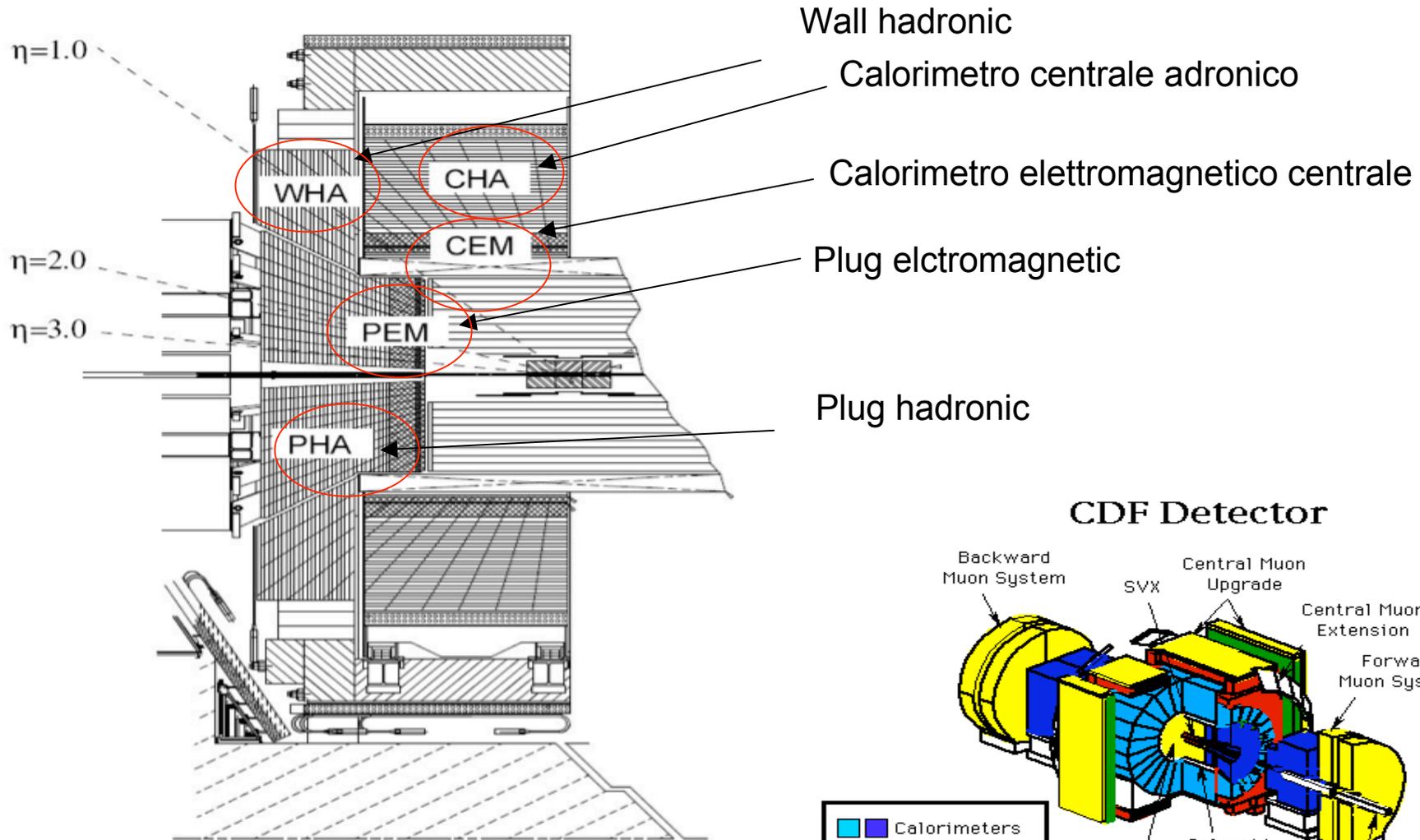
- Modeling degli eventi $t\bar{t}$ e del fondo tramite simulazioni MC
- Si genera un set di simulazioni MC a valori definiti della massa del top e della JES
- Si ottiene una buona stima della massa **ricostruita** del top e dei prodotti del W
- Per ogni campione un fit del χ^2 estrae la massa ricostruita del top
- Questa distribuzione di m_{reco} (**template**) viene confrontata poi con la distribuzione dei dati tramite un likelihood fit

Parametrizzazione del segnale

- MC solo a valori discreti di M_{top} : si ottengono delle forme funzionali dalle distribuzioni m_{reco} in funzione di M_{top} (pdf's), costituite da due gaussiane e una gamma-dis.



Il calorimetro di CDF



Variabili in gioco:

Asse z = *lungo la direzione del fascio*

θ = *angolo polare*

ϕ = *angolo azimutale*

$\eta = -\log(\tan(\theta/2))$ *pseudorapidità*

Risoluzione in energia dei calorimetri

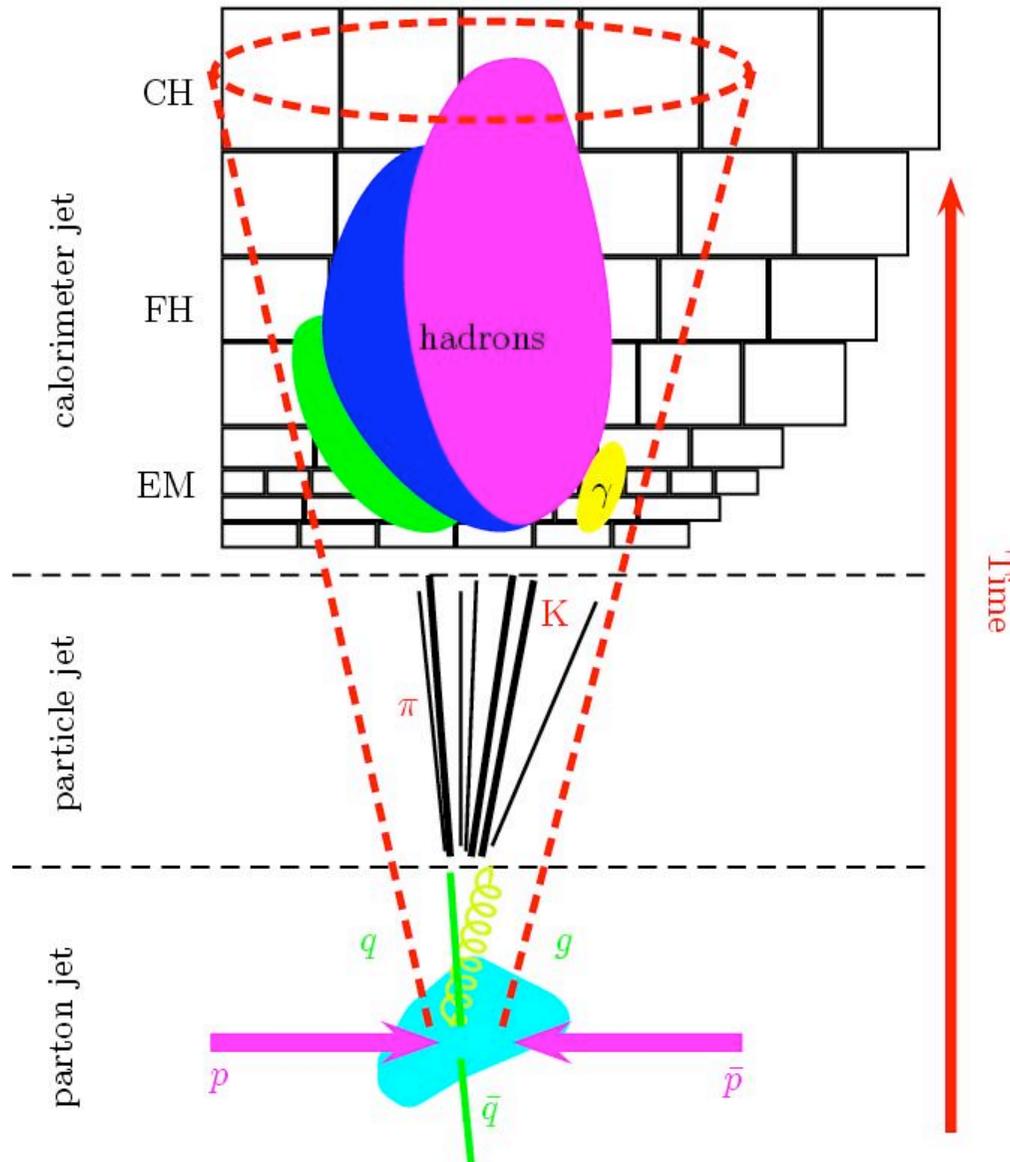
Regione centrale $|\eta| < 1.1$ suddivisa in due sezioni $|\eta| = 0$ ciascuna con 10 torri di 15° , $|\eta| = 0, 1$:

- **CEM** 18 lung di radiazione. risoluzione in Et per e^-, γ $\frac{s(Et)}{Et} = \frac{13.5\%}{\sqrt{Et(\text{GeV})}} \oplus 2\%$
 - **CHA** 4,7 lung di radiazione /risoluzione in Et per π^- : $\frac{s(Et)}{Et} = \frac{50\%}{\sqrt{Et(\text{GeV})}} \oplus 3\%$
 - **WHA** 4,7 lung di radiazione /risoluzione in Et per π^- : $\frac{s(Et)}{Et} = \frac{75\%}{\sqrt{Et(\text{GeV})}} \oplus 4\%$
-

Regione end plug $1 < |\eta| < 3,6$ geometria complicata segmentati in torri di $7,5^\circ$ e 15° rispettivamente per $|\eta| < 2,11$ e $|\eta| > 2,11$:

- **PEM** 23,2 lung di radiazione. risoluzione in E $\frac{s(E)}{E} = \frac{16\%}{\sqrt{E}} \oplus 1\%$
- **PHA** 6,8 lung di radiazione. risoluzione in E $\frac{s(E)}{E} = \frac{80\%}{\sqrt{E}} \oplus 5\%$

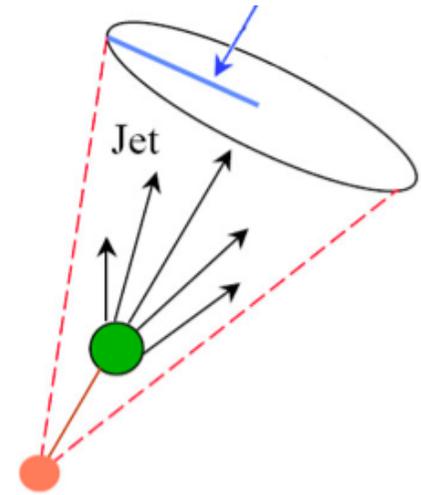
Cos'è un jet?



- Un jet è un cono stretto di particelle prodotte dall'adronizzazione di quark e gluoni
- Solo con i jet possiamo ottenere informazioni sui quark (QCD confinement)
- Misurare i jet è difficile - bassa risoluzione di energia
- È necessario ricostruire l'energia dei jet tramite correzioni specifiche
- 1% incertezza su JES corrisponde a 10% incertezza su σ e 1GeV su M_t

Jet Cone Clustering algorithm

- Misurare i jet è complicato ma necessario:
- Sistematiche sui jet si riflettono sugli errori di M_t
- Correggere l'energia dei jet contribuisce alla risoluzione di M_t .
- l'energia dei jet permette di capire la natura dei quark costituenti



Algoritmo di clustering per determinare l'energia dei jet:

1) Si raggruppano tutte le torri che rivelano $E_t > 1\text{GeV}$ (energia trasversa rispetto alla direzione del fascio) e si ordinano in energie decrescenti

2) Si definisce un cluster di torri distanti $R = \sqrt{(\eta^{\text{tower}} - \eta^{\text{jet}})^2 + (\phi^{\text{tower}} - \phi^{\text{jet}})^2}$ da ognuna di queste

3) Da questa lista viene calcolata l'energia e la direzione del jet

$$E_T^{\text{jet}} = \sum_{i=0}^{N_{\text{tower}}} E_{Ti}; \quad \phi_T^{\text{jet}} = \sum_{i=0}^{N_{\text{tower}}} \frac{E_{Ti} \phi_i}{E_T^{\text{jet}}}; \quad \eta^{\text{jet}} = \sum_{i=0}^{N_{\text{tower}}} \frac{E_{Ti} \eta_i}{E_T^{\text{jet}}}$$

4) Si itera il processo fin che non si ottiene un risultato stabile.

Correzioni all'energia dei jets (1)

- Si può risalire all'energia del partone "padre" del jet tramite opportune correzioni
- La precisione con cui si corregge l'energia dei jet si riflette sulla precisione della Mtop

Si definisce tramite le correzioni l'impulso trasverso del partone:

$$p_T^{partone} = (p_T^{jet} \times C_\eta - C_{MI}) \times C_{abs} - C_{UE} + C_{OOC}$$

- $p_T^{partone}$: impulso trasverso del partone padre
- p_T^{jet} : impulso trasverso misurato nel calorimetro

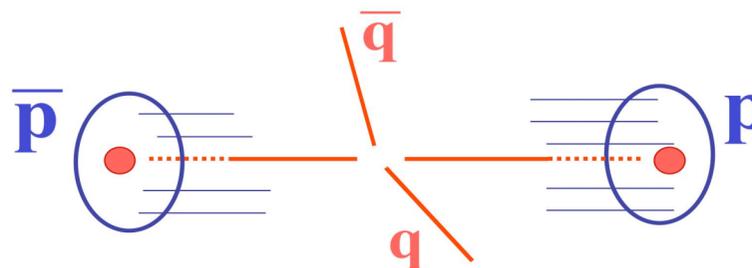
Definiamo le correzioni *process-independent*:

- C_η : correzione dipendenza da eta della risposta nel calorimetro (dijet balancing procedure), dovuta alle tecnologie del detector
- C_{MI} : energia da interazioni multiple nello stesso banching cross, effetti di non linearità del calorimetro

Correzioni all'energia dei jets (2)

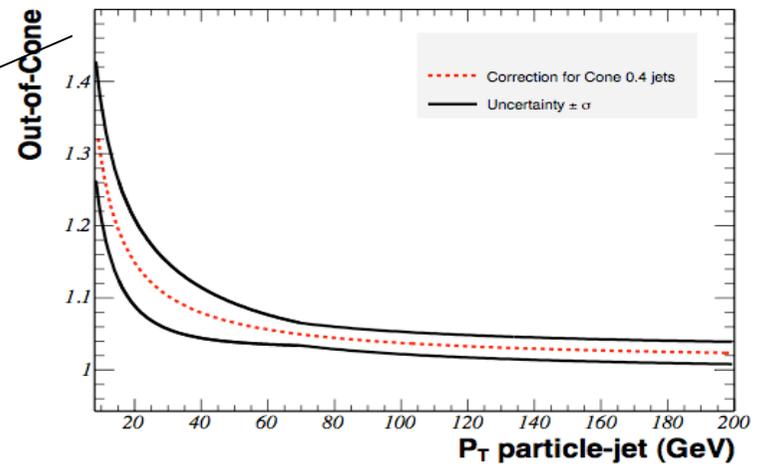
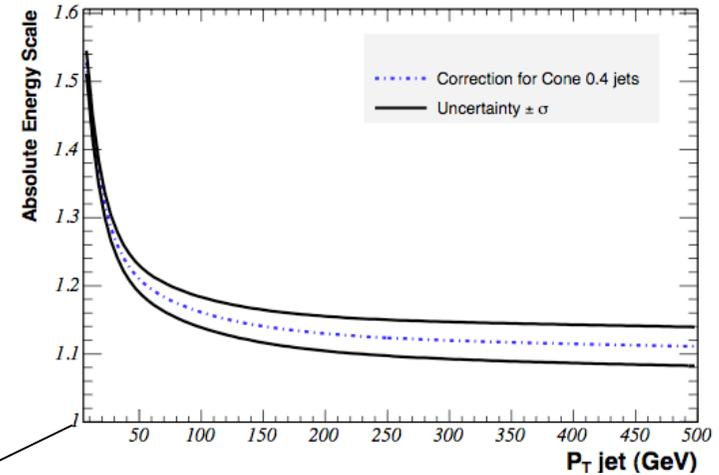
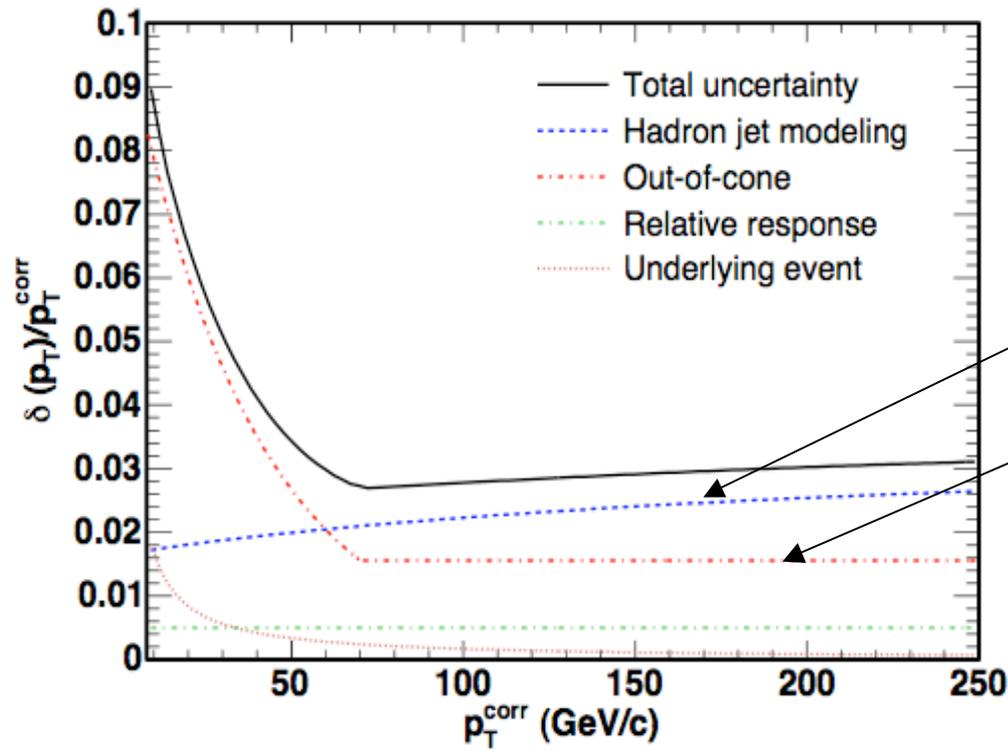
Definiamo le correzioni *process-specific*:

- C_{abs} : correzione “assoluta”, risposta del calorimetro all'impulso della particella
- C_{UE} : correzione dovuta agli underlying event, energia extra nel calorimetro assegnata ai jet MA associata ad altre particelle dell'interazione ppbar**:
- * particelle da gluoni di *ISR*
* partoni spettatori



- C_{OOC} : correzione che tiene conto di energia dissipata al di là del cono, ad esempio particelle da *FSR*

Correzioni all'energia dei jets (3)

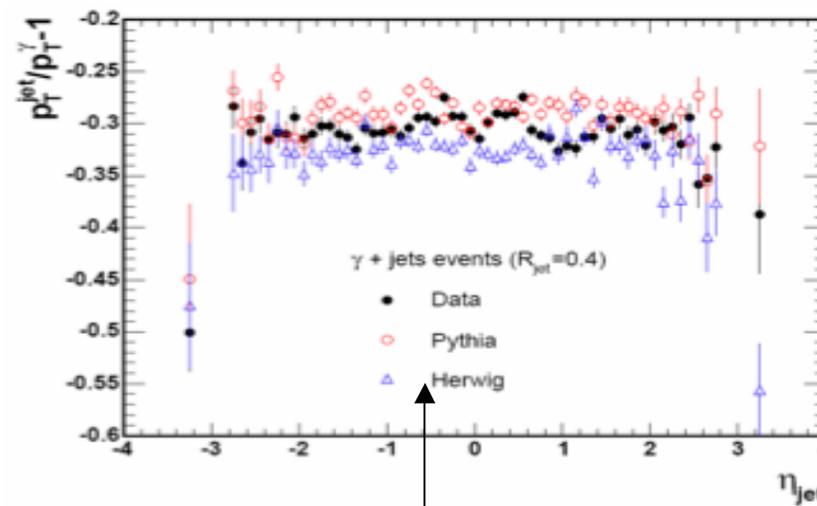
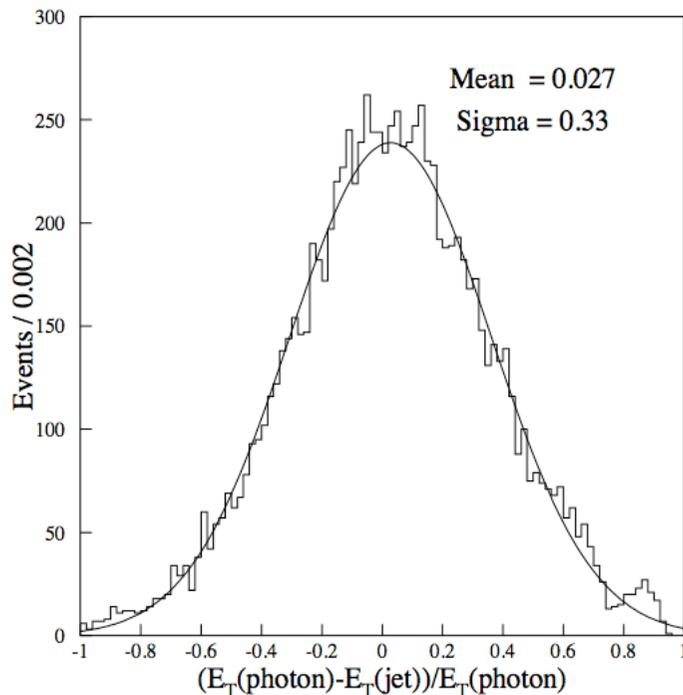


γ jet balancing method

L'energia così corretta viene testata con il metodo *γ -jet balancing*:

$$p\bar{p} \rightarrow \text{jet} + \gamma$$

- Si confronta l'energia del jet corretto con l'energia di un γ di alta energia, imponendo $\mathbf{p}_t(\gamma) = \mathbf{p}_t(\text{jet})$ @tree level: $p_t(\gamma) / p_t(\text{jet}) = 1$
- L'energia del γ è misurata con grande precisione nel Calorimetro elettromagnetico
- Selezione di: fotoni con impulso trasverso >27 GeV e pseudorapidity $<0,9$

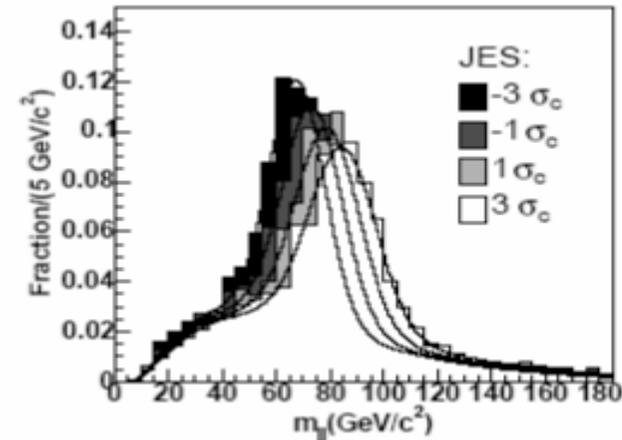
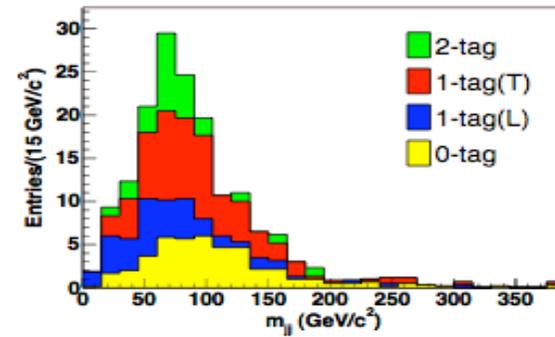
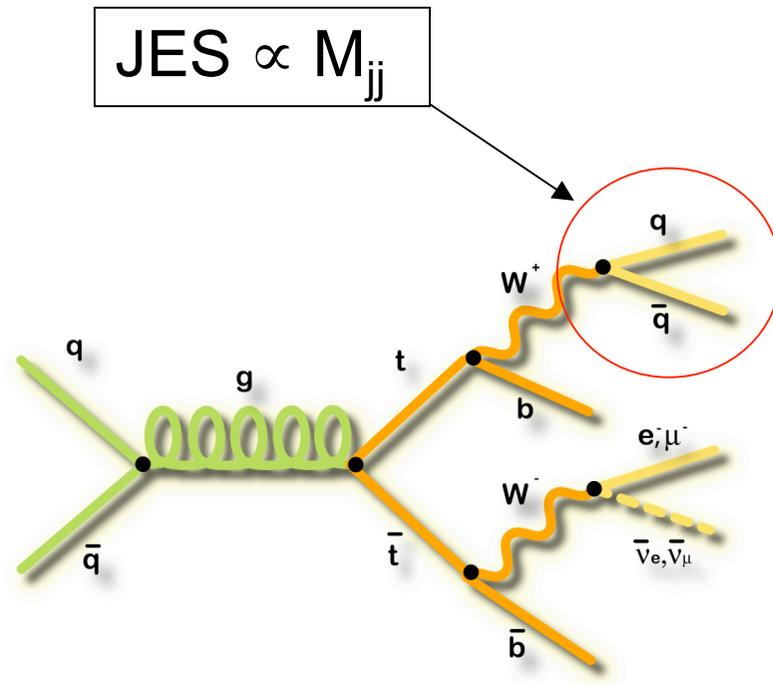


Bilanciamento in momento trasverso tra jet e fotone per simulazioni e dati in funzione di eta

Calibrazione *in situ*

- Ulteriore vincolo per le sistematiche sulla misura:
- Si misura la massa combinata dei jet provenienti da $W \rightarrow jj$ (M_{jj}),
- al fine di determinare indipendentemente la *scala di energia dei jet*

↪ **JES: shift** dalla scala di energia totale nominale del jet in σ_c



Selezione dei jet e b-tagging

- Si richiedono almeno 4 jet con $|\eta| < 2.0$ per ricostruire l'evento $t\bar{t}$
- Si dividono gli eventi in 4 categorie in base all'attività del jet:

Double tagged:

- Due b-tagget event
- basso fondo, eccellente risoluzione di massa
- richiesta: 3 jet $E_t > 15\text{GeV}$, 1 jet $E_t > 8\text{ GeV}$

Tight single tagged:

- 1 evento b-tagged
- richiesta: 4 jet $E_t > 15\text{ GeV}$
- buona risoluzione di massa

Loose single tagged:

- 1 evento b-tagged piu fondo rispetto a 1tag-T
- richiesta $8\text{GeV} < E_t < 15\text{GeV}$

0 tag:

- 0 b-tag, grande fondo
- richiesti 4 jet $E_t > 21\text{ GeV}$

★ Per aumentare S:B: cut all jets $E_t > 21\text{GeV}$

★ 165 eventi $t\bar{t}$ candidati

L'importanza del b-tagging

Category		2-tag	1-tag(T)	1-tag(L)	0-tag
Jet E_T	j1-j3	$E_T > 15$	$E_T > 15$	$E_T > 15$	$E_T > 21$
cuts (GeV)	j4	$E_T > 8$	$E_T > 15$	$15 > E_T > 8$	$E_T > 21$
<i>b</i> -tagged jets		2	1	1	0
Expected S:B		10.6:1	3.7:1	1.1:1	N/A
Number of events		25	63	33	44

TABLE II: The sources and expected numbers of background events in the three subsamples with *b* tags.

Source	Expected Background		
	2-tag	1-tag(T)	1-tag(L)
Non- <i>W</i> (QCD)	0.31 ± 0.08	2.32 ± 0.50	2.04 ± 0.54
$Wb\bar{b} + Wc\bar{c} + Wc$	1.12 ± 0.43	3.91 ± 1.23	6.81 ± 1.85
<i>W</i> + light jets	0.40 ± 0.08	3.22 ± 0.41	4.14 ± 0.53
<i>WW/WZ</i>	0.05 ± 0.01	0.45 ± 0.10	0.71 ± 0.13
Single top	0.008 ± 0.002	0.49 ± 0.09	0.60 ± 0.11
Total	1.89 ± 0.52	10.4 ± 1.72	14.3 ± 2.45

Ricostruzione della massa del top

- A questo punto si estrae la variabile m^{reco} con un fit cinematico
- Attraverso la distribuzione di m^{reco} confrontata con le simulazioni viene estratta la M_{top}
- Per ogni evento si minimizza χ^2 (MINUIT) per ogni modo di assegnare 4jet ai 4quark di $t\bar{t}$

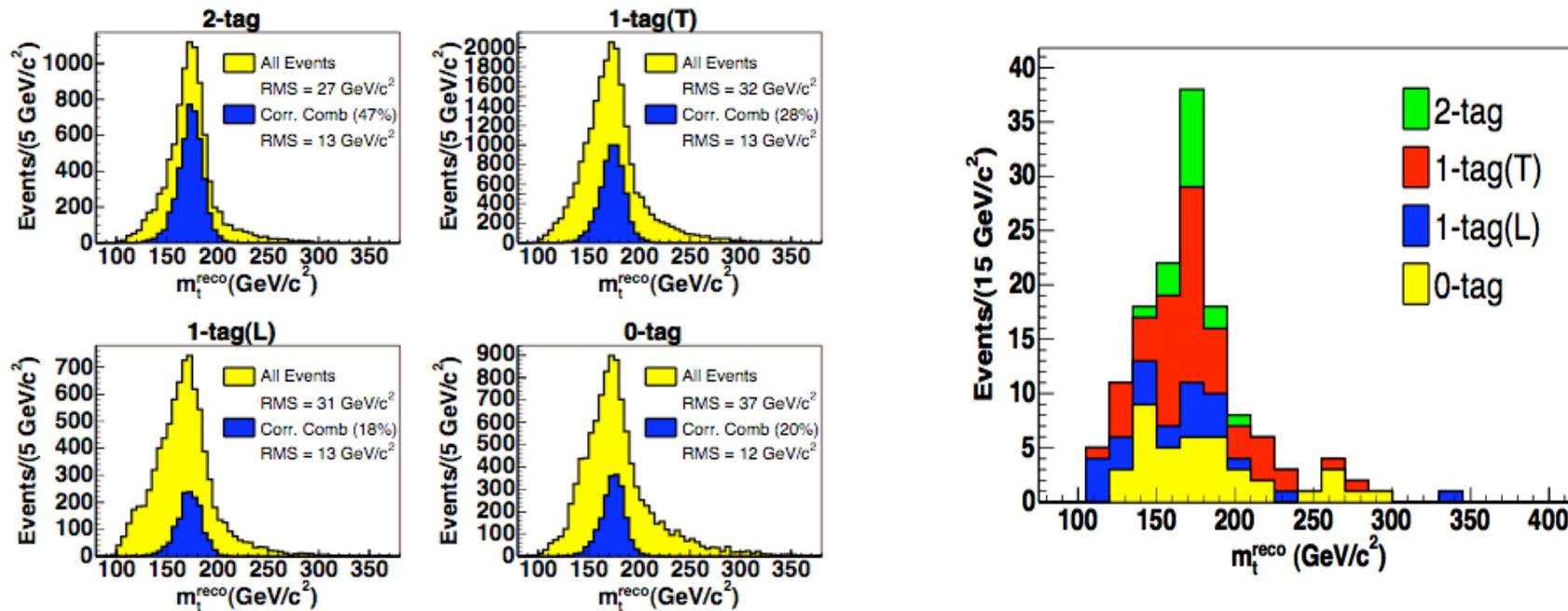
$$\begin{aligned}
 \chi^2 = & \sum_{i=1,4 \text{ jets}} \frac{(p_T^{i,\text{fit}} - p_T^{i,\text{meas}})^2}{\sigma_i^2} + && \leftarrow \text{Leptoni/jet: constraint fit del } p_t \text{ alla misura} \\
 & + \sum_{j=x,y} \frac{(p_j^{\text{UE,fit}} - p_j^{\text{UE,meas}})^2}{\sigma_i^2} + && \leftarrow \text{Neutrini: constraint} \\
 & && \text{Uncluster energy fit alla misura} \\
 & + \frac{(M_{lv} - M_W)^2}{\Gamma_W^2} + \frac{(M_{jj} - M_W)^2}{\Gamma_W^2} + && \leftarrow \text{Constraint massa del W} \\
 & && \text{al valore mondiale} \\
 & + \frac{(M_{blv} - m_{t,\text{reco}})^2}{\Gamma_t^2} + \frac{(M_{bjj} - m_{t,\text{reco}})^2}{\Gamma_t^2} && \leftarrow \text{constraint} \\
 & && m_{\text{rec top}} = m_{\text{rec antitop}} \\
 & && \text{Parametro libero del fit}
 \end{aligned}$$

χ^2_{min} \longrightarrow Richiesta: $\chi^2_{\text{min}} < 9$

Fit cinematico

Simulazioni MC e dati per distribuzioni della massa ricostruita.

Per tutte le possibili combinazioni di b-tag abbiamo:

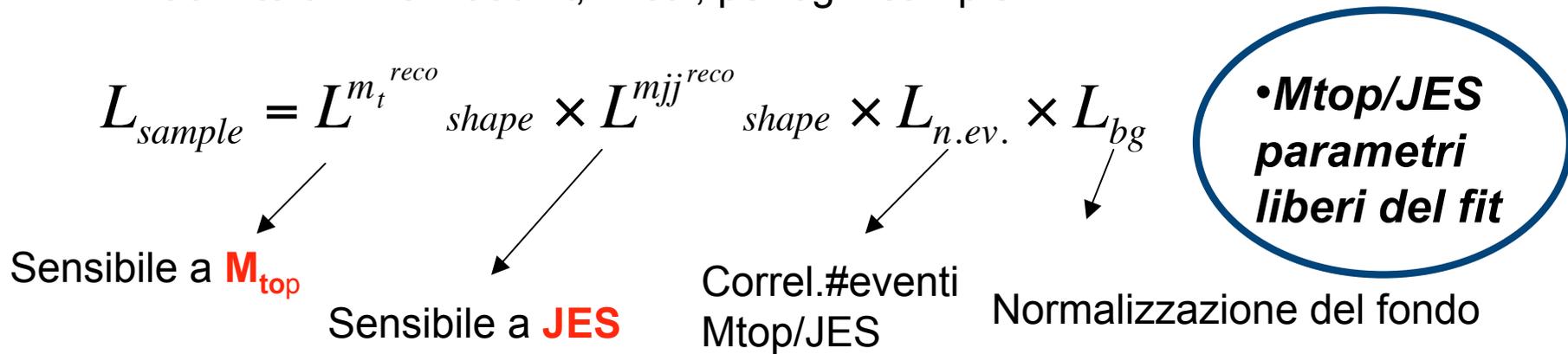


IMPORTANZA DEL b-TAGGING!!

Likelihood Fit

$$L = L_{2tag} \times L_{1tagT} \times L_{1tagL} \times L_{0tag} \times L_{JES}$$

- La massa ricostruita dai dati viene confrontata con le simulazioni e col fondo tramite un likelihood fit, in cui, per ogni sample:

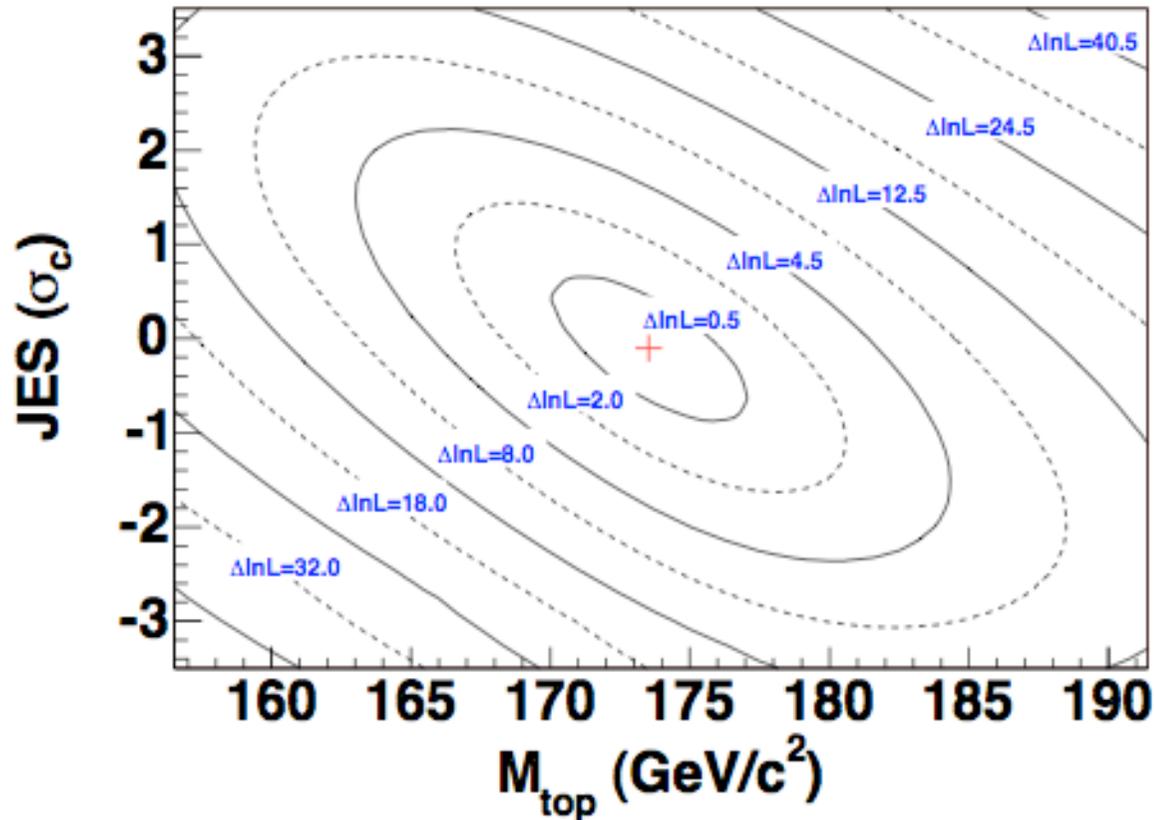


•L'errore statistico del fit è dato dai punti M^{+/-} per cui $\Delta \log L = -1/2$

•Per una serie di M_{top} fissati, la curva di L è massimizzata rispetto a tutti i suoi parametri

Method	M _{top} fit result [GeV/c ²]	JES fit result [σ _c]
Default	173.5 ^{+3.7} / _{-3.6} (stat. + JES)	-0.10 ^{+0.78} / _{-0.80}
No JES constr.	174.0 ± 4.5 (stat. + JES)	-0.25 ± 1.22
M _{top} -only	173.2 ^{+2.9} / _{-2.8} (stat.) ⊕ 3.1 (JES)	N/A
+ JPB	173.0 ^{+2.9} / _{-2.8} (stat.) ⊕ 3.0 (JES)	N/A

La Massa del Quark Top



04/03/2006

**CDF II detector
@ Fermilab:**

$\sqrt{s} = 1,96 \text{ TeV}$

$\int L = 318 \text{ pb}^{-1}$

W boson in situ

$$M_{top} = 173.5_{-3.6}^{+3.7} (stat + JES) \pm 1.3 (other syst) \text{ GeV}/c^2$$

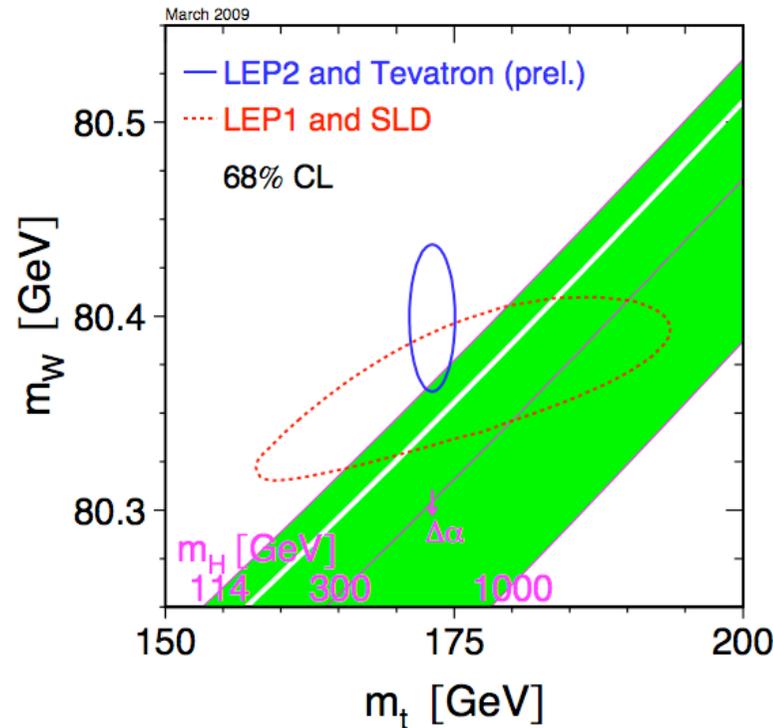
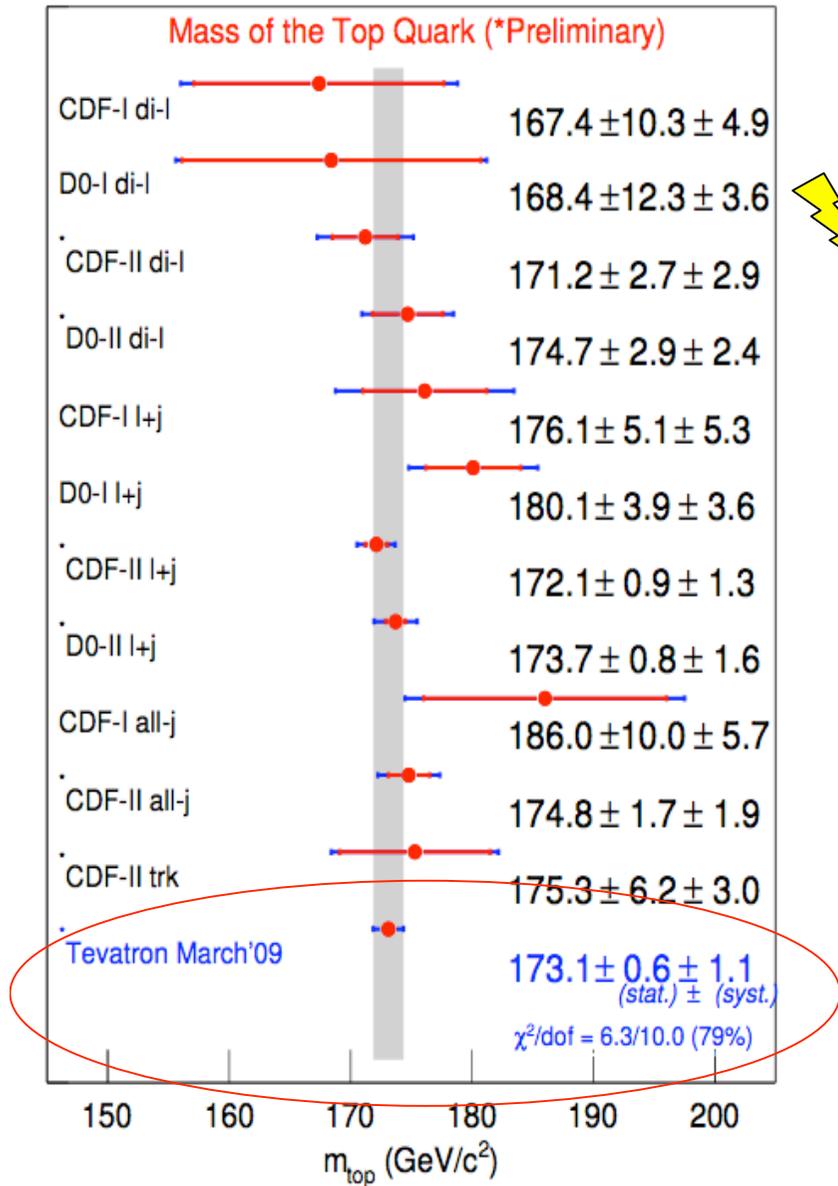
$$= 173.5_{-3.8}^{+3.9} \text{ GeV}/c^2 \quad .$$

La Massa del Quark Top oggi

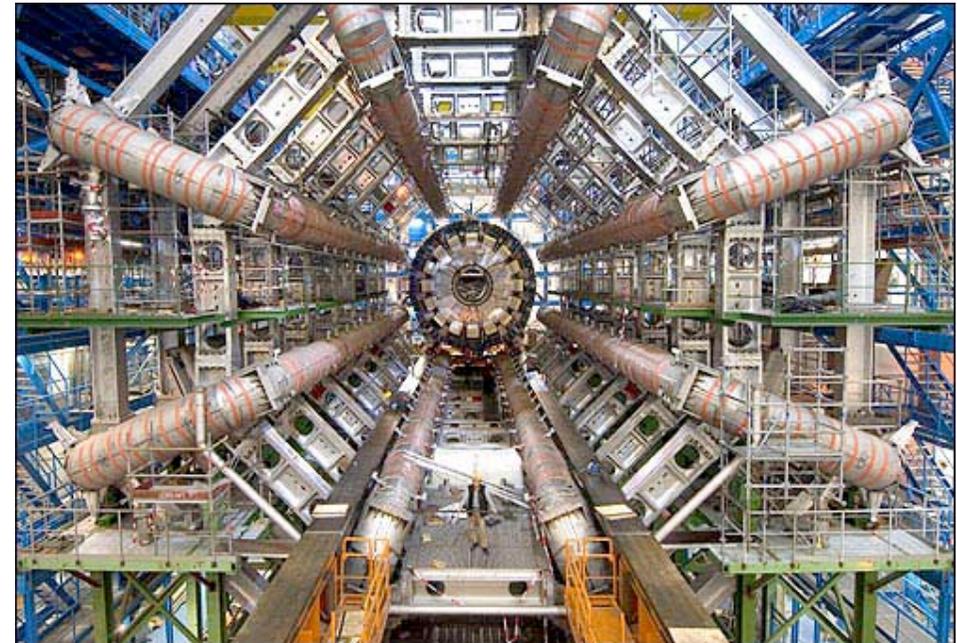
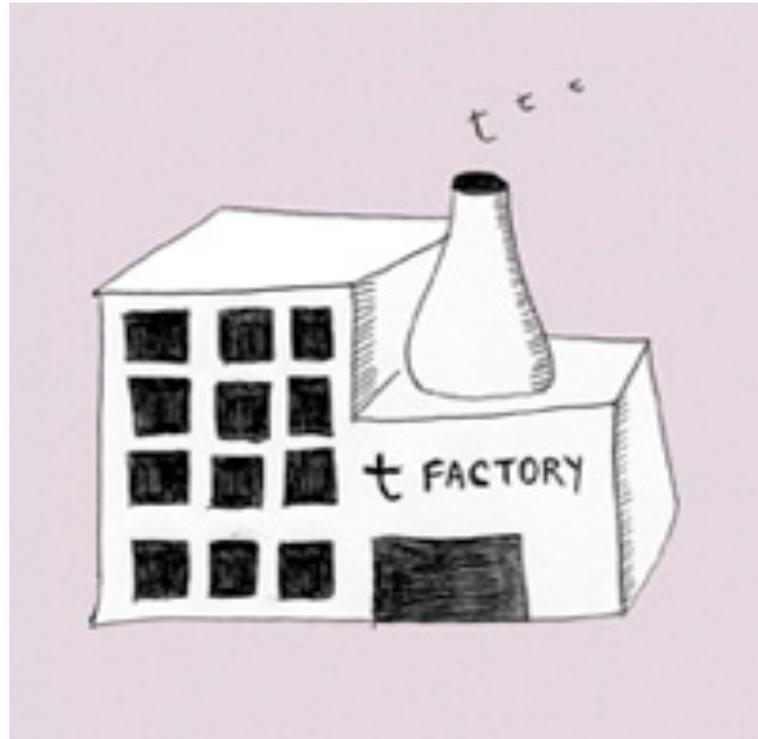
Marzo 2006 → Marzo 2009

La massa del top oggi è nota con una precisione relativa del 0,75%

Le incertezze sistematiche sono dominate dalle incertezze sulla



Il Quark Top *domani*



Top quark is waiting for LHC:

Top protagonista della *prima fisica* di LHC

8 milioni di coppie $t\bar{t}$ l'anno a bassa luminosità = 1 al secondo!

