



# ALGORITMI PER LA RICOSTRUZIONE E LA CALIBRAZIONE DI JET E $E_T$ IN ATLAS E CMS



# Sommario

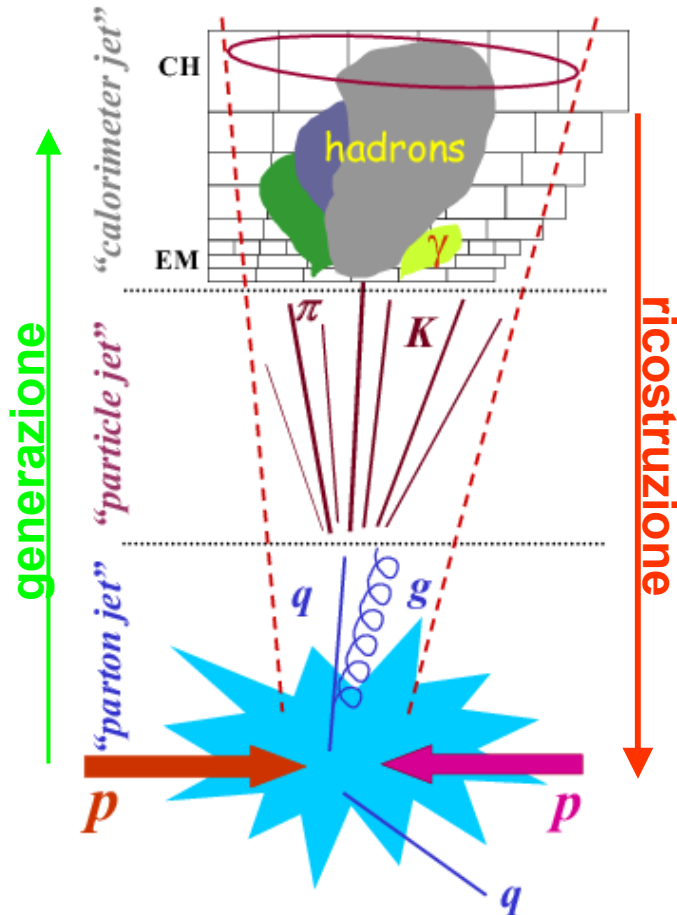
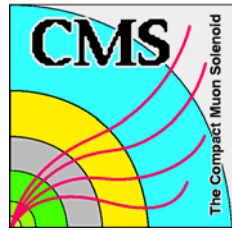
---



- Fisica dei jet
- Ricostruzione e risoluzione dei jet:
  - calibrazione calorimetri
  - algoritmi per la ricostruzione di jet
  - calibrazione in situ
- Ricostruzione e risoluzione di  $E_T$ miss



# Fisica dei Jet

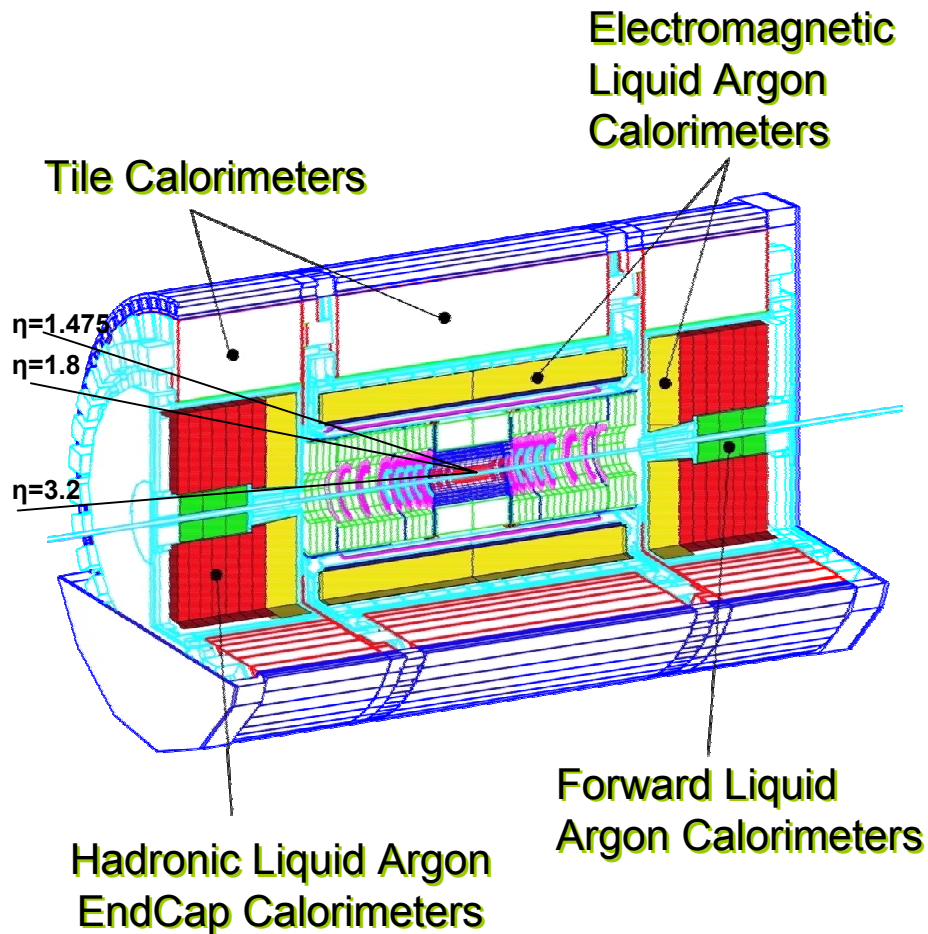
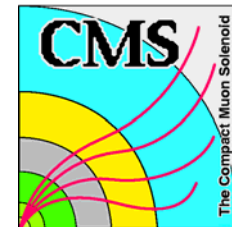


- I partoni dello stato finale producono jet collimati di particelle la cui energia è misurata nei calorimetri. Gli sciami adronici sono composti :
  - energia EM ( $\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$ );
  - energia non EM visibile ( $dE/dx$  da  $\pi$ ,  $\mu$ , ...)
  - energia invisibile (eccitazioni nucleari, ...)
  - energia che sfugge ( $\nu$ ).

• Un algoritmo ideale permette di associare il deposito di energia nelle celle calorimetriche ai partoni dello stato finale.



# Sistema calorimetrico di ATLAS



**EM LAr**  $|\eta| < 3$  :

Pb/LAr 24-26  $X_0$

**3 sezioni longitudinali**  $1.2 \lambda$

$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.025 \times 0.025 - 1\%$  equal.

**Central Hadronic**  $|\eta| < 1.7$  :

Fe(82%)/scintillatore(18%)

**3 sezioni longitudinali**  $7.2 \lambda$

$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.1 \times 0.1$

**End Cap Hadronic**  $1.7 < \eta < 3.2$  :

Cu/LAr – **4 sezioni longitudinali**

$\Delta\eta \times \Delta\phi < 0.2 \times 0.2$

**Forward calorimeter**  $3 < \eta < 4.9$  :

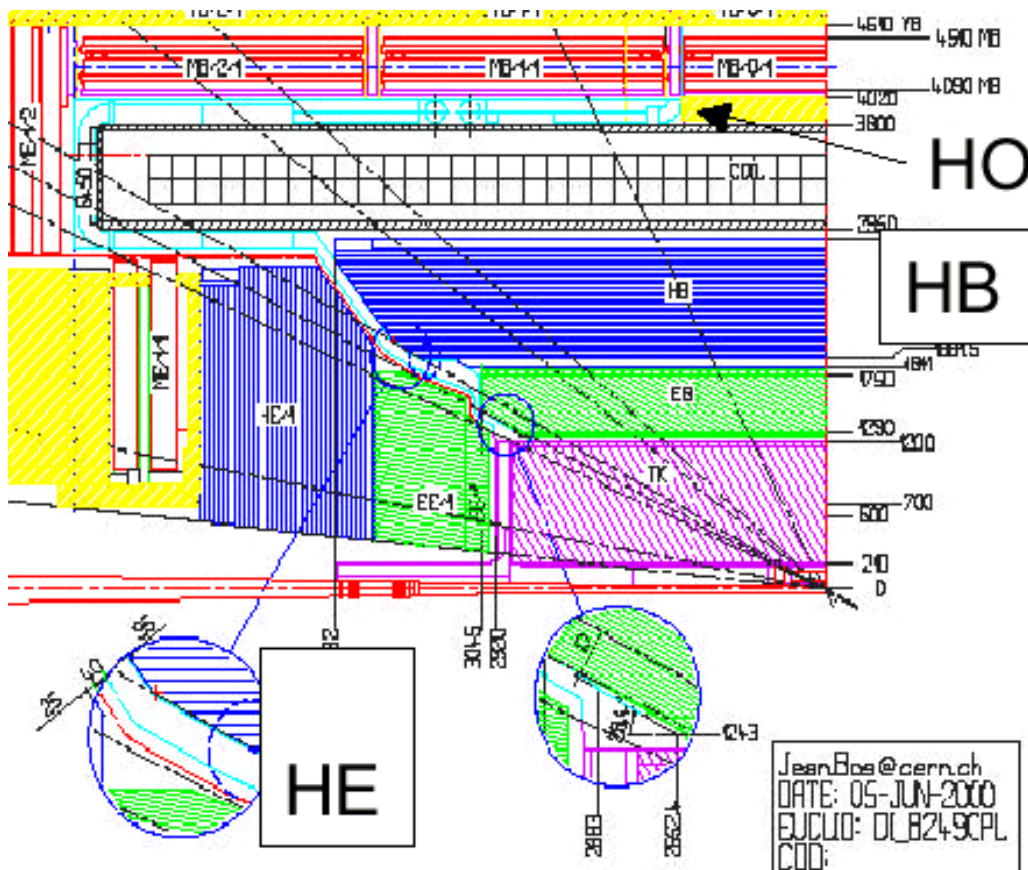
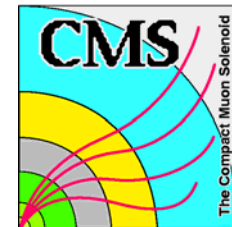
EM Cu/LAr – HAD W/LAr

**3 sezioni longitudinali**

$$\frac{\sigma}{E} = \left( \frac{41.9\%}{\sqrt{E}} + 1.8\% \right) \oplus \frac{1.8}{E}$$



# Sistema calorimetrico di CMS



**EM calorimeter**  $|\eta| < 3$  :

PbWO<sub>4</sub> crystals

1 sezione longitudinale  $1.1 \lambda$  ,

$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.0174 \times 0.0174$

**Central Hadronic**  $|\eta| < 1.7$  :

Cu(70%)+Zn(30%)/scintillatore+WLS

2 + 1 (HO) sezioni longitudinali

$5.9 + 3.9 \lambda$  ( $|\eta| = 0$ )

$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.087 \times 0.087$

**Endcap Hadronic**  $1.3 < |\eta| < 3$  :

Cu(70%)+Zn(30%)/scintillatore+WLS

2/3 sezioni longitudinali  $10\lambda$

$\Delta\eta \times \Delta\phi = \sim 0.15 \times 0.17$

**Forward calorimeter**  $2.85 < \eta < 5.19$ :

Ferro/fibre di quarzo  $\Delta\eta \times \Delta\phi =$

$\sim 0.175 \times 0.17$

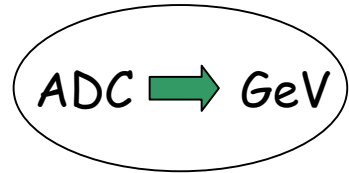
$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{120\%}{\sqrt{E}} \oplus 5\%$$



# Calibrazione dei calorimetri



Definizione della scala di energia per i calorimetri.



- Calibrazione con sorgente radioattiva.
- Misure con fasci di test :
  - elettroni e pioni a varie energie e in varie configurazioni per linearità, risoluzione,  $e/\pi$  ( $e/h$ ), sviluppo longitudinale degli shower, input MC.
  - muoni per confronto con la sorgente radioattiva, input MC.

$e/h > 1 \rightarrow$  COMPENSAZIONE

## CMS

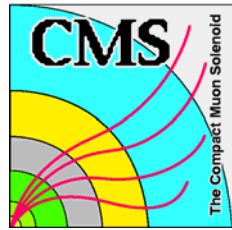
$E_{rec} = E_{EM} + (\alpha \times H1 + H2 + H3)$   
 $\alpha > 1$  corregge per  $e/h > 1$ .  
Il coefficiente  $\alpha$  utilizzato è costante.

## ATLAS

metodo H1 [NIM-A1809(1981)429] :  
 $E_{rec} = \sum W_{EM}(E_{cell}, E_{part}) E_{cell} + \sum W_{HAD}(E_{cell}, E_{part}) E_{cell}$   
W ottenuti minimizzando la risoluzione e imponendo la linearità.



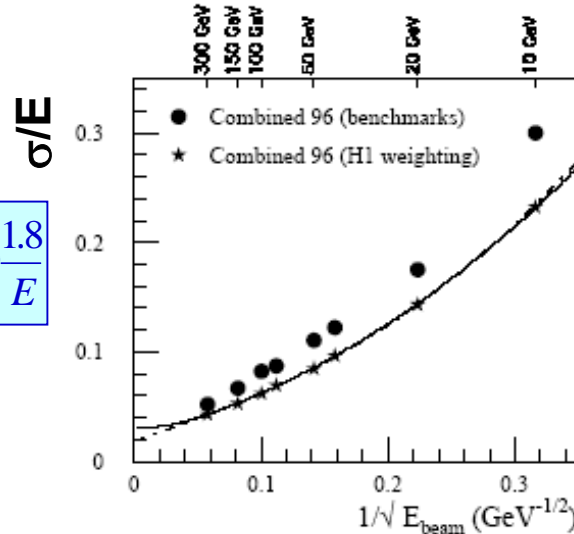
# Test beam



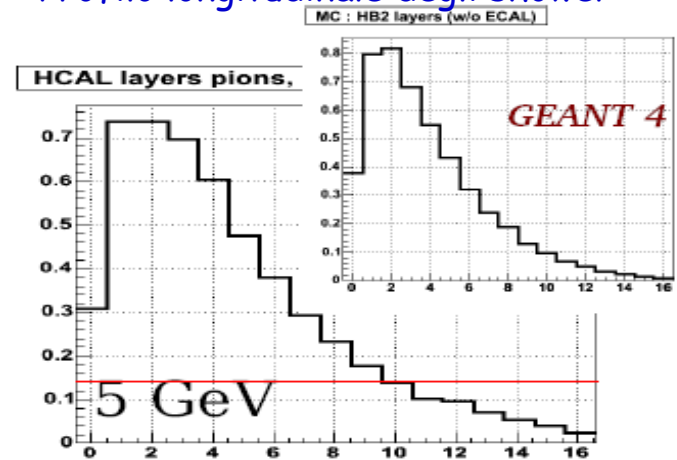
ATLAS:  
EM LAr + Tile

CMS TB 2004

$$\frac{\sigma}{E} = \left( \frac{419\%}{\sqrt{E}} + 1.8\% \right) \oplus \frac{1.8}{E}$$

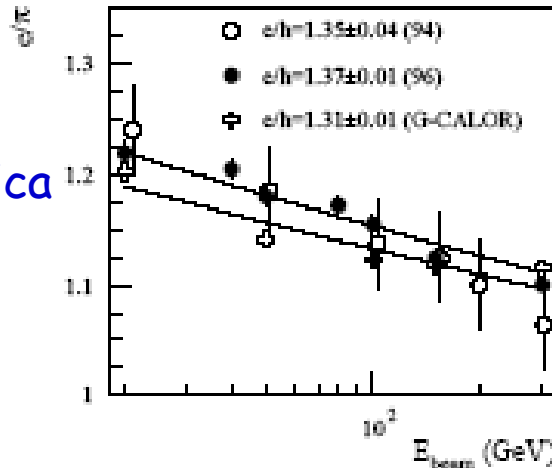


Profilo longitudinale degli shower

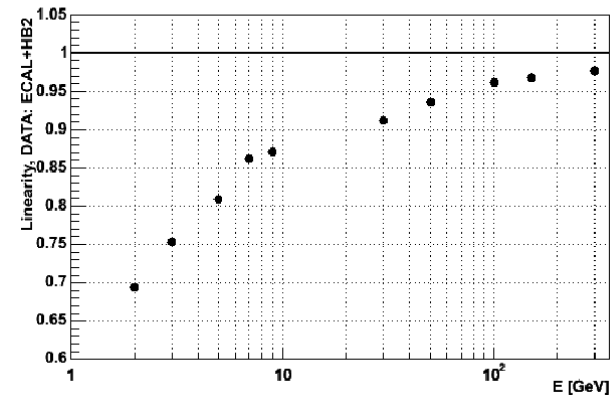


$e/\pi$  in scala  
elettromagnetica

$e/h = 1.36-1.5$   
in had. cal.



Linearity ECAL + HB2 2-300 GeV  
HB2 calib: 50 GeV pi L0=1.6



M. D'ALFONSO, F. SARRI





# Algoritmi dei jet

---



Due step di un algoritmo per la ricostruzione dei jet :

1. Raggruppare gli adroni, celle calorimetriche, ... in base alla "vicinanza" :

vicinanza in angolo  $\rightarrow$  algoritmo a cono

vicinanza in impulso trasverso e angolo  $\rightarrow K_T$

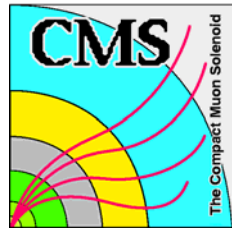
2. Definire le quantità cinematiche da associare al jet.

Schema di Ricombinazione : è la regola di somma dei momenti per le particelle che sono state identificate con un jet.





# Algoritmo a cono



Vengono selezionate le torri calorimetriche con  $E_T > E_{T,seed}$

Vengono associate le torri entro un raggio  $\Delta R$  attorno al seed ( $\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2}$ ) e viene calcolato il baricentro del jet.

Questa procedura viene iterata fino al raggiungimento di un cono stabile.

ATLAS

I getti che condividono più di una percentuale  $\Delta S$  di energia vengono uniti altrimenti le torri in comune si assegnano al jet più vicino

CMS

le torri che appartengono al jet stabile vengono rimosse

	$\Delta R$	$E_{T,seed}$	$\Delta S$
ATLAS	0.7*	2 GeV	50%
CMS	0.5*	1 GeV	-

(\*) bassa luminosità

esempio di recombination scheme

$$E_T^{jet} = \sum_k E_T^k$$

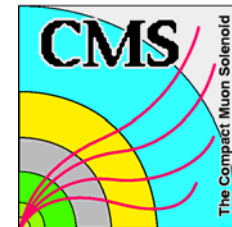
$$\eta^{jet} = \frac{\sum_k E_T^k \cdot \eta_k}{E_T^{jet}}$$

$$\phi^{jet} = \frac{\sum_k E_T^k \cdot \phi_k}{E_T^{jet}}$$

M.D'ALFONSO, F.SARRI



# Algoritmo $K_T$



Lista di precluster.

Per ogni precluster  $i$  e per ogni coppia di precluster  $i, j$  si definiscono:

$$d_{ii} = k_{T,i}^2$$

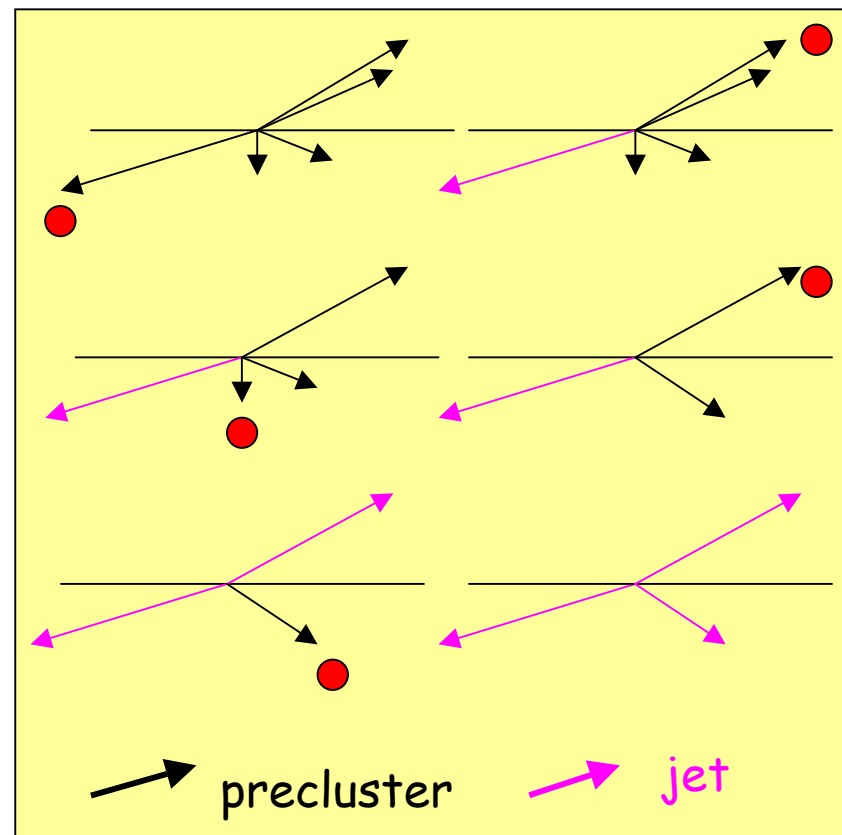
$$d_{ij} = \min(k_{T,i}^2, k_{T,j}^2) \frac{\Delta R_{ij}^2}{D^2}$$

e si cerca il  $d$  minimo.

se ( $d_{\min} = d_{ii}$ )  $\Rightarrow$  jet

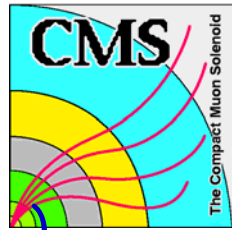
se ( $d_{\min} = d_{ij}$ )  $\Rightarrow$  uniscono  $i$  e  $j$   
(4-vector sum) in un nuovo  $d_{ij}$

ESEMPIO





# Calibrazione dei jet



I jet devono essere ricalibrati ( $e/\pi$ , crack dei rivelatori, ...)

## ATLAS

metodo alla H1 :

- l'energia si calcola con una somma pesata dell'energia delle celle nelle varie segmentazioni longitudinali dei calorimetri;  $E_{Rec} = \sum_i w_i E_i$
- i pesi dipendono dal sample calorimetrico, dall'energia della cella;
- vengono calcolati minimizzando la risoluzione in energia rispetto all'energia del jet MC.

## CMS

Correzioni con coefficienti costanti

$$E_T(\text{corr}) = (1/(\text{Risposta})) * E_T(\text{rec})$$

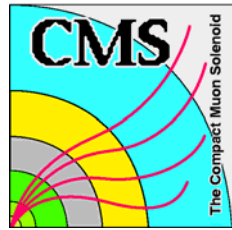
Risposta =  $E_T(\text{rec}) / E_T(\text{corr})$   
funzione di  $E_T$  e  $\eta$   
definita su eventi MC

## CMS

Correzioni con tracce  
vedi presentazione su E-Flow



# Eventi a di QCD a 2 jet (ATLAS) (1)



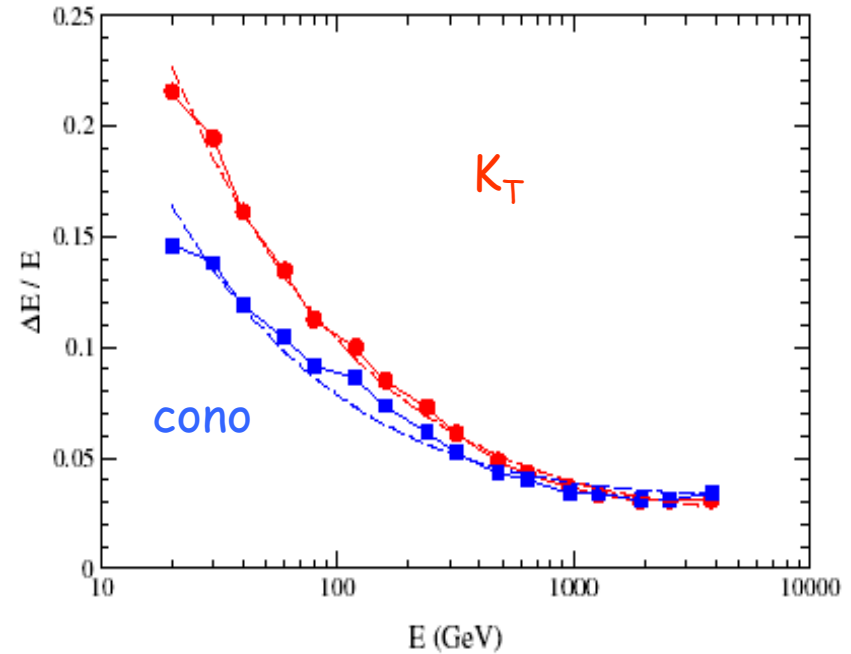
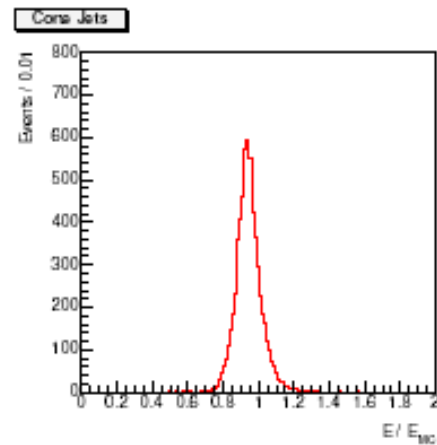
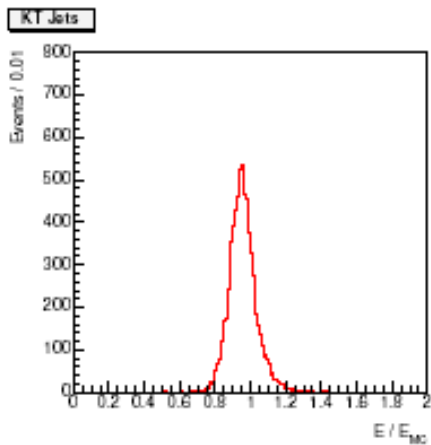
eventi con noise, algoritmo a cono e  $K_T$   
 $p_T > 35, 70, 140, 280, 560, 1120, 2240, 4480 \text{ GeV}$

F.Paige, talk agosto 2004

possibile parametrizzazione :

$$w_i = a + \frac{(b + c/e)}{e^d}$$

16 bin di  $\ln(E_{\text{cell}}/V)$   
 $e = e$ -esimo bin di energia



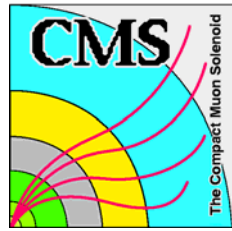
Il rapporto  $E/E_{MC}$  per i jet calibrati è molto vicino a 1, ma ancora non entro 1%.

$$\left. \frac{\Delta E}{E} \right|_{KT} = \frac{100.7\%}{\sqrt{E}} \oplus 2.3\%$$

$$\left. \frac{\Delta E}{E} \right|_{\text{cono}} = \frac{71.9\%}{\sqrt{E}} \oplus 3.1\%$$



# Eventi a di QCD a 2 jet (ATLAS) (2)

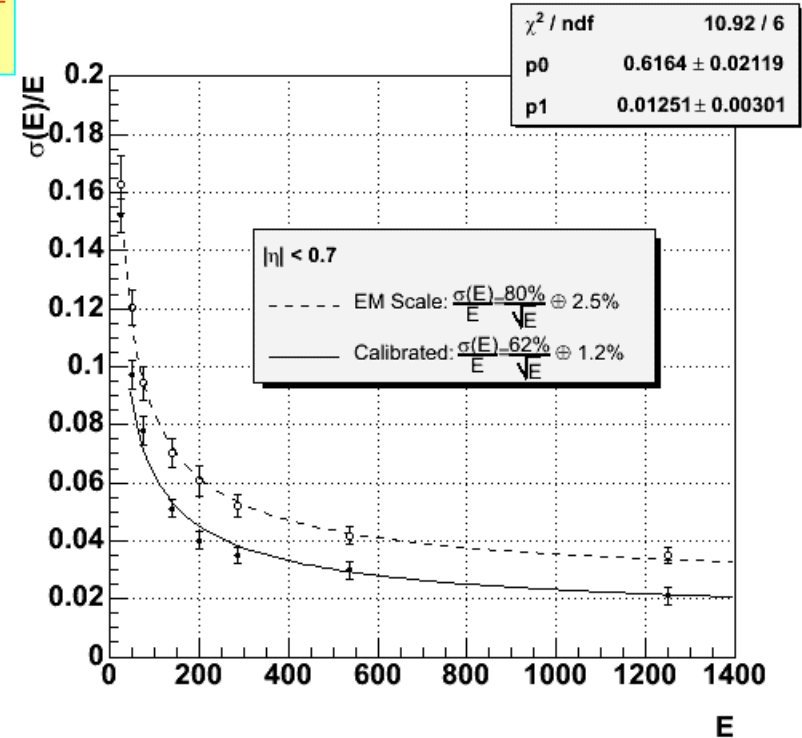
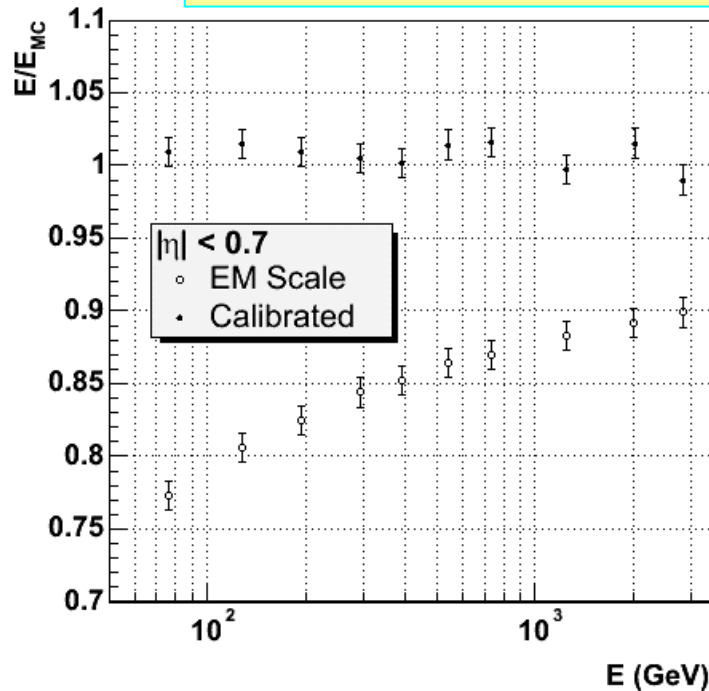


eventi senza noise e pile-up, algoritmo a cono  
 $p_T > 35, 70, 140, 280, 560, 1120, 2240, 4480 \text{ GeV}$

altra parametrizzazione

$$w_i(E_i, E_{MC}) = a_i(E_{MC}) + \frac{b_i(E_{MC})}{E_i}$$

C.Roda, I.Vivarelli, ATLAS SW 09-2004

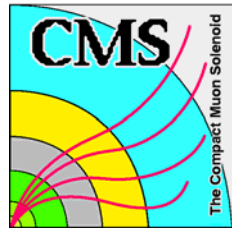


linearità entro il 2%

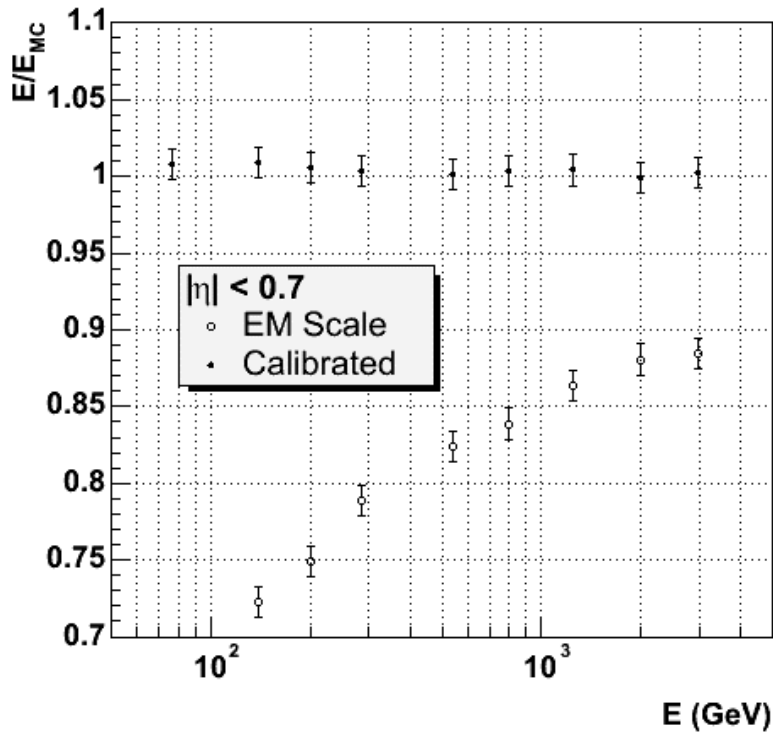
$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{62\%}{\sqrt{E}} \oplus 1.2\%$$



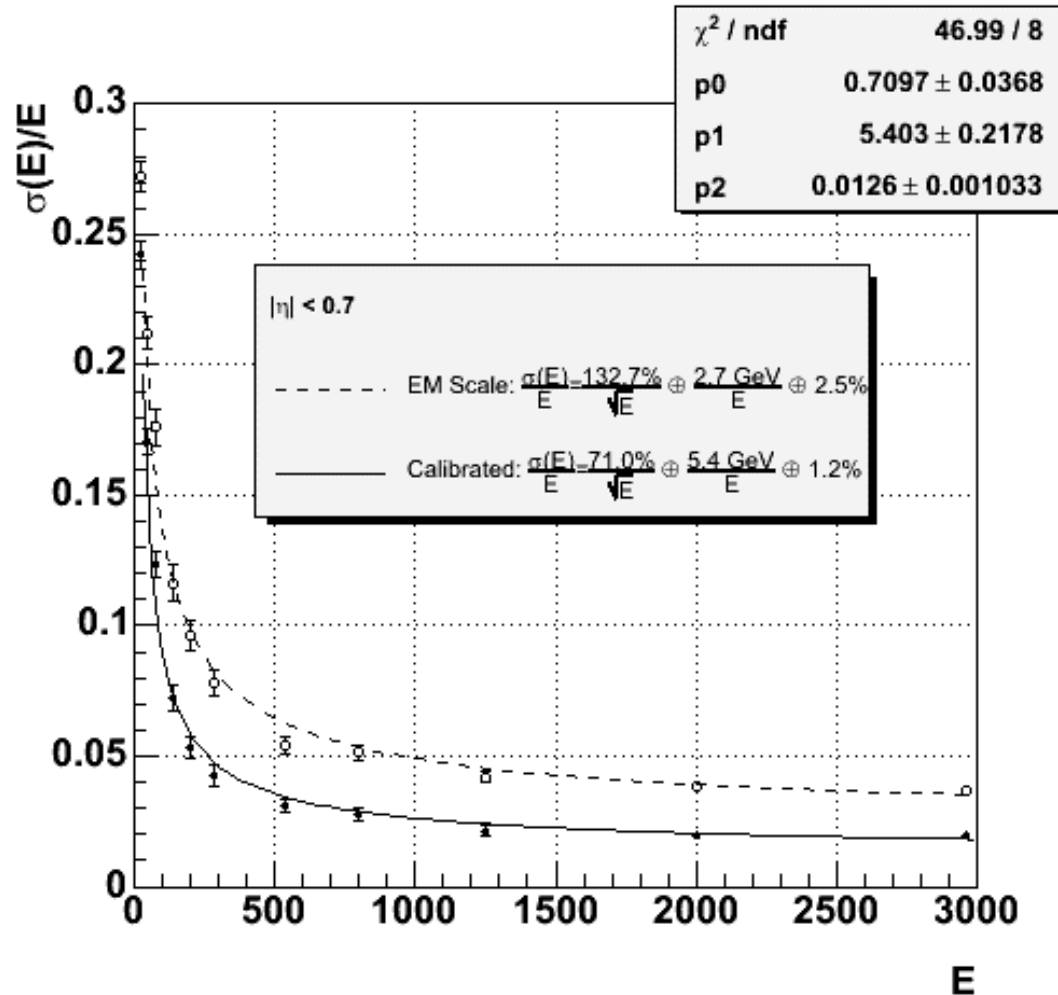
# Eventi a di QCD a 2 jet (ATLAS ) (3)



Noise simulato e  
taglio a  $2\sigma$



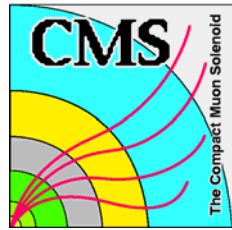
linearità ancora entro il 2%



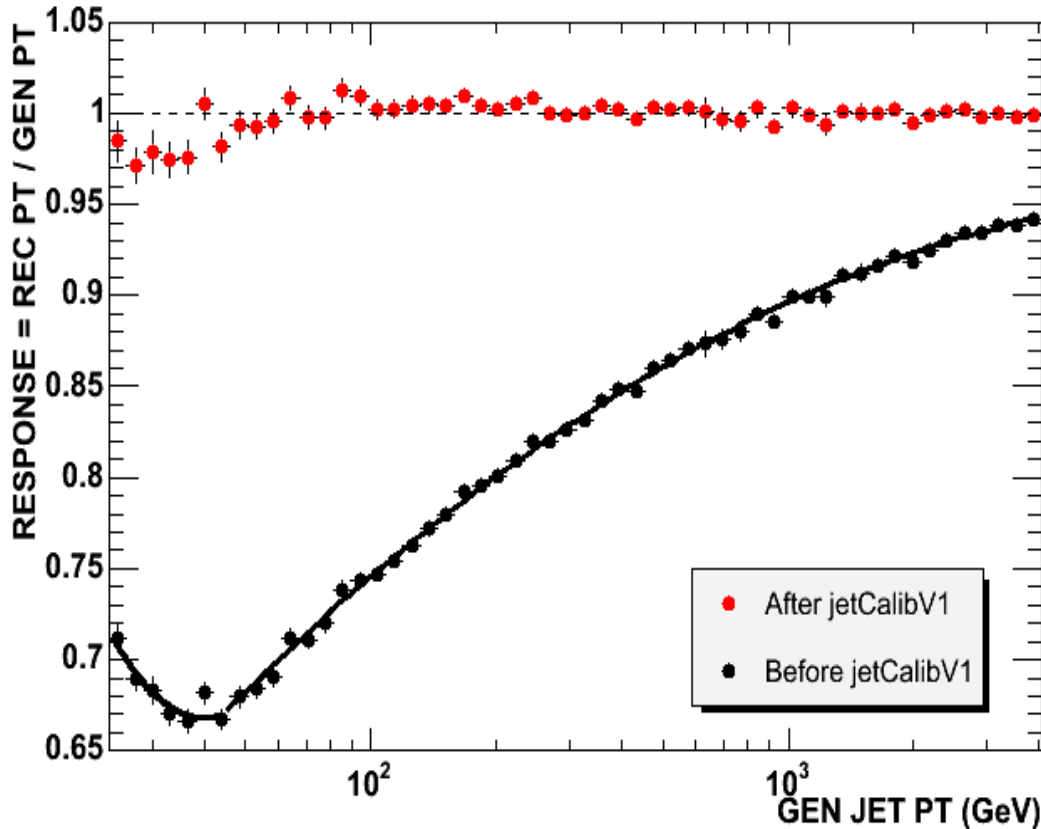
C.Roda, I.Vivarelli, ATLAS SW 09-2004



# Eventi a di QCD a 2 jet (CMS)



Corrected Response vs.  $P_T$  ( $|\ln| < 1$ )



By Robert Harris

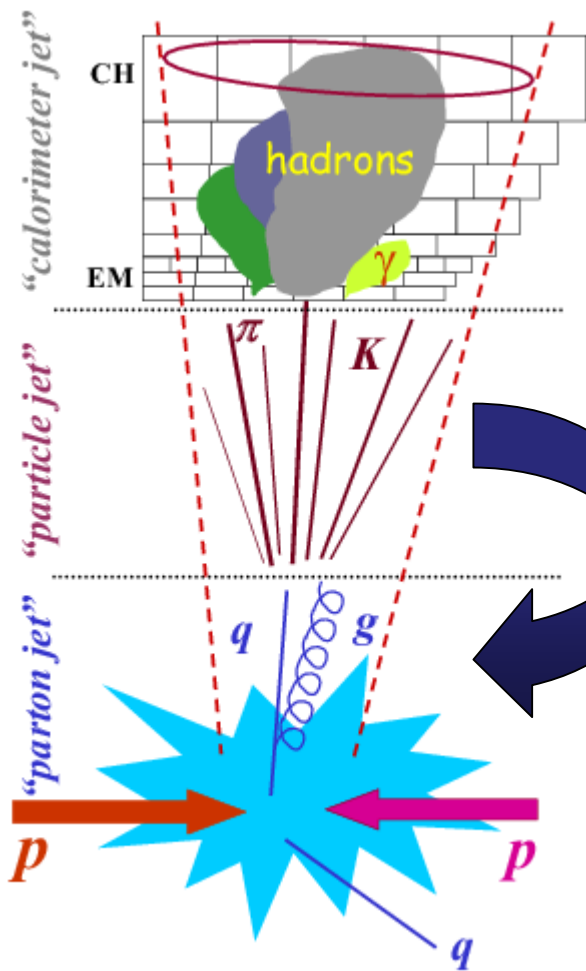
eventi senza pile-up  
algoritmo a cono con  
 $\Delta R = 0.5$

Correction =  
 $1 / (\text{Response}(\eta) * \text{Response}(P_T))$





# Energia del partone



Dal jet ricostruito alla misura assoluta dell'energia del jet partonico - richiesta 1% precisione sulla scala dei jet :

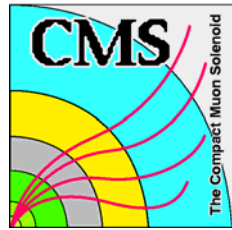
- riscaldare l'energia ricostruita (trasversa), correzione energia persa fuori dal cono ed in particelle neutre;
- sottrazione dell'energia non associata alla interazione forte : underlying event, multiple interactions, pile-up, noise.



Calibrazione in situ



# Calibrazione "in situ"



Monitorare e intercalibrare il rivelatore :

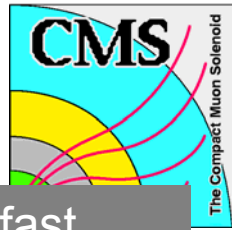
- muoni cosmici;
- muoni di beam halo;
- eventi di minimum bias;
- eventi di singoli adroni;
- eventi a 2 jet ( $p_{Tj1} = p_{Tj2}$ ).

Eventi per la calibrazione dei jet :

- $W \rightarrow jj$  : si impone la massa  $W$ . Gli eventi sono generati da decadimento delle coppie  $t\bar{t}$  in cui uno dei due  $W$  prodotti decade leptonic.
- $Z+j$  : si richiede che  $Z \rightarrow e^+e^-, \mu^+\mu^-$  e jet siano back-to-back  $p_{Tz} = p_{Tj}$ .
- $\gamma+j$  : si richiede che  $\gamma$  e jet siano back-to-back  $p_{T\gamma} = p_{Tj}$ .  
Statistica molto piu` alta che per  $Z+j$ .



# Z+jet (ATLAS)



$$Z + \text{jet} \rightarrow \mu\mu + \text{jet}$$

La calibrazione si ottiene imponendo :

$$p_T^Z \cong p_T^{\text{jet}}$$

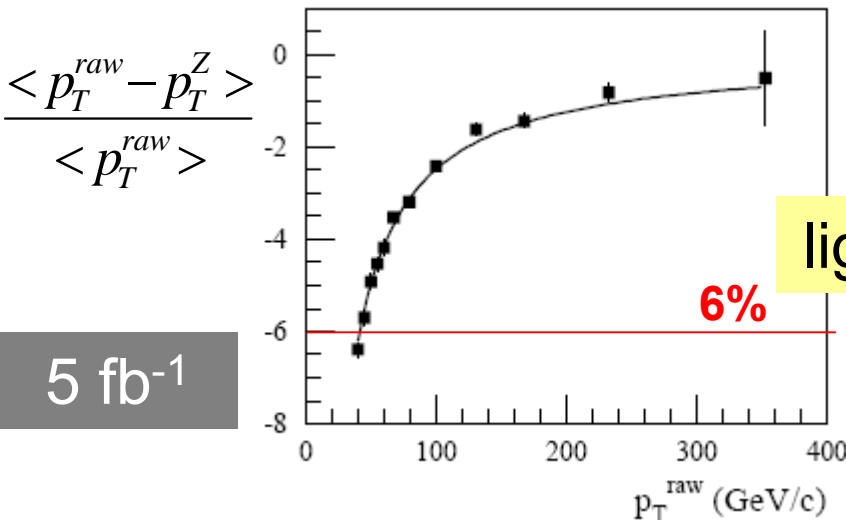
verificata solo approssimativamente per la presenza di ISR

Studio con fast simulation

Efficienza per la selezione degli eventi 10%

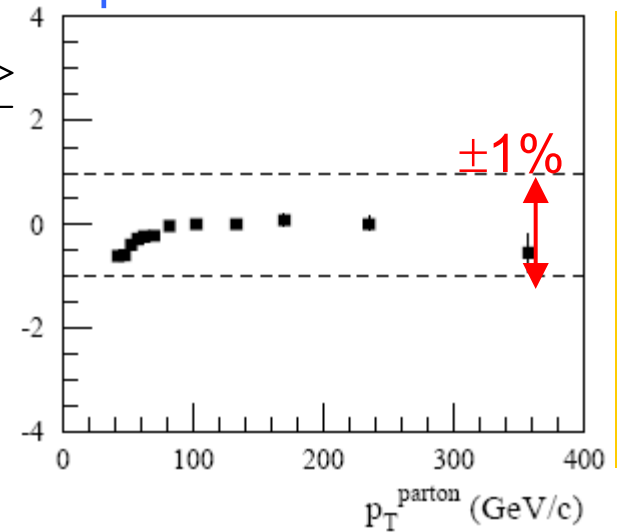
30% running efficiency  
In 1 mese si hanno circa 30000 Z+jet nel barrel ( $10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$ )

Prima della calibrazione



$$\frac{\langle p_T^{\text{cal}} - p_T^{\text{partone}} \rangle}{\langle p_T^{\text{partone}} \rangle}$$

Dopo la calibrazione



ATL-PHYS-2002-026

M. D'ALFONSO, F. SARRI



# $\gamma + \text{jet}$ (CMS)

---



Goal: trovare coefficienti per:

- light quark, jet di b, jet di QCD
- differenti algoritmi di ricostruzione del jet
- diverse  $E, \eta$

usando il bilanciamento  $P_T(\gamma) - P_T(\text{parton})$

$$K_{\text{jet}} = P_T(\text{reco}) / P_T(\gamma) \rightarrow E_T(\text{corr}) = (1 / K_{\text{jet}}) * E_T(\text{reco})$$

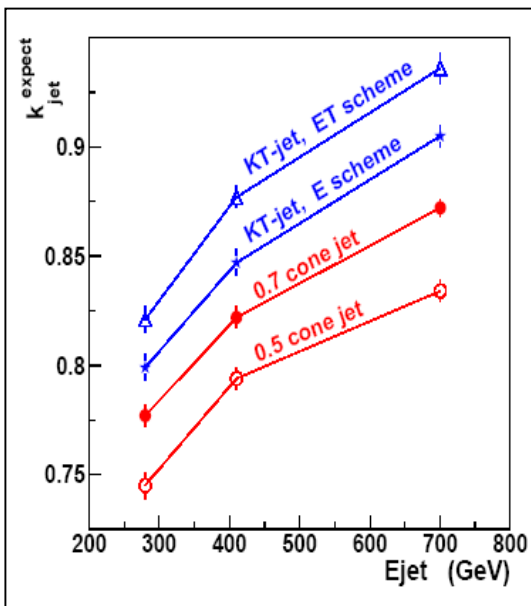
NB : importanti gli errori sistematici



# $\gamma + \text{jet}$ (CMS)



by V. Konopliyanikov



## Signal events with cuts:

✓ Summar.  $E_T$  in  $R=0.7$  in the outside  $7 \times 7$  crystals around  $\gamma$ :

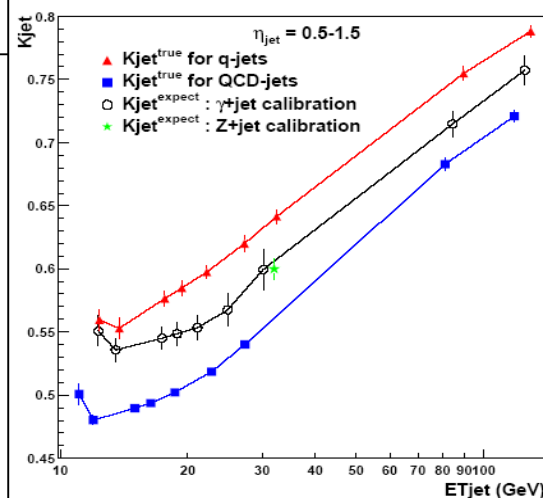
$$E_{T\gamma}^{isol} < 7 \left( \frac{E_{T\gamma}}{100} \right)^{0.2} \text{ GeV}$$

✓  $\Delta\varphi_{\gamma,jet} > 170^\circ$

38999 events in the  
jm03b\_gj\_100200 dataset  
( $E_{T\gamma}=100-200 \text{ GeV}$ )

errori sistematici :  
ISR, tagli di selezione,  
fondo jet-jet,.....

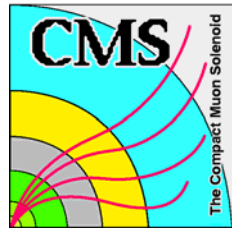
## 0.5 cone jet with pile-up subtraction



$K_{jet}^{expect} - K_{jet}^{true} =$   
= -8 - -4% for light quark jets  
= +8 - +4% for QCD jets  
at  $ET_{jet}=20-150 \text{ GeV}$



# Ricostruzione e calibrazione di $E_{Tmiss}$



ATLAS

- Ricostruzione di  $E_{Tmiss}$  :  
 $\Rightarrow$  tutte le celle dei calorimetri in  $|\eta| < 5$ :  

$$E_{Tmiss} = \sqrt{E_{Xmiss}^2 + E_{Ymiss}^2}$$

$$E_{X(Y)miss} = \sum E_{X(Y)} \text{ calo cells}$$

$$\text{Sum} E_T = \sum E_T \text{ calo cells}$$
- Calibrazione di  $E_{Tmiss}$  :  
 $\Rightarrow$  Nelle regioni del Barrel e dell'EndCap si usano gli stessi pesi alla H1 trovati per i jet.  
 $\Rightarrow$  Per FCAL pesi alla H1 trovati per  $E_{Tmiss}$ .

CMS

Ricostruzione di  $E_{Tmiss}$  :

$$E_{Tmiss} = \sum_{jet, torri} \vec{E}^{jet, torri} \cdot C^{jet, torri} (E_T, \eta)$$

$$C^{jet} = \frac{E_T^{particelle} (\Delta R = 0.5)}{E_T^{rec} (\Delta R = 0.5)}$$

$$C^{torre} = C^{jet} (E_T = 30 GeV)$$

Calibrazione di  $E_{Tmiss}$  :

$\Rightarrow$  i coefficienti sono gli stessi trovati per i jet  
 (altri algoritmi sotto studio)



# Risoluzione di $E_T$ miss (ATLAS)



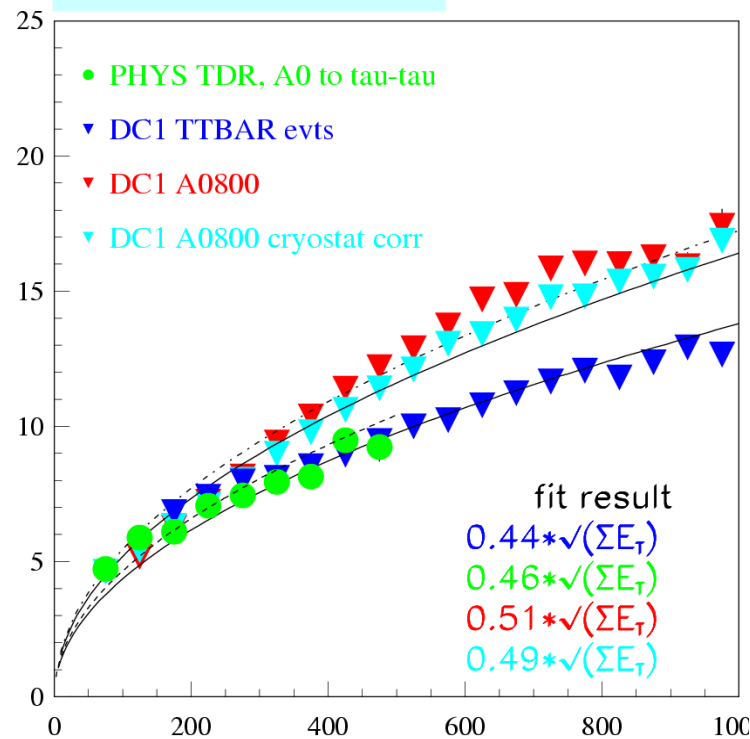
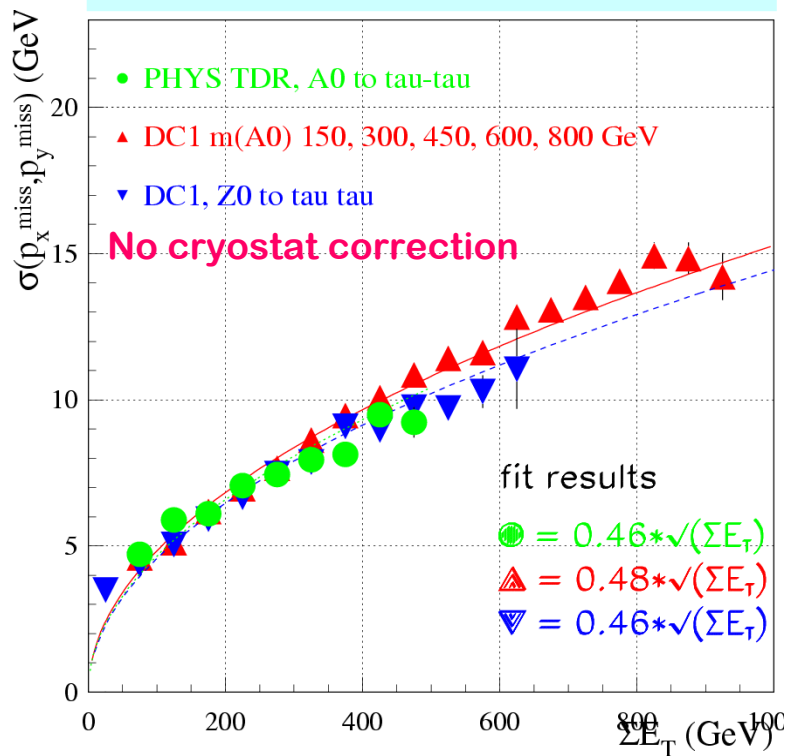
D.Cavalli ATLAS SW 03-2004

PHYS TDR  
Noise added  
 $E_{cell} > 1.5 \sigma(\text{Noise})$

No Noise added in DC1

$Z \rightarrow \tau\tau$  and  $A \rightarrow \tau\tau$  DC1 data

$t\bar{t}$  DC1 data

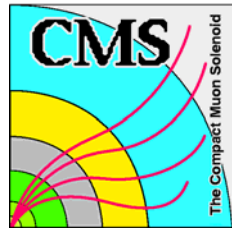


(Physics)  $E_T$ miss Resolution =  $\sigma ( E_{x(y)miss \text{ Rec } |\eta| < 5} - E_{x(y)miss \text{ Truth}} )$   
 $E_T$ miss Resolution  $\div \sqrt{\text{Sum} E_T}$





# Effetto del noise sulla risoluzione di $E_{Tmiss}$

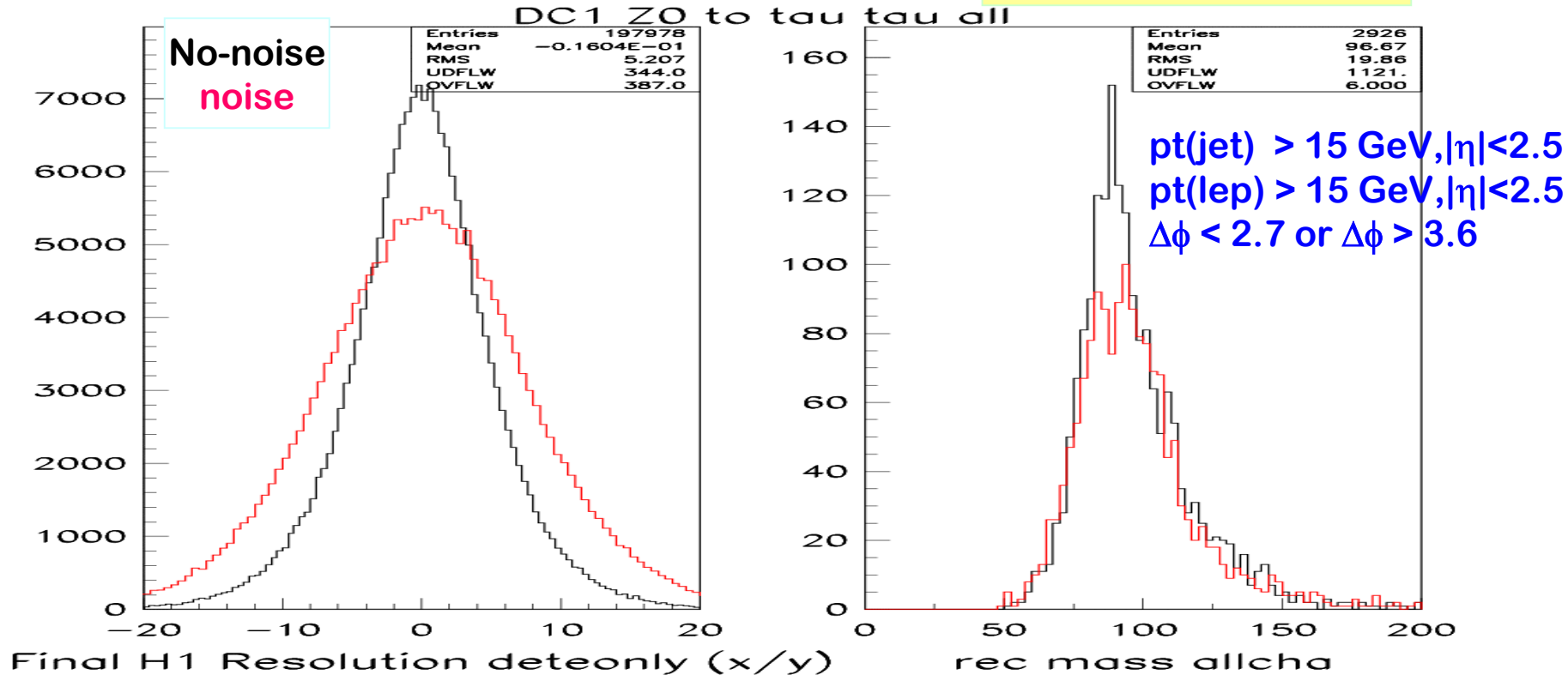


$Z \rightarrow \tau\tau$

D.Cavalli ATLAS SW 03-2004

La risoluzione di  $E_{Tmiss}$  peggiora di  $\sim 30\%$

$\sigma(m_{\tau\tau})$  increases  $\sim 10\%$



Il contributo del noise non tagliato alla risoluzione di  $E_{Tmiss}$  è circa  $13\text{GeV}$ . L'effetto del noise è molto grande per eventi di  $Z$  per i quali la risoluzione in  $E_{Tmiss}$  è  $\sim 6\text{GeV}$  senza noise: è necessario tagliare a 2 sigma.



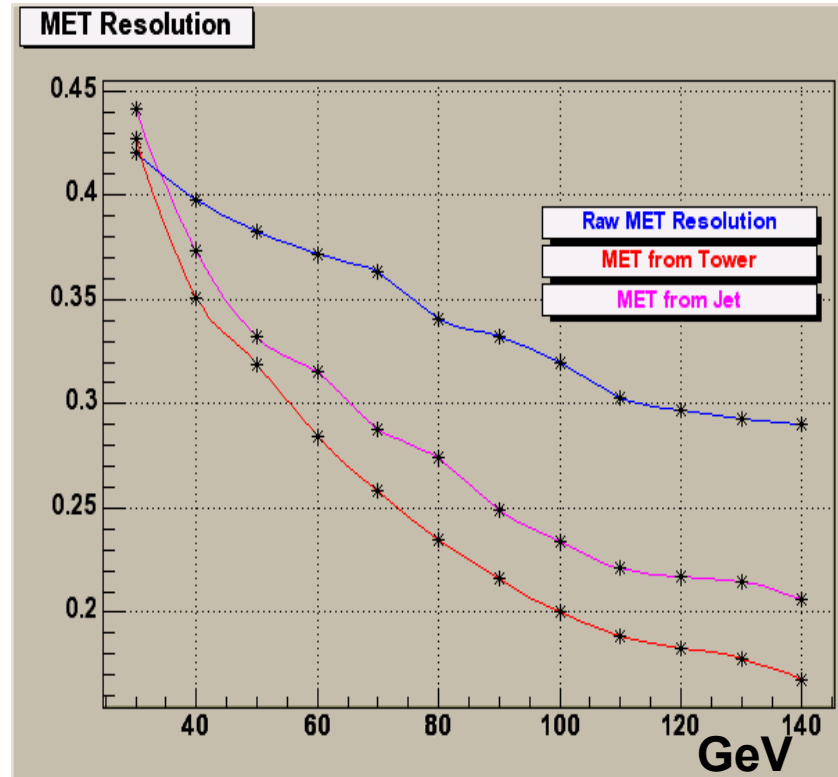
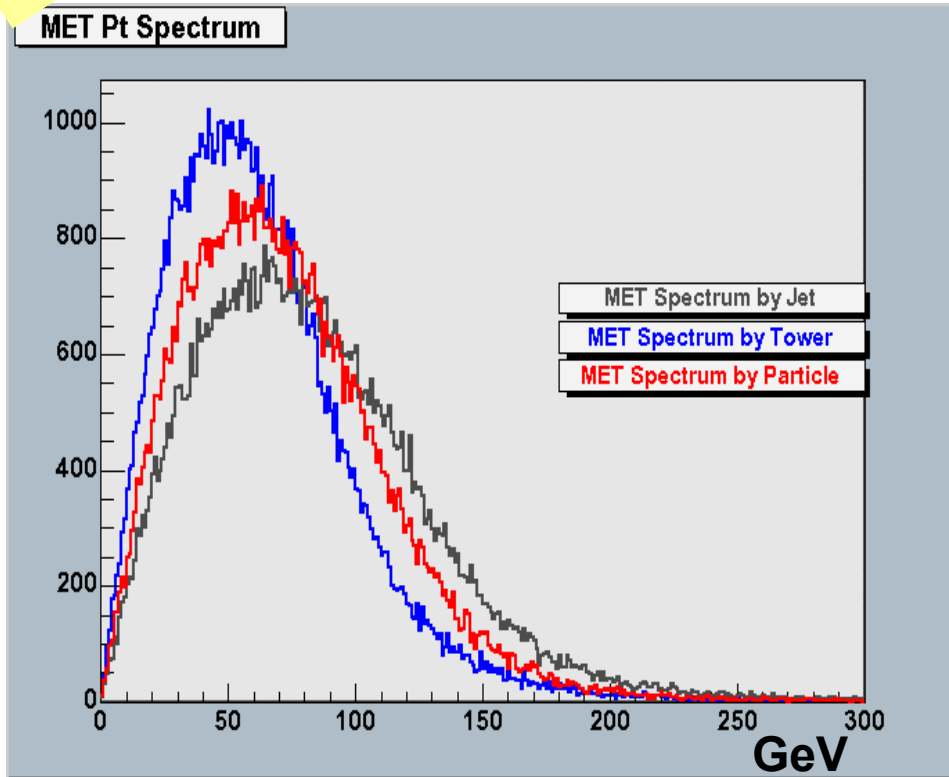
# Ricostruzione e risoluzione di $E_{T,miss}$ in eventi $t\bar{t}$ (CMS)



Lavoro agli inizi

opzioni di ricostruzione di  $E_{T,miss}$ :  
a livello di torri o da oggetti ricostruiti

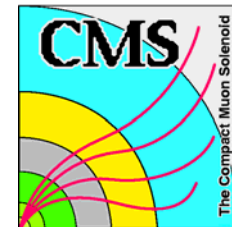
by Hipeng Pi



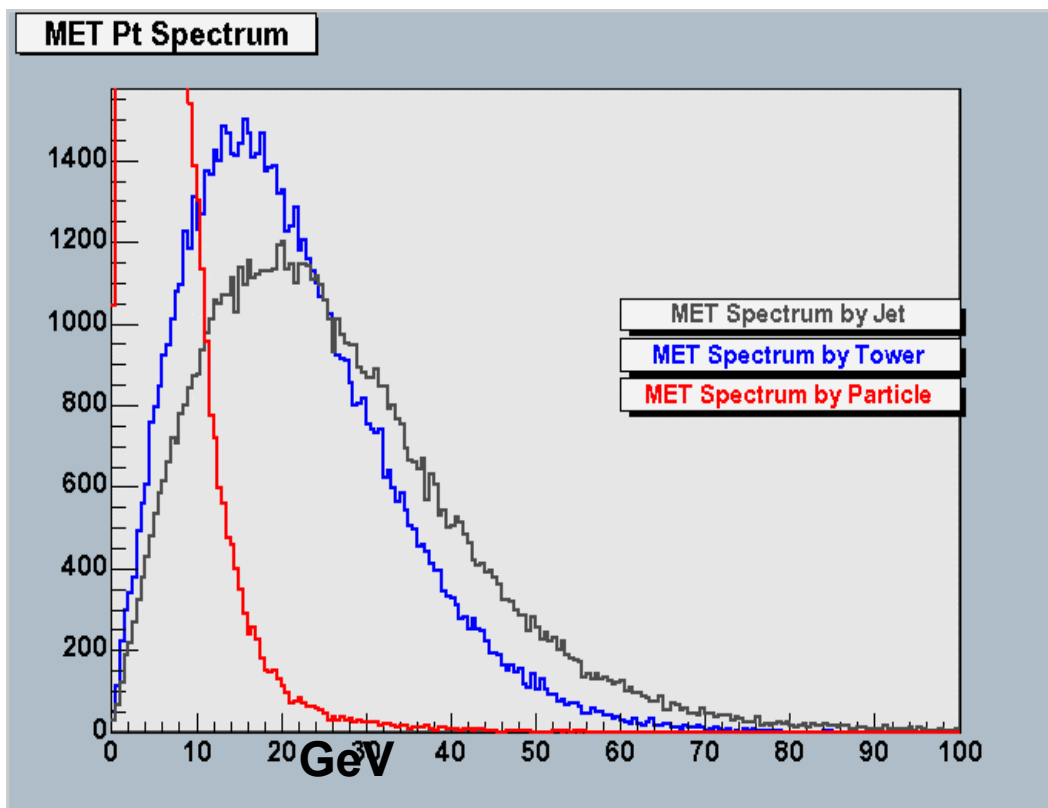
es:  $E_{T,miss}$  50 GeV risoluzione 30 - 35%



# Ricostruzione di $E_{T\text{miss}}$ in eventi di QCD (CMS)



Lavoro agli inizi



by Hipeng Pi

In eventi di QCD, la  $E_{T\text{miss}}$  con ricostruzione da jet o torri e' influenzata da sorgenti irriducibili come Minimum bias, rumore ...



# Conclusioni

---



Dallo scorso anno molto lavoro è stato svolto per lo sviluppo degli algoritmi per la ricostruzione di jet e  $E_{Tmiss}$ .

I risultati raggiunti si stanno avvicinando a quelli del TDR (ATLAS).

Per CMS si stanno definendo le strategie di calibrazione per la scala di energia dei jet e  $E_{Tmiss}$

Il lavoro sta ancora continuando ... aspettando il giorno 1!



---

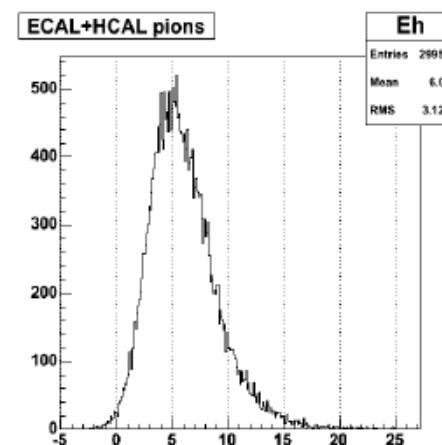
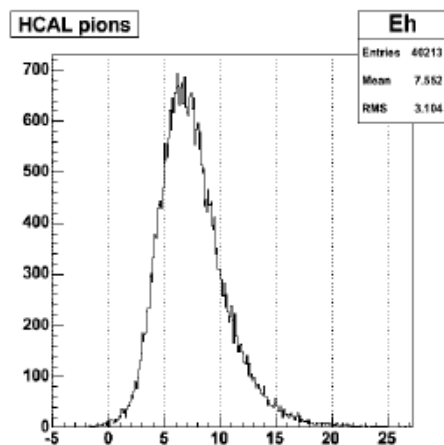
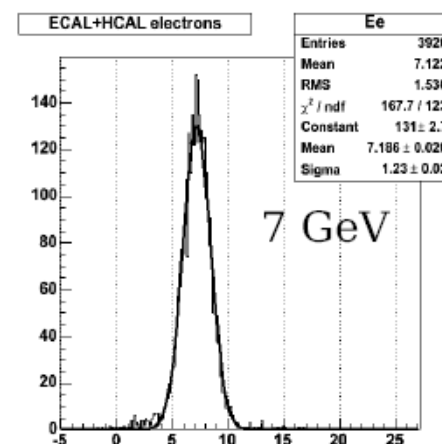
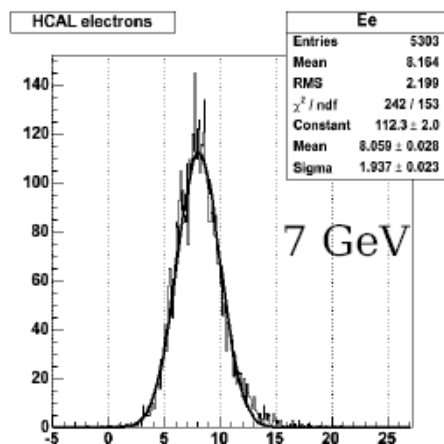
# backup



# Calorimetri di CMS : risposta a pioni e elettroni

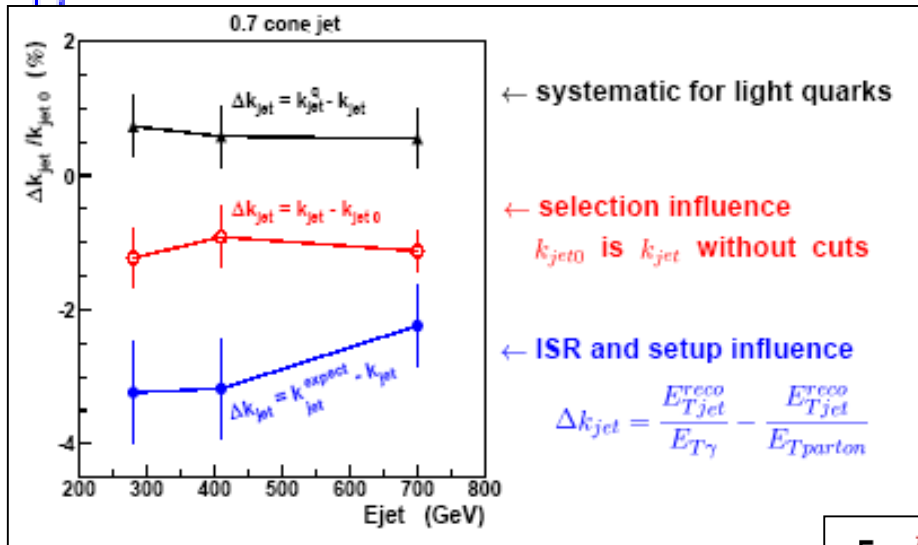


TB 2004





# Sistematici per eventi $\gamma + \text{jet}$ (CMS)



For  $E_\gamma = 40-160 \text{ GeV}$ , 0.7 cone jet

( $E_{T\gamma}^{isol}$  and  $\Delta\varphi_{\gamma,jet}$  -cuts, S/B = 0.8):

fondo :  
eventi jet - jet

✓ "photon"-jet imbalance influence ( q-jets):

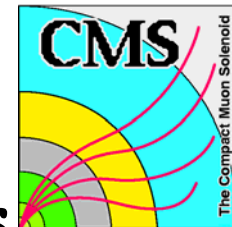
$$k_{jet,B}^{expect} - k_{jet,S}^{expect} = (12 \pm 3)\% k_{jet,S}^{expect}$$

✓ q/g ratio influence:

S: 90% q-jets, B: 70% g-jets,

$$k_{jet}^g - k_{jet}^q = -(12 \pm 1)\% k_{jet}^q$$





# Following plot shows the resolution of various correction methods to QCD jets for missing ET studies

