

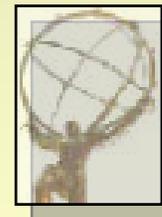
Stato degli algoritmi di energy flow in Atlas e Cms



Boris Mangano¹⁾ & Iacopo Vivarelli²⁾

1) SNS – INFN Pisa CMS group

2) SNS – INFN Pisa Atlas group



Sommario

▶ Introduzione

- ▶ Il metodo di Energy Flow (EF)

▶ Applicazione di EF in Atlas e Cms

- ▶ Proprieta' della Calorimetria e della Tracciatura nei due esperimenti
- ▶ Implementazione dell'EnergyFlow
- ▶ Prestazioni a confronto

▶ Riassunto e previsioni



Il metodo di Energy Flow

limiti della ricostruzione dei jet con il solo calorimetro

Limiti intrinseci agli algoritmi di jet finding

- ▶ Fluttuazioni nella frazione di energia del jet contenuta all'interno del cono (o regione) che regola l'algoritmo.
- ▶ Contaminazione dell'energia contenuta nel cono da parte del resto dell'evento (sovrapposizione jet) e del pile-up.

Limiti propri del calorimetro

- ▶ Risoluzione in energia.
- ▶ Non linearità della risposta in funzione delle energie e del tipo di particella.

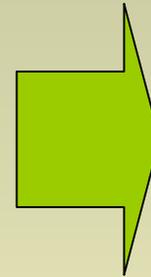
OSS: gli ultimi tre punti influenzano pure la ricostruzione della missing Et.

Il metodo di Energy Flow

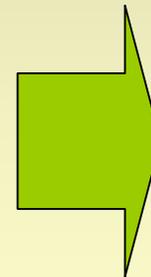
Perche' utilizzare il tracciatore

L'utilizzo del tracciatore permette di

- a) associare al jet le tracce cariche che, per effetto del campo magnetico, non rilasciano energia all'interno del cono di definizione del jet o non raggiungono proprio il calorimetro.
- b) Ricostruire il vertice di interazione e quindi distinguere (in parte) il contributo del segnale da quello dell'underlying event e del pileup.
- c) Ricostruire (per un ampio intervallo di energia) l'impulso delle tracce cariche con una risoluzione migliore rispetto a quella ottenibile con il solo calorimetro



Miglioramento dei limiti intrinseci degli algoritmi di jet finding



Miglioramento dei limiti propri del calorimetro

Il metodo di Energy Flow

Descrizione del metodo di EF in 3 punti (in un mondo ideale)

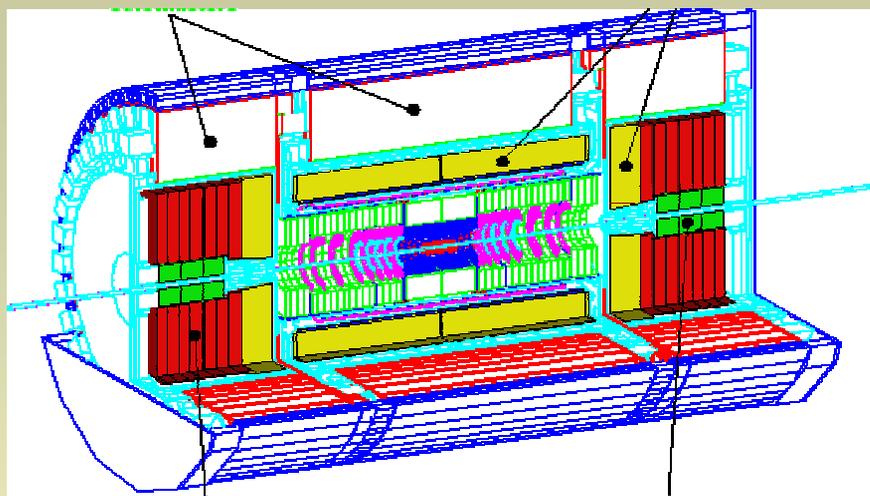
1. Individuare, per mezzo del tracciatore, tutte le tracce cariche **out-of-cone** al calorimetro. Aggiungere il corrispondente contributo alla definizione del 4-impulso del jet.
2. Individuare le tracce cariche **in-cone associate al vertice** di interazione. Aggiungere il contributo corrispondente alla misura nel tracciatore, sottrarre quello corrispondente (uso particle ID) alla misura nel calorimetro.
3. Individuare le tracce cariche **in-cone non associate al vertice** primario o al jet di interesse. Sottrarre il contributo corrispondente (uso particle ID).

Proprieta' Cal e Tk nei due esperimenti

Calorimetria in Atlas

Tile Calorimeter

EM barrel and EndCap



**Hadronic
EndCap**

**Forward
Calorimeter**

**Risoluzione su single π EM LAr + TileCal
(ottenuta al Test beam combinato del 1996)**

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

Linearità $\pm 2\%$ (10-300 GeV)

EM LAr $|\eta| < 3.1$:

Pb/LAr 24 X_0 barrel, 26 X_0 endcap

**3 sezioni longitudinali + presampler
 1.2λ**

$$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.0250 \times 0.0250$$

Tile hadronic calorimeter $|\eta| < 1.7$:

Fe(82%)/scintillator(18%) in volume

3 sezioni longitudinali, 7.2λ in totale

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

End Cap Hadronic $1.5 < \eta < 3.2$:

Cu/LAr – **4 sezioni longitudinali**

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

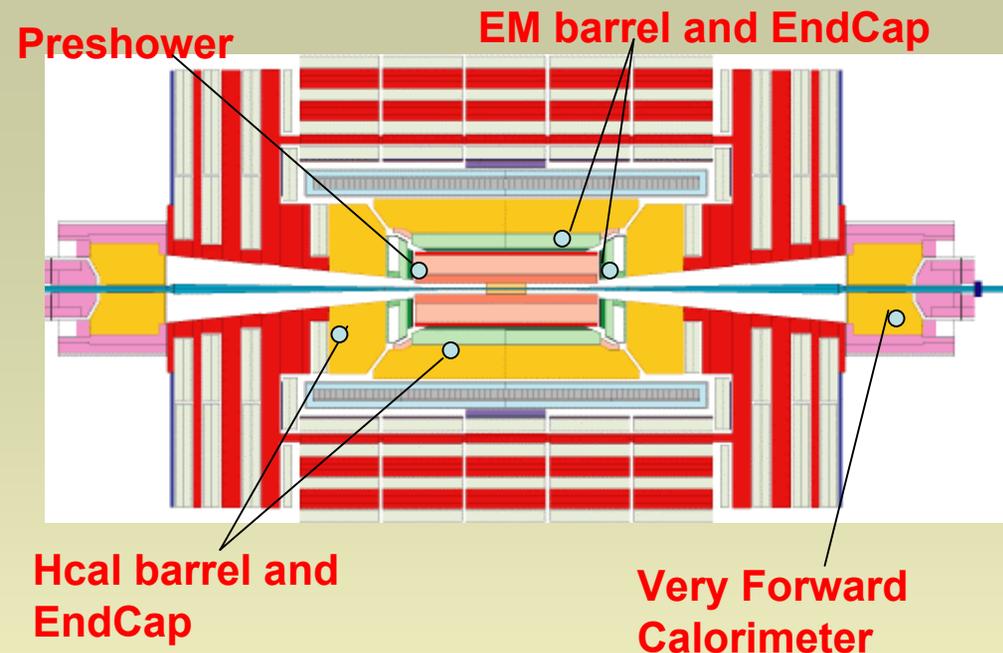
Forward calorimeter $3.1 < \eta < 4.9$:

EM Cu/LAr – HAD W/LAr

3 sezioni longitudinali

Proprieta' Cal e Tk nei due esperimenti

Calorimetria in CMS



EM $|\eta| < 3$:

PbWO₄ cristals 24.7-25.8 X_0 , 1.1 λ

1 sezione longitudinale+preshower (3 X_0)

$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.0175 \times 0.0175$

Barrel HCal $|\eta| < 1.74$, Brass/Scintillator

2 sezioni longitudinali (5.9 λ) +

Outer Hcal (2.5 λ per $|\eta| < 1.4$)

End Cap HCAL $1.3 < |\eta| < 3.0$, Brass/Scintillator:

2 sezioni longitudinali

$\Delta\eta \times \Delta\phi \geq 0.0875 \times 0.0875$

Forward calorimeter $3 < |\eta| < 5$:

Fe/Quartz Fibre, Cerenkov light

2 sezioni longitudinali (em per 16 λ , had per 9 λ)

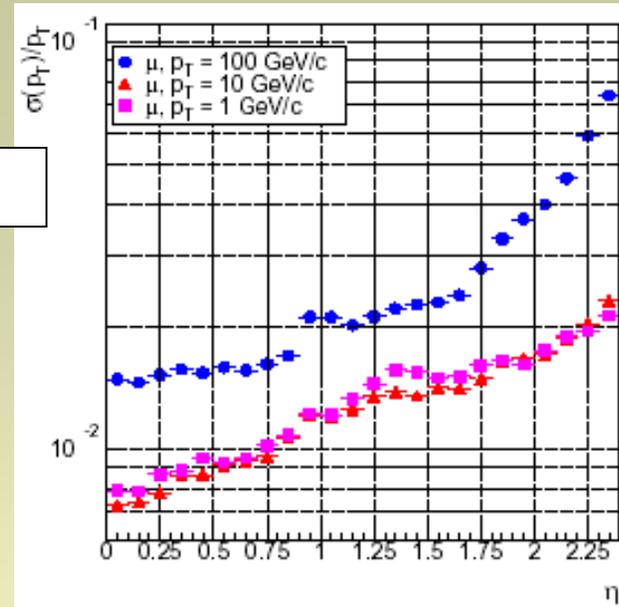
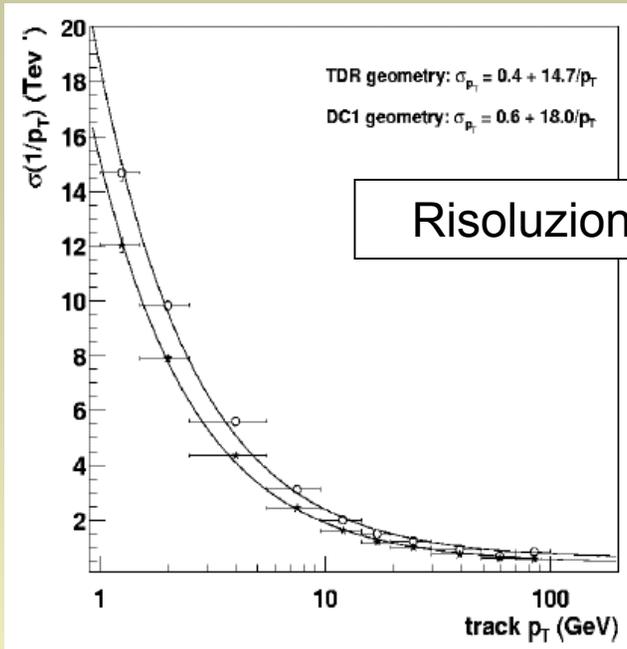
Risoluzione su single π Ecal + Hcal
(ottenuta al Test beam combinato del 1996)

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{101\%}{\sqrt{E}} \oplus 4\% \quad \text{Pions mip in Ecal}$$

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{127\%}{\sqrt{E}} \oplus 6.5\% \quad \text{Full pion sample}$$

Proprieta' Cal e Tk nei due esperimenti

Tracciatura in Atlas e CMS



$$\frac{\sigma(p_T)}{p_T} \approx 1.8\% \oplus 60\% \cdot p_T$$

$$\frac{\sigma(p_T)}{p_T} \approx 0.5\% \oplus 15\% \cdot p_T$$

(p_T in Tev)

Es: μ 100 GeV \rightarrow $dP_T/P_T \sim 6-7\%$ (Atlas)

$dP_T/P_T \sim 1-2\%$ (CMS)

Proprieta' Cal e Tk nei due esperimenti

Tracciatura in Atlas e CMS

	ATLAS	CMS
Risoluzione Ecal+Hcal su pioni	$\frac{\sigma}{E} = \left(\frac{41.9\%}{\sqrt{E}} + 1.8\% \right) \oplus \frac{1.8}{E}$	$\frac{\sigma}{E} = \frac{127\%}{\sqrt{E}} \oplus 6.5\%$
Risoluzione Jet	$\sigma(E)/E = 54\% / \sqrt{E} + 1.3\%$	$\sigma(E_t)/E_t = 118\% / \sqrt{E_t} + 7\%$
Risoluzione tracciatore interno	$\sigma(pt)/pt = 1.8\% + 60\% pt$ (pt in Tev)	$\sigma(pt)/pt = 0.5\% + 15\% pt$ (pt in Tev)

- Data l'ottima risoluzione del calorimetro adronico, **in Atlas** i jet sono ricostruiti con **buona risoluzione** ancor **prima di applicare l'EF**.
- Date le risoluzioni di calorimetri e tracciatori nei due rivelatori, ci si aspetta che l'EF apporti **miglioramenti piu' evidenti per CMS** che per Atlas.

Le Implementazioni di EF in Atlas

EF prima, EF dopo la ricostruzione del Jet

In ATLAS ci sono 2 diversi approcci per l'utilizzo dell'energy flow (entrambi sotto sviluppo):

1. (Dan Tovey, [Workshop di ATLAS ad Atene](#))
 - Si ricostruiscono EFlowObjects a partire dalle tracce cariche e dai cluster calorimetrici
 - Gli EFlowObjects sono utilizzati come input dell'algoritmo di ricostruzione dei jet (sia esso Cono o KT)
2. (D. Froidevaux, P. Nevski, E. Richter-Was, [ATLAS Jet/Etmiss group](#)):
 - Si applicano tecniche Energy Flow ai jet già ricostruiti.

Premesse:

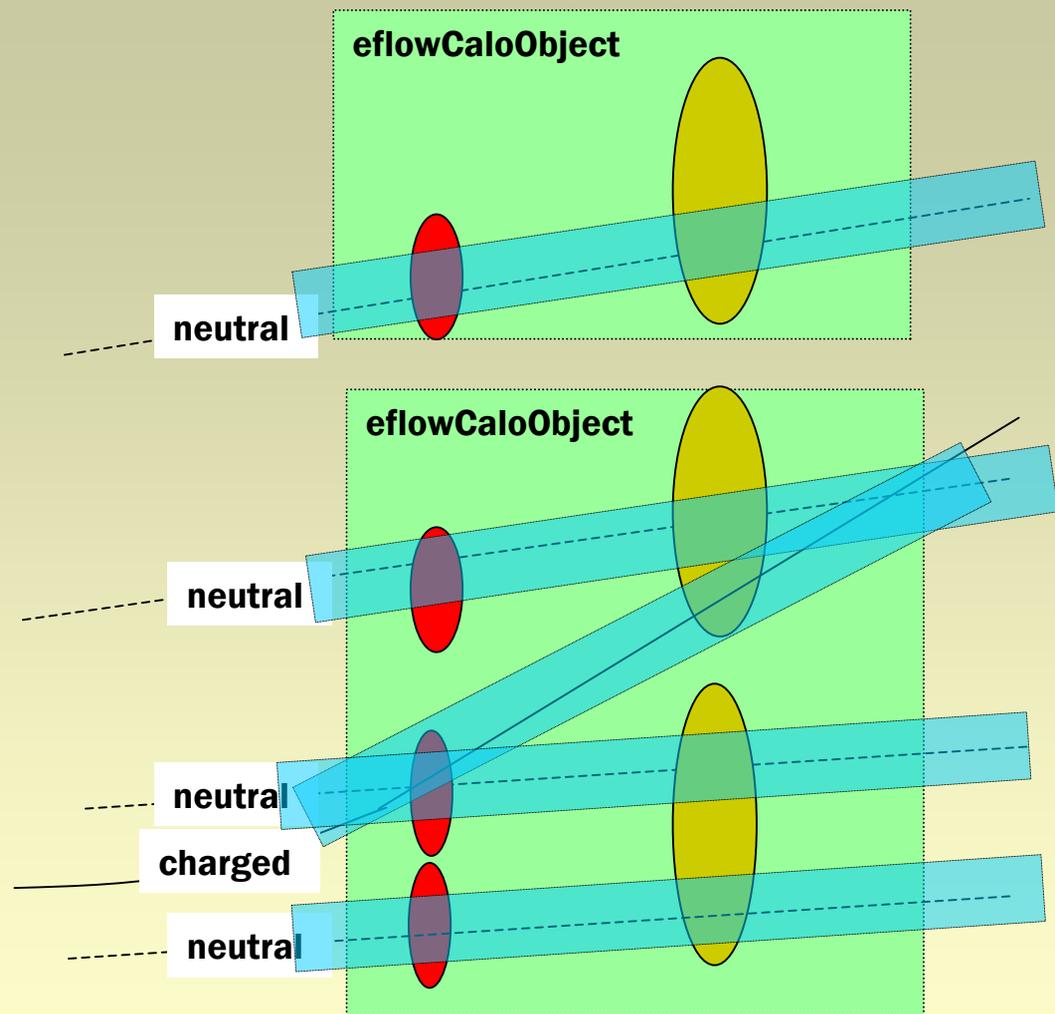
1. Problema comune dei due approcci è la **manca** di un'algoritmo di **clusterizzazione tridimensionale** (ora disponibile, nuovi risultati entro breve). I presenti risultati sono ottenuti con clusterizzazioni non ufficiali.
2. L'aggiunta delle tracce out-of-cone e' già implementata nell'algoritmo standard di ricostruzione dei jet.

Le Implementazioni di EF in Atlas

Approccio 1 (EF prima ricostruzione Jet) - algoritmo

Tracce e cluster calorimetrici vengono associati in η e ϕ , eventualmente considerando l'elice (per tracce cariche)

1. Ogni traccia carica (con i possibili cluster EM o HAD associati) determina un oggetto eflow. L'energia misurata dal tracciatore è "sostituita" a quella del cluster.
2. I rimanenti cluster EM (con i possibili cluster HAD associati) determinano altri oggetti eflow.
3. I rimanenti cluster HAD determinano altri oggetti eflow.
4. Gli oggetti eflow connessi tra loro formano un unico eflowCaloObject.



Le Implementazioni di EF in Atlas

Approccio 1 (EF prima ricostruzione Jet) - algoritmo

“Sostituzione” dell’energia misurata da Cal con quella stimata da Tk:

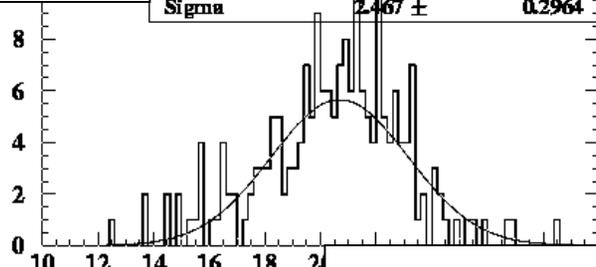
- Particle ID fatta sfruttando radiazione di transizione in TRT, shower shape nel LAr, muon ID.
- Il calcolo dell’energia attesa in ECal è fatto sfruttando un algoritmo di parametrizzazione veloce dello sviluppo degli sciami elettromagnetici (Fast Shower).
- Per i pioni carichi l’energia calorimetrica è stimata con FastShower in una finestra $\Delta\eta \cdot \Delta\phi = 0.075 \times 0.075$ (questo e’ solo un adattamento temporaneo, aspetto sicuramente migliorabile in futuro utilizzando algoritmo dedicato).
- Una volta stimato il rilascio di energia, il cluster è completamente rimosso dalla lista se il risultato è entro 1.3σ . Altrimenti e’ sottratta una quantità di energia pari al valore stimato.

Le Implementazioni di EF in Atlas

Approccio 1 (EF prima ricostruzione del Jet) - prestazioni

Algoritmo standard

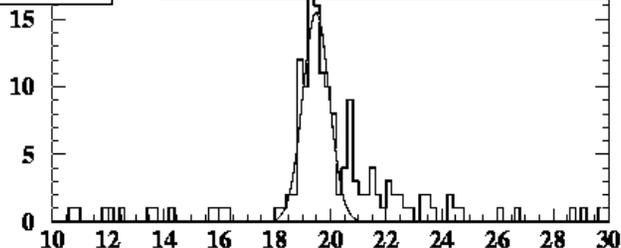
χ^2/ndf	36.35	/	52
Constant	$5.659 \pm$		0.7112
Mean	$20.69 \pm$		0.2215
Sigma	$2.467 \pm$		0.2964



20 GeV single π^-

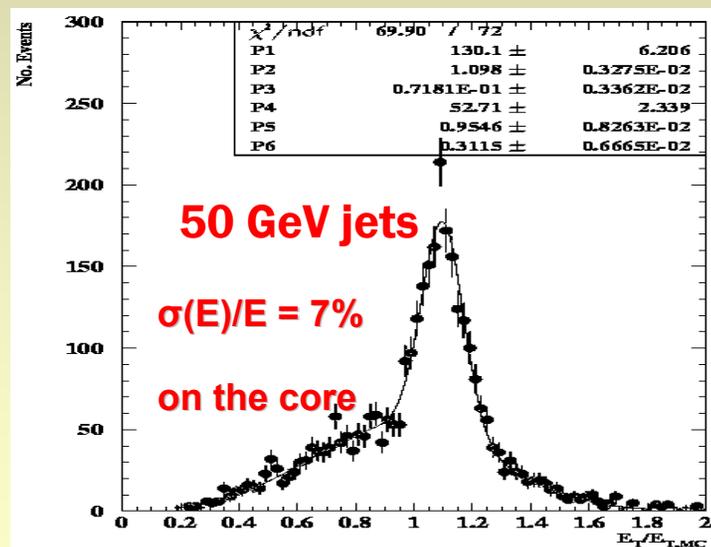
Energy Flow

χ^2/ndf	69.00	/	40
Constant	$15.50 \pm$		2.849
Mean	$19.48 \pm$		0.5660E-01
Sigma	$0.4739 \pm$		0.6450E-01



- Test su eventi singola particella per testare consistenza dell'implementazione dell'EF. Larghezze distribuzioni in accordo con risoluzioni dei calorimetri e del tracciatore.

- C'e' un miglioramento della risoluzione su **E del Jet** rispetto a valore TDR (da 8-9% a 7% @ 50 GeV), ma questo vale solo per una frazione degli eventi (le code della distribuzione non sono trascurabili)



Le Implementazioni di EF in Atlas

Approccio 2 (EF dopo ricostruzione del Jet) - algoritmo

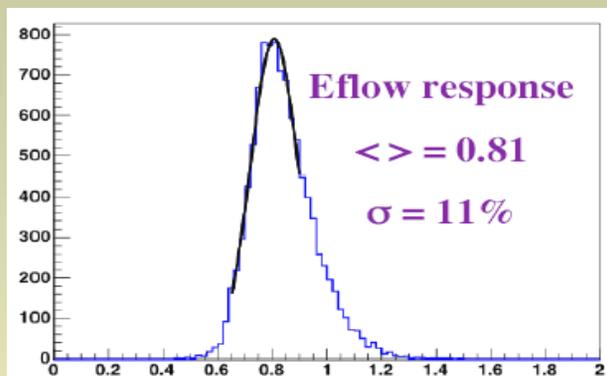
Energy flow applicato una volta che i jet sono stati ricostruiti con algoritmo a cono.

1. Si identificano i cluster EM (sopra soglia in E_t e che passano taglio di qualità em) tali che non sono presenti tracce ricostruite entro $\Delta R < 0.07$. Sono aggiunte le celle vicine ($\Delta R < 0.0375$) nei 3 segmenti longitudinali del calorimetro EM. Questi cluster sono etichettati come **cluster elettromagnetici EMCL**.
2. Si itera sulle tracce cariche. Le celle che sono entro $\Delta R < 0.0375$ (in tutti i sample calorimetrici) sono etichettate come **celle cariche CHR**G. Qui viene sostituita l'energia misurata nel tracciatore. Si fa uso di particle ID per distinguere tra adroni carichi ed elettroni.
3. Le rimanenti celle del jet sono etichettate come **celle neutre NEU**H.

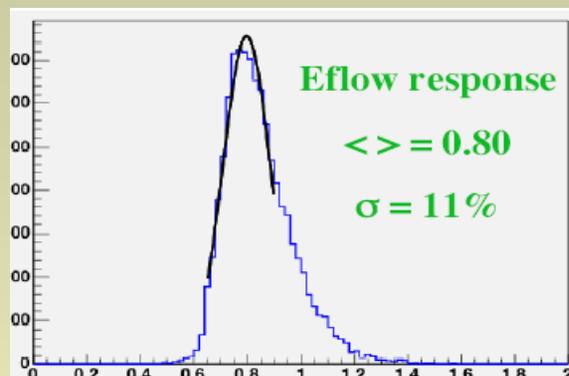
Le Implementazioni di EF in Atlas

Approccio 2 (EF dopo ricostruzione del Jet) - prestazioni

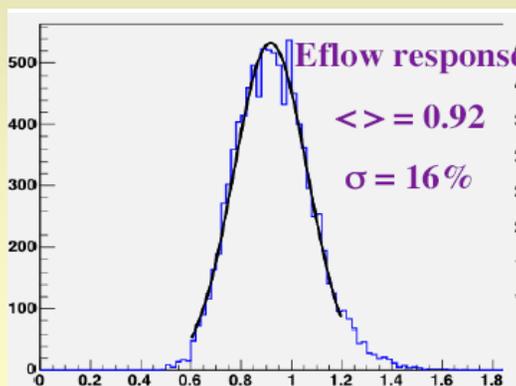
L'algoritmo è stato testato su triplette di particelle ($\pi^+ \pi^0 n$) arbitrariamente vicine in $\eta-\phi$. I risultati dipendono fortemente dalla distanza angolare tra le particelle.



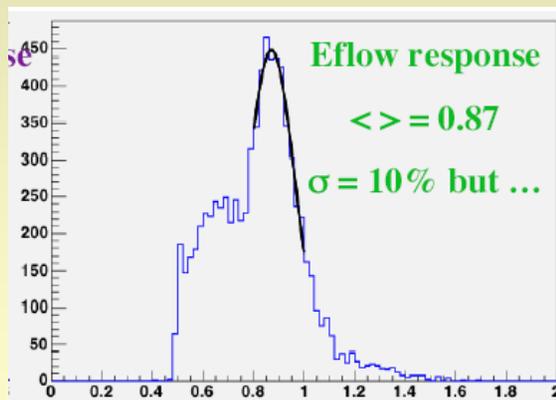
$\pi^+ \pi^0 n$ (5 GeV) con $\Delta R > 0.1$



$\pi^+ \pi^0 n$ (5 GeV) with $\Delta R = 0.1$



5 GeV $\pi^0 + 5$ GeV π^+
 $\Delta R = 0.07$



10 GeV $\pi^0 + 10$ GeV π^+
 $\Delta R = 0.05$

Effetto della sovrapposizione dei cluster:

Risultati stabili se $\Delta R > 0.1$, ma se le particelle sono più vicine angularmente la risoluzione degrada rapidamente. Si formano grosse code asimmetriche.

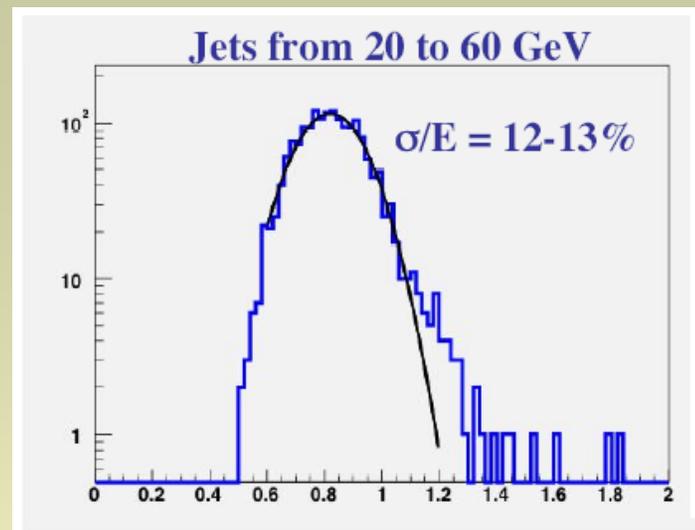
L'utilizzo della completa segmentazione (longitudinale e laterale) dei calorimetri migliorerà i risultati

Le Implementazioni di EF in Atlas

Approccio 2 (EF dopo ricostruzione del Jet) - prestazioni

E' stato applicato questo algoritmo in **full simulation**. La distribuzione finale ha andamento sufficientemente gaussiano.

Tuttavia, allo stato attuale, la risoluzione e' ancora da ottimizzare (12-13% rispetto 8-9% del TDR).



Le Implementazioni di EF in Atlas

Approccio 1 e 2 – confronto e previsioni

Per entrambi gli approcci:

- la risoluzione sui jet soffre ancora della **mancanza di un efficace algoritmo di clusterizzazione 3D**. Per entrambi gli approcci sono **previsti miglioramenti** una volta che verrà introdotta una strategia di **clustering** più raffinata **che sfrutti** pienamente la **segmentazione longitudinale** dei calorimetri di Atlas.
- Per entrambi gli approcci **non c'è un sostanziale miglioramento** rispetto alla già buona misura calorimetrica.

Il secondo studio ha messo in evidenza l'importanza che la sovrapposizione dei cluster riveste nell'efficacia dell'EF. Ancora una volta risulta fondamentale utilizzare la clusterizzazione 3D: **cluster sovrapposti in 2D potranno essere distinti con analisi 3D**.

Nuovi risultati con clustering 3D attesi a breve!



Implementazione di EF in CMS

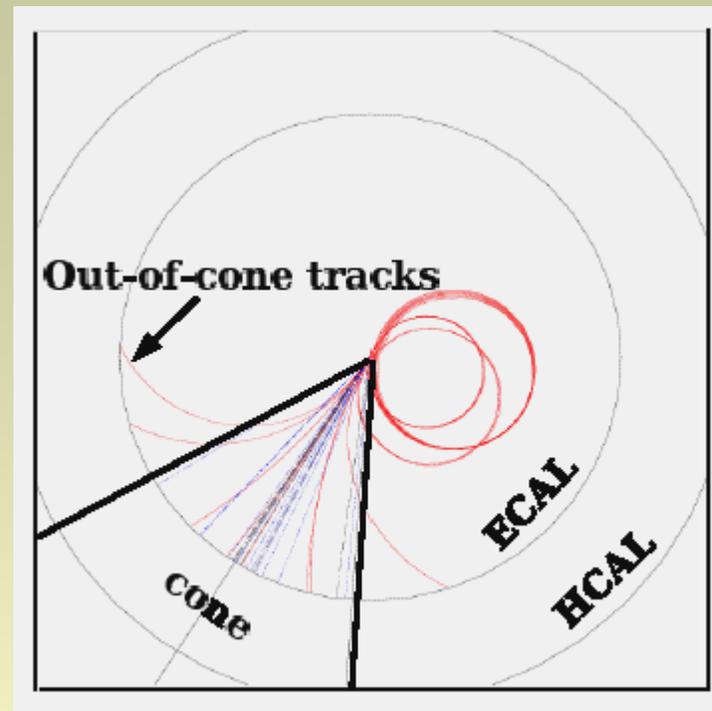
Correzione della jet energy con JetPlusTrack

L'algoritmo (**JetPlusTrack**) attualmente implementato in CMS applica le tecniche di EF per correggere i jet ricostruiti a partire dai soli depositi calorimetrici.

[O.Kodolova,I.Vardanian,A.Nikitenko,L.Fano,G.Bruno](#)

I jet di partenza sono ricostruiti tramite algoritmi a cono. L'apertura ΔR del cono e' un parametro fondamentale sia dell'algoritmo di jet finding, che dell'algoritmo di correzione.

Una versione (**JetPlusTrack 2**) piu' raffinata dello stesso algoritmo fa uso di due coni distinti per separare il contributo dei frammenti neutri da quello dei carichi [A.Santocchia,D.Spiga](#)



Implementazione di EF in CMS

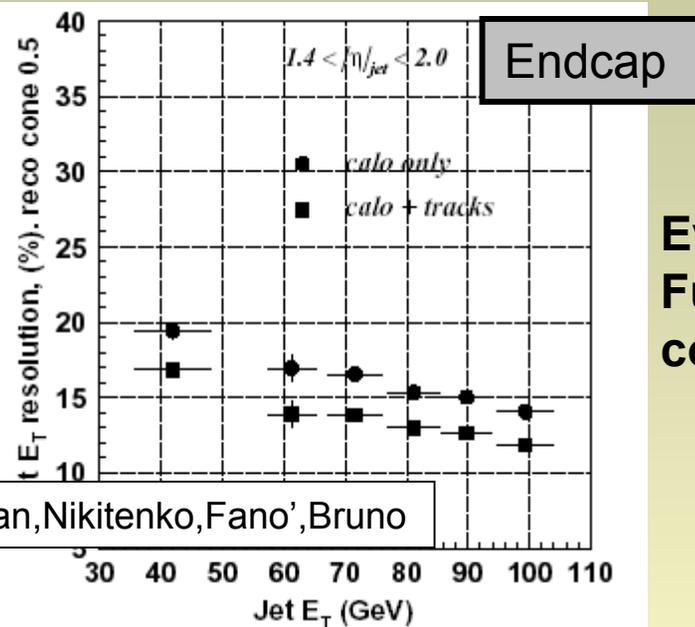
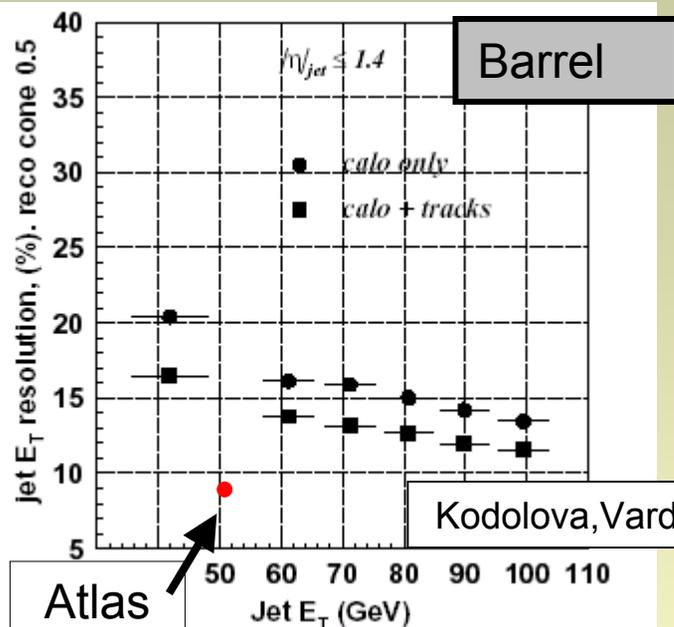
JetPlusTrack – l'algoritmo

1. Ricostruzione dei jet nei calorimetri utilizzando algoritmi a cono (semplici o iterativi).
2. Utilizzo dei pixel per la ricostruzione del PV e dei seed delle tracce.
3. Vengono selezionati solo i seed all'interno del cono di definizione del jet. A partire da questi, le tracce sono ricostruite nelle loro completezza in tutto il tracciatore.
4. La misura calorimetrica viene raffinata con le informazioni del tracciatore sia per tracce nel cono che fuori. Si sottrae la risposta del calorimetro attesa (per ora senza particle ID, tutte le particelle cariche sono considerate pioni).

Implementazione di EF in CMS

JetPlusTrack – le prestazioni

Effetto dell'EF sulla risoluzione di jet Et



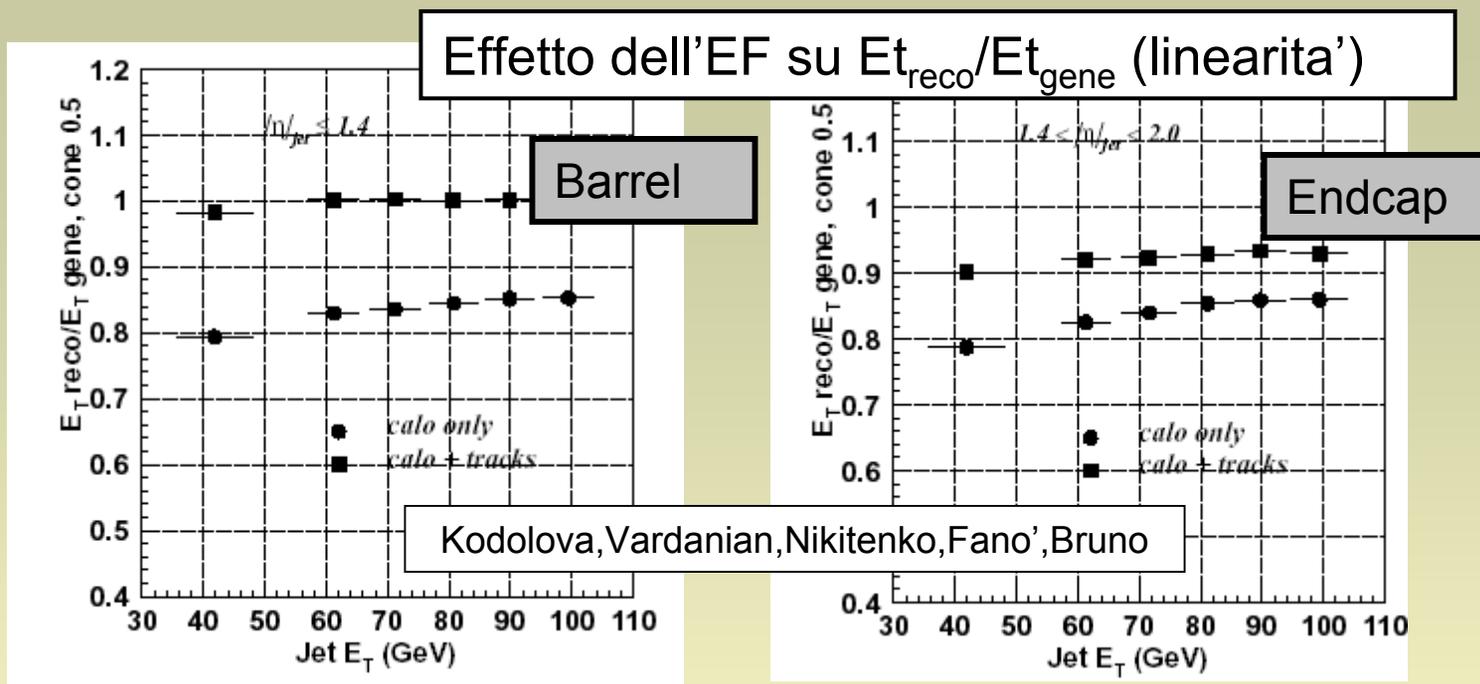
Kodolova, Vardanian, Nikitenko, Fano', Bruno

Eventi di-jet in Full-Simulation con PU LowL

- Miglioramenti paragonabili sia nel barrel che negli endcap: la risoluzione migliora del 25-14 % in funzione di Et del Jet
- Gli effetti maggiori si hanno per i jet meno energetici, cioè quelli meno collimati e quindi più sensibili ai problemi intrinseci del jetFinding.

Implementazione di EF in CMS

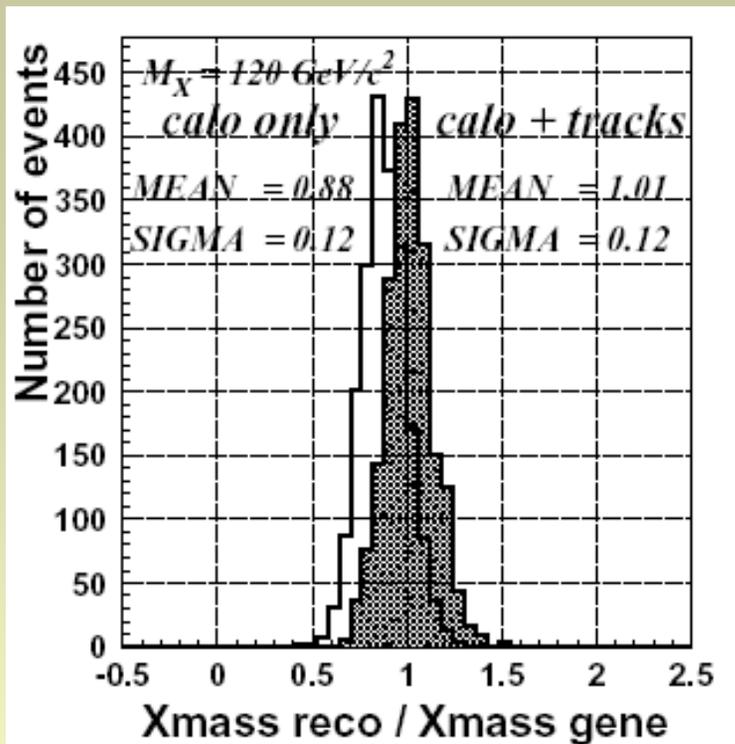
JetPlusTrack – le prestazioni



- La linearita' e' quasi completamente ristabilita nel barrel
- Negli endcap un miglioramento e' presente, ma inferiore a quello nel barrel:
 - minore efficienza di ricostruzione delle tracce

Implementazione di EF in CMS

JetPlusTrack – applicazione a ricostruzione massa $X \rightarrow jj$ ($120 \text{ GeV}/c^2$)



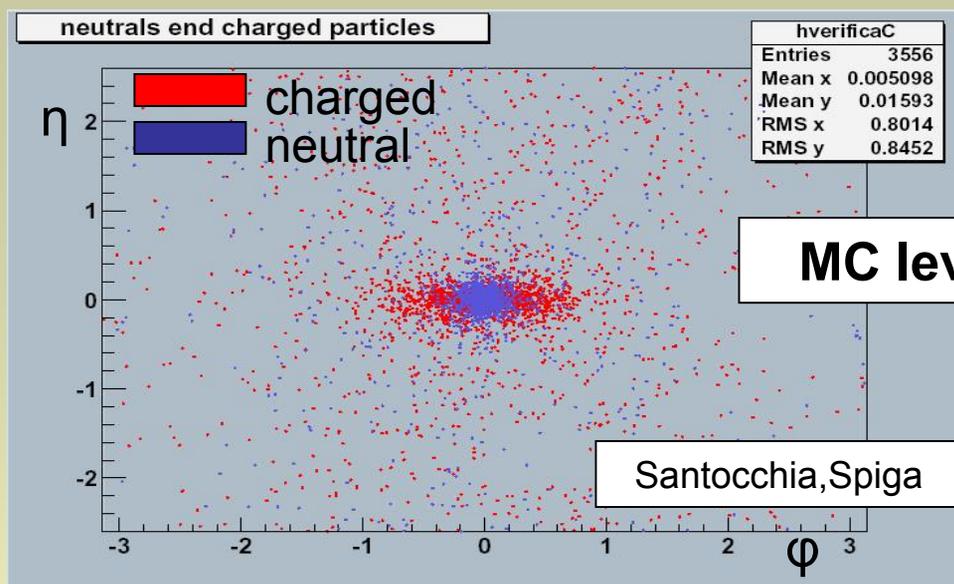
Kodolova, Vardanian, Nikitenko, Fano', Bruno

Full Simulation con PU per oggetto X di massa $120 \text{ GeV}/c^2$ che decade in 2 quark leggeri.

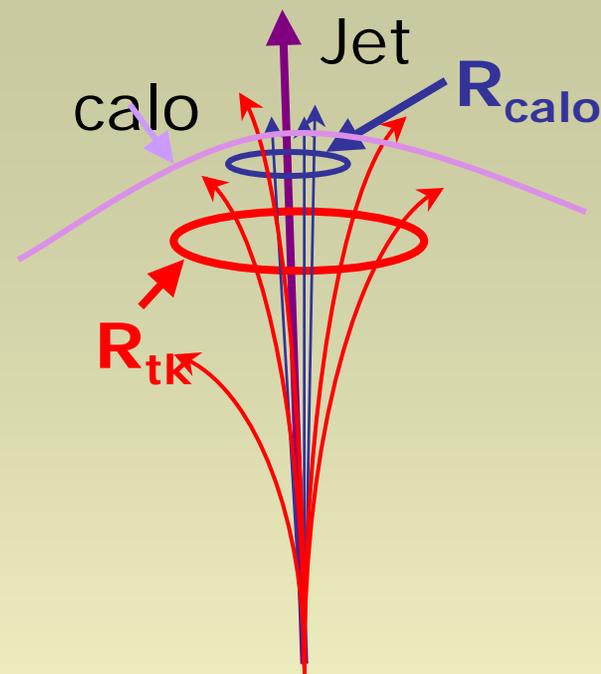
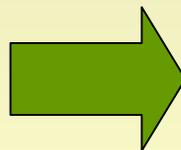
- L'applicazione dell'algoritmo di JetPlusTrack ristabilisce il rapporto tra la massa ricostruita e quella generata: si passa da $M_{\text{reco}}/M_{\text{gene}} = 0.88$ a $M_{\text{reco}}/M_{\text{gene}} = 1.01$
- La risoluzione migliora del 10% :
 $\sigma(M)/M = 13.6 \% \rightarrow \sigma(M)/M = 11.9 \%$

Implementazione di EF in CMS

JetPlusTrack 2 – l'algoritmo



1. Un piccolo cono e' sufficiente a raccogliere la maggior parte del contributo neutro all'energia del jet
2. Un cono piu' grande, indipendente, puo' essere specializzato alla sola raccolta dei frammenti carichi.



Algoritmo JetPlusTrack esteso con l'utilizzo di due coni separati

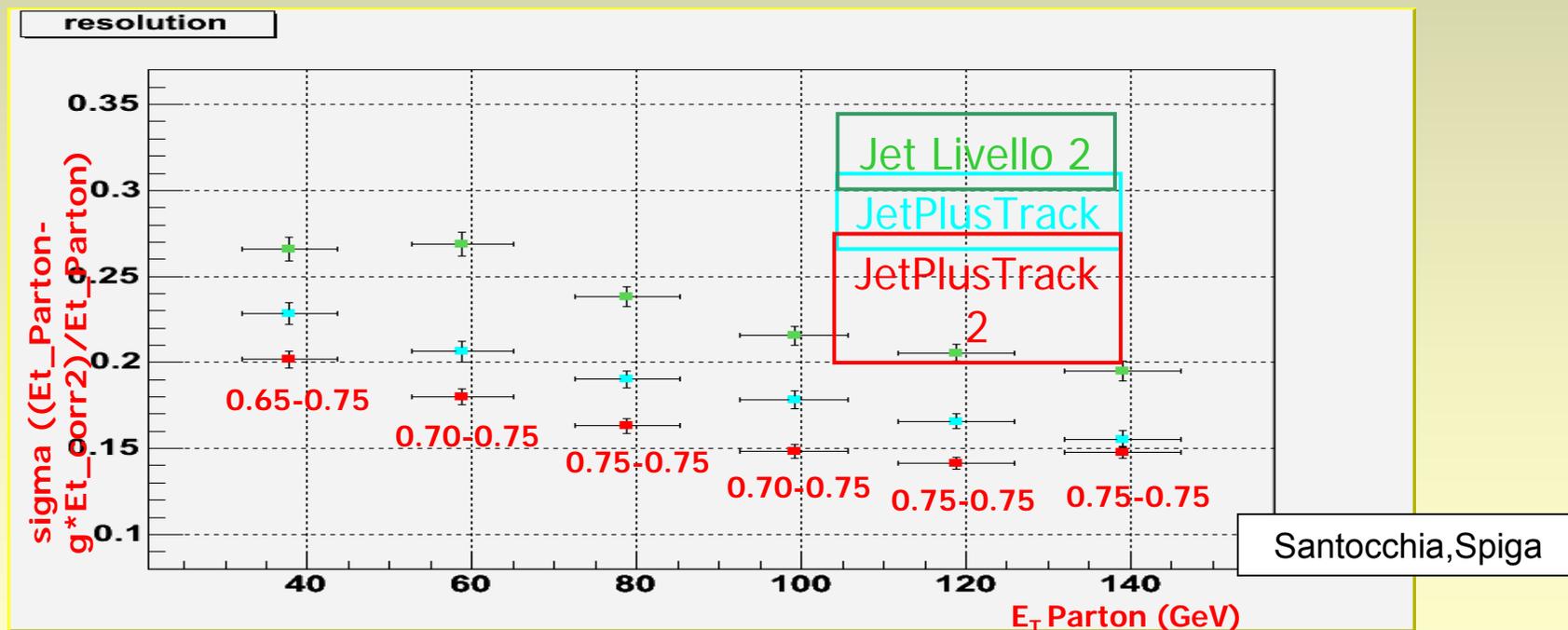
JetPlusTrack 2

Implementazione di EF in CMS

JetPlusTrack 2 - prestazioni

Utilizzando due coni distinti e' possibile

- ▶ Ridurre R_{calo} , in modo da avere una minore sovrapposizione con gli altri jet dell'evento e con i depositi dovuti al PileUp.
- ▶ Utilizzare R_{tk} piu' grande in modo da raccogliere ugualmente il contributo carico del jet.



Implementazione di EF in CMS

Stato attuale e previsioni

- I due algoritmi di EF implementati sono efficaci nel **miglioramento** sia della **risoluzione** che della **linearita'** della risposta alla Jet Et.
- Rimane ancora spazio per miglioramenti una volta che sara' implementata la particle ID.
- Una implementazione dell'EF che agisca prima del jetFinding (tipo l'Approccio1 di Atlas), permettera' di avere i vantaggi dell' EF uniti a quelli di un algoritmo di tipo k_t .



Applicazione di EF in Atlas e CMS

Conclusioni

- Atlas ha un ottimo calorimetro adronico che permette già una buona ricostruzione dei Jet. L'EF può servire soprattutto per jet soft, ma non sembra in modo significativo.

- E' stato dimostrato come sia importante la sovrapposizione dei cluster nella efficacia dell'EF. Si attendono i risultati ottenuti con clusterizzazione 3D.

- E' necessaria una parametrizzazione più realistica del rilascio di energia nei calorimetri da parte degli adroni.

- CMS parte da una ricostruzione calorimetrica dei jet meno buona e dispone di un tracciatore più performante. Gli effetti dell'applicazione dell'EF sono risultati significativi.

- Attualmente l'EF di CMS non fa uso di particle ID → margini di miglioramento delle prestazioni dell'EF.

	ATLAS	CMS
HCAL+ECAL (errore statistico)	41.9%/√E	127%/√E
TRACKER (μ 100 GeV)	60% pt (TeV)	15% pt (TeV)
Jet Singolo (σ/E , QCD 50 GeV)	"8-9% → 7%" Idealment e	17% → 12%
Massa Invariante (σ/E - Z' 120 GeV)	//	13.6% → 11.9%