

Studio delle performance dei nuovi algoritmi di jet in ATLAS

Paolo Francavilla

Società Italiana di Fisica
XCV Congresso Nazionale,
Sezione 1, Fisica Nucleare e Subnucleare
Bari, 29 Settembre 2009



UNIVERSITÀ DI PISA



Introduzione

Quark e gluoni sono confinati, lo stato finale è fatto da adroni

Un **jet di adroni** è il segno di **quarks e gluoni (partoni)** prodotti nello **processo duro**.

Le proprietà dei jet (energia, impulso) riflettono grossolanamente le proprietà dei partoni che hanno partecipato al processo duro.

Ma i jet hanno una sotto-struttura complessa, che va al di là delle proprietà dei partoni.

Da questo punto di vista, **i jets sono osservabili complesse di QCD**, progettate per riflettere i gradi di libertà dei processi che avvengono a piccolissima distanza (quarks, gluons, H, W, Z)

Come si misurano le proprietà dei jets?

Jets in ATLAS

Tracking:

Pixel+SiliconTracker+Transition Radiation

Copertura $|\eta| < 2.5$

$\sigma(p_T) = 0.05\% \cdot p_T(\text{GeV}) + 0.1\%$

EM Calorimeter:

LAr+Pb

Copertura $|\eta| < 3.2$

Segmentazione longitudinale 3 sez

Granularita' molto fine fino a $|\eta| < 2.5$

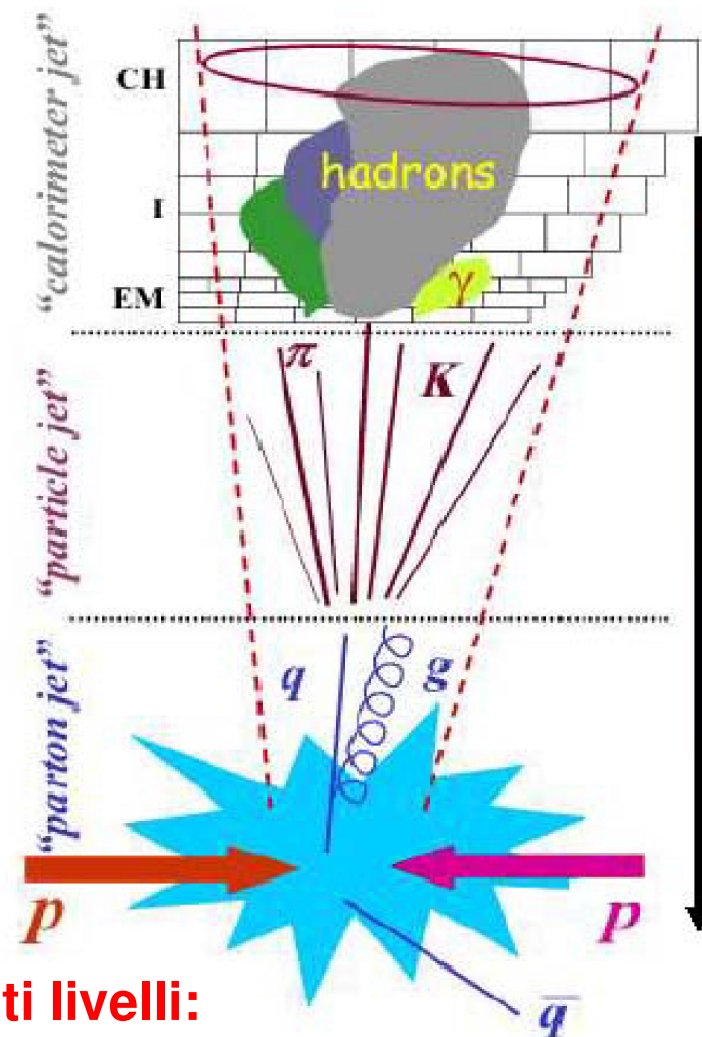
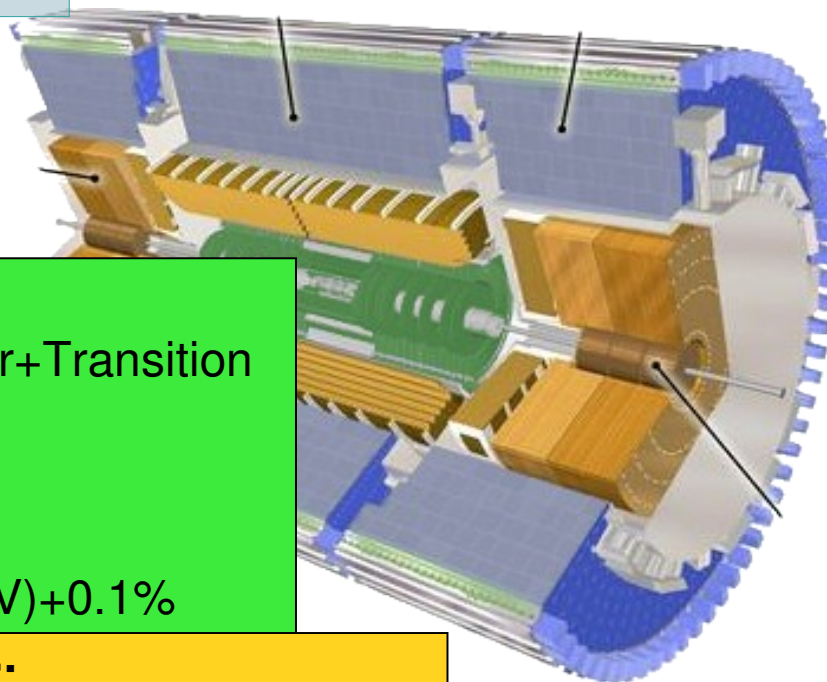
$\sigma(E_T)/E_T = 10\%/\sqrt{E_T(\text{GeV})} + 0.7\%$

Hadronic Calorimeter:

Tile+Ferro & LAr+Cu/W

Copertura $|\eta| < 3,2$

$\sigma(E_T)/E_T = 50\%/\sqrt{E_T(\text{GeV})} + 3\% \quad |\eta| < 2.5$



Differenti livelli:

Ricostruzione:

Jet calorimetrici e di tracce

Truth (jet di particelle):

Jet a livello adronico

Livello partonico (per calcoli perturbativi)

Algoritmi di jet

Il compito degli algoritmi di jet è quello di associare insieme oggetti seguendo una determinata regola.

Gli oggetti di partenza possono essere segnali calorimetrici (Reco Jets) o particelle generate da simulazioni Monte Carlo (Truth Jets)

Un jet è definito da un algoritmi di jet, Quali sono a disposizione?

■ Algoritmi di tipo “**Cono**”

Di solito provano a trovare regioni geometriche che massimizzano l'impulso degli oggetti elementari che giacciono in un determinato volume. Spesso non si ottengono coni perfetti).

Tradizionalmente usato in collisionatori adronici.

■ Algoritmi di tipo “**Ricombinazione Sequenziale**” (Ric.Seq.)

Di solito associano progressivamente coppie di oggetti elementari per arrivare a costruire jet (usando proprietà cinematiche o geometriche degli oggetti elementari stessi).

Usati con successo in e^+e^- ed e -p.

Qualche esempio

Algoritmi “storici” in ATLAS : **ATLAS-Cone** (Cono)
Kt (Ric.Seq. - Catani/Dokshitzer/Seymour/Webber – S.Ellis/Soper)

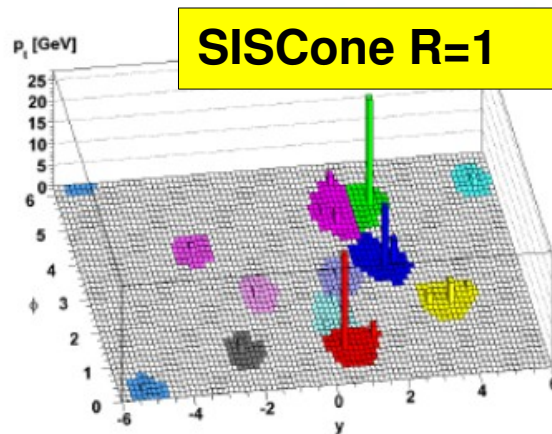
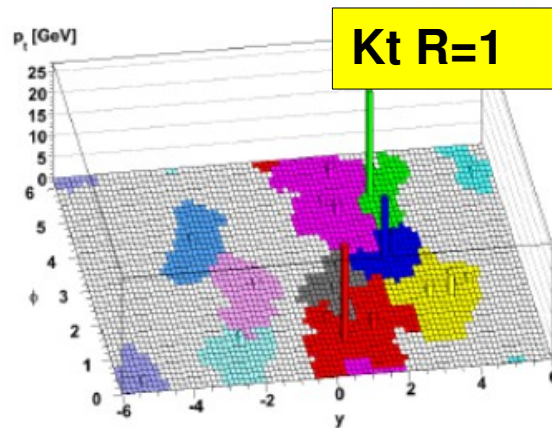
ATLAS-Cone: Un cono per ogni oggetto con P_T sopra soglia (*seed*)

Procedura iterativa per trovare il cono stabile.

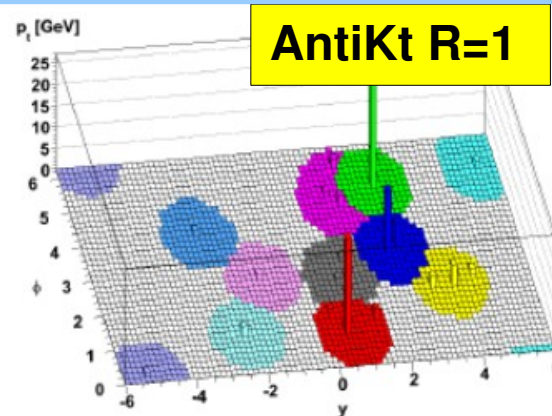
Sovrapposizioni tra i coni risolte con procedura di *Split/Merge*.

Problema: i seeds non permettono calcoli perturbativi a tutti gli ordini.

SISCone risolve questo problema cercando tutte le configurazioni stabili senza usare seeds, ma facendo scivolare un cono sul piano (y, ϕ) (*sliding window*).



Kt: Usa una metrica $d_{ij} = \min(k_{ti}^{2p}, k_{tj}^{2p}) \Delta R_{ij}^2 / R^2$ ($p=1$) per associare oggetti (i,j) con impulso trasverso relativo minore.



$$\Delta R_{ij}^2 = (y_i - y_j)^2 + (\phi_i - \phi_j)^2$$

La metrica può essere generalizzata al valore di $p = -1$ (**AntiKt**)

Nuovi algoritmi di jet

Negli ultimi anni nuovi algoritmi di jet sono stati sviluppati. I nuovi algoritmi superano i problemi degli algoritmi usati fino ad ora.

AntiKt (Cacciari, Salam & Soyez, '08 [+ Delsart non pubblicato]):

Kt e AntiKt hanno **differenti caratteristiche** per l'esponente p in d_{ij} .

L'associazione è guidata da P_T **alti pesati dalla distanza** $\Delta R_{ij}/R$.

d_{ij} è determinato solo dal P_T **maggiore tra gli oggetti i & j** , e da $\Delta R_{ij}/R$.

Oggetti soffici in un raggio R da quello ad alto P_T sono uniti a questo.

Se due jets duri sono vicini, l'energia è ripartita in base al rapporto ΔR_{ij} .

La forma di un jet non è determinata dalla radiazione soffice.

(~ cerchio intorno all'oggetto ad alto P_T).

SISCone (Salam & Soyez '07):

Usa una procedura di ottimizzazione delle *sliding windows* per trovare tutti i possibili coni stabili, senza bisogno di *seeds*, e poi usa la procedura di *Split/Merge* per risolvere le sovrapposizioni.

Questa soluzione risolve i problemi nell'applicare l'algoritmo di cono nel calcolo perturbativo.

Richieste Sperimentali

Gli eventi in ATLAS saranno complessi: molti jets, underlying event, pile-up, eventi con alta molteplicità di particelle.

Veloce per l'alta molteplicità (trigger, analisi ,etc...).

Devono estrarre la parte interessante (dura) dell'evento, **robusto in presenza di pile-up**.

Piccola sensibilità a effetti non perturbativi (frammentazione e underlying event)

L'algoritmo di jet dovrebbe facilitare la ricostruzione e la calibrazione dei jets:

Scala di energia dei jets, **risoluzione in energia e spaziale**, **efficienza** e **purezza**.

Piccole incertezze nella scala di energia dei jets, ottenibile velocemente con i primi dati.

Flessibilità per ottimizzare la scelta dell'algoritmo di jet a seconda dell'analisi:

1) **Fisica esotica**: alti P_T di-jets per nuove interazioni a corta distanza → grandi **R**

2) **Fisica del Top**: alta molteplicità di jet → piccoli **R**

3) **Higgs**: Jets di bassa energia, tagging di jet in avanti, veto dei jet centrali, b-jets,...

Gli algoritmi dovrebbero essere capaci di risolvere la sotto-struttura dei jet.

Ricostruzione di top, bosoni W/Z e di Higgs in un unico jet (*highly boosted jets*).

Gli algoritmi di clustering possono essere usati in modo naturale per questo compito.

Efficienza e Purezza

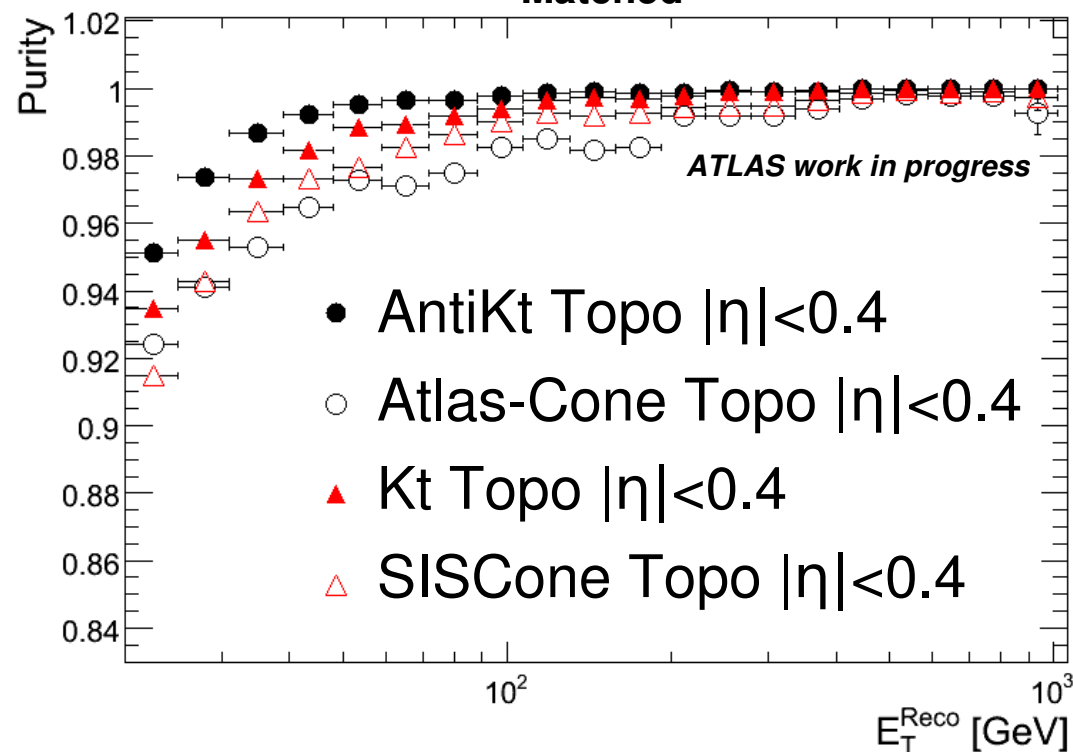
Campione di eventi: QCD di-jet
No Pile-up

Raggio del jet: $R=0.4$

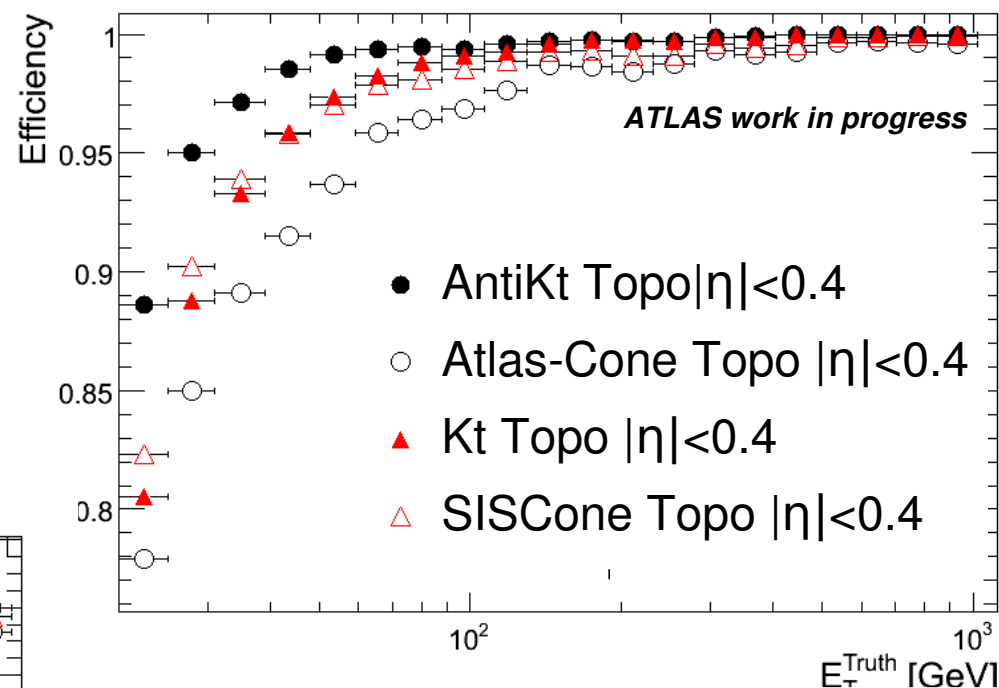
Input: segnali calorimetrici

ΔR Match= 0.2

$$\text{Purezza} = N_{\text{Matched}}^{\text{Reco}} / N^{\text{Reco}}$$



$$\text{Efficienza} = N_{\text{Matched}}^{\text{Truth}} / N^{\text{Truth}}$$



Studi simili fatti su altri campioni
W+Jets, Higgs, Top

Gli **algoritmi a cluster** hanno una **migliore efficienza e purezza** nella ricostruzione, dovuta alla **stabilità** nel clustering della **parte soffice** degli oggetti, **importante a bassi E_T** .

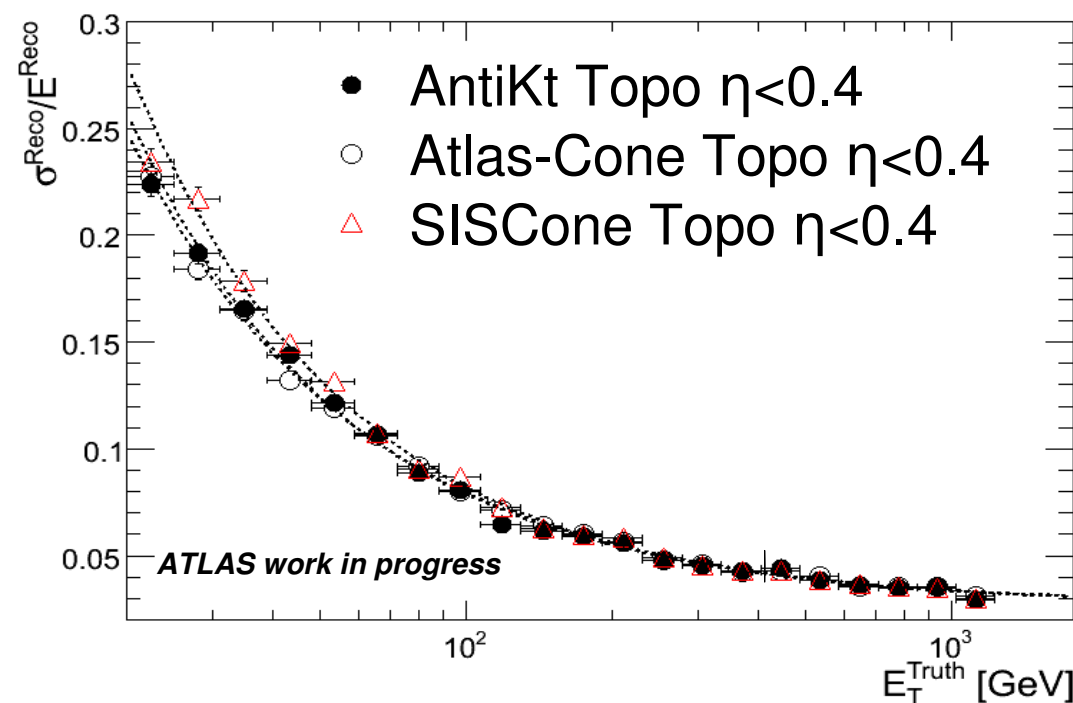
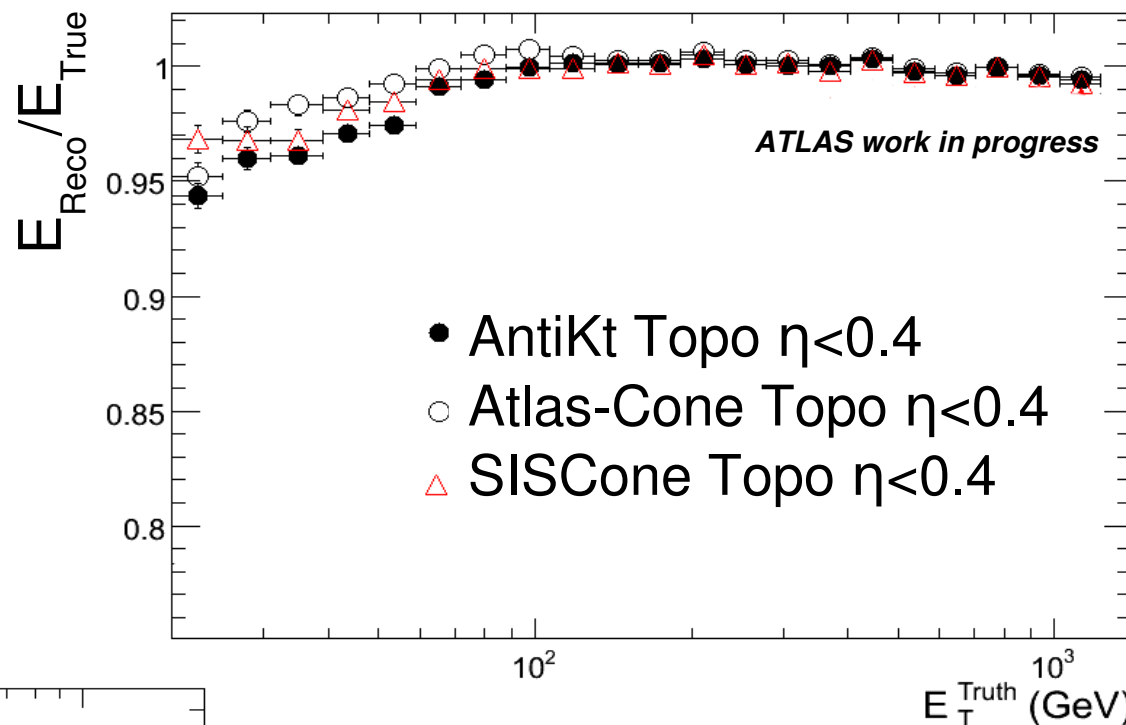
Linearita' e Risoluzione

Calibrazione basata su pesi da applicare alle celle calorimetriche
Derivate per l'**ATLAS-Cone**

Raggio del jet: $R=0.4$

Input: segnali calorimetrici

ΔR Match= 0.2



Gli algoritmi di jet mostrano una simile linearità e risoluzione in energia.

Risultati simili per la risoluzione spaziale

Timing:

AntiKt e il Kt sono risultati i più veloci, mentre il SIScone sembra richiedere maggiore tempo di computazione.

Trigger:

L'AntiKt ha mostrato una più alta efficienza di trigger (soprattutto nella regione $E_T < 100$ GeV)

PileUp: Molti studi sull'effetto del pile-up sono stati condotti.

Le conclusioni generali sono che l'ATLAS-Cone è il più sensibile al pile-up, quindi è sfavorito rispetto agli altri.

La molteplicità di jets nel caso dell'AntiKt e del Kt è più stabile.

In presenza di pile-up, l'AntiKt ha una più alta efficienza di ricostruzione.

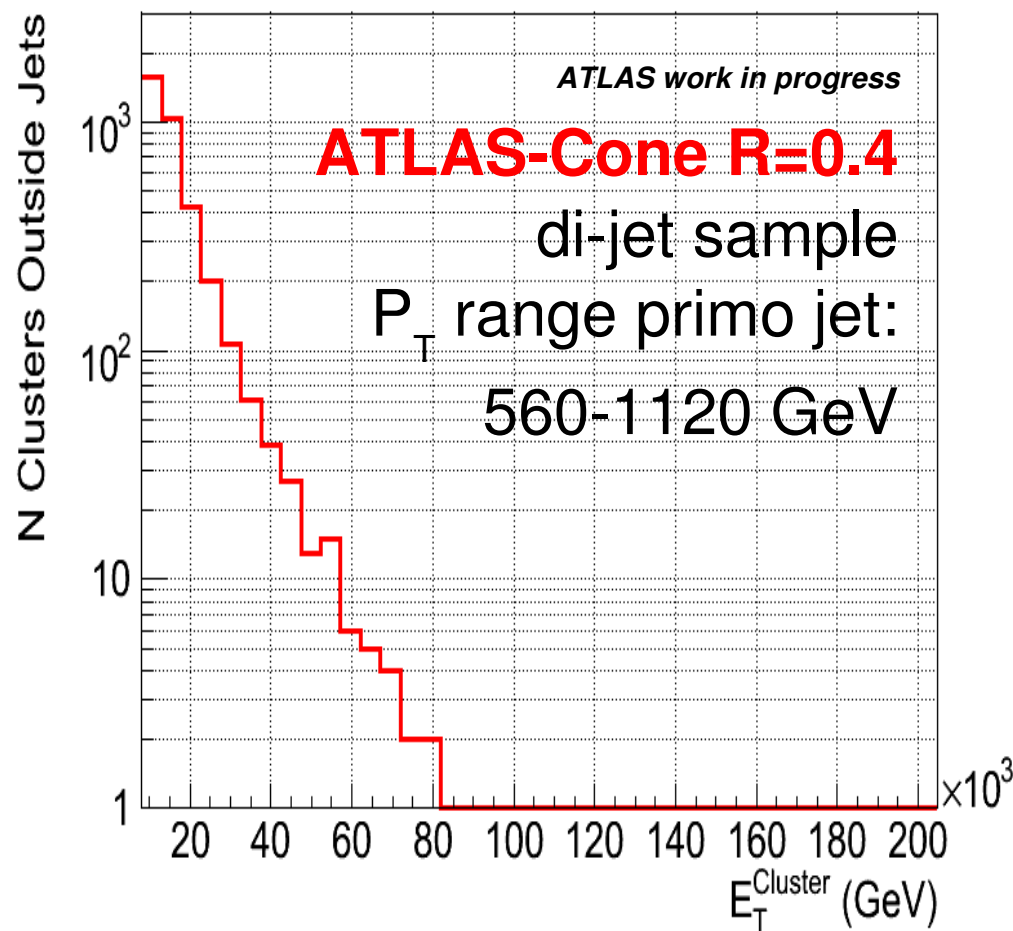
Confrontando l'impatto che il pile-up dà alla misura del P_T dei jet,

il SIScone sembra avere una crescita minore della risposta in energia al crescere del pile-up.

Dark towers

Studio dei depositi energetici calorimetrici localizzati (clusters) lasciati fuori dai jets con $E_T > 10$ GeV.

Selezionati i cluster con $E_T > 10$ GeV. Tutti questi cluster dovrebbero appartenere ad un jet.



Per **Kt, AntiKt, and SIScone** questo è vero (nessun cluster trovato con $E_T > 10$ GeV).

Per l'**ATLAS-Cone**, $R=0.4$ abbiamo clusters(fino a $E_T \sim 70$ GeV).
 $\sim 1/3$ degli eventi con P_T del primo jet (piu' alto P_T) tra circa 500-1000 GeV

ATLAS-Cone $R=0.7$: risultati simili

Fenomeno dovuto ai *seeds* e alle iterazioni nel trovare le configurazioni stabili

Richieste teoriche

Vogliamo connettere quello che misuriamo con i gradi di libertà fondamentali del nostro modello (misura delle PDF, masse del Top, W, H? ...).

(Di solito) questo richiede un confronto con lo stato dell'arte della teoria, quindi il nostro algoritmo di jet deve poter essere usato nella teoria/modello.

Infrared Safety? Aggiungendo un gluone arbitrariamente soffice, la configurazione dei jet non deve cambiare.

Collinear Safety? Dividendo un partone in una coppia collineare, la configurazione dei jet non deve cambiare.

Infrared/collinear-safety negli algoritmi di jet è necessaria per permettere calcoli agli ordini perturbativi maggiori.

Among consequences of IR unsafety:

CTEQ school-MCnet 2008 - Gavin Salam

	<i>Last meaningful order</i>			Known at
	JetClu, ATLAS cone [IC-SM]	MidPoint [IC _{mp} -SM]	CMS it. cone [IC-PR]	
Inclusive jets	LO	NLO	NLO	NLO ($\rightarrow$ NNLO)
$W/Z + 1$ jet	LO	NLO	NLO	NLO
3 jets	none	LO	LO	NLO [nlojet++]
$W/Z + 2$ jets	none	LO	LO	NLO [MCFM]
m_{jet} in $2j + X$	none	none	none	LO

Conclusioni

- **ATLAS Cone** non è infrared/collinear-safe, sensibile al pile-up e lascia energia in dark towers.
- **SISCone, AntiKt e Kt** hanno una migliore efficienza e purezza. Sono più robusti sotto pile-up e non hanno problemi di dark towers.
- L'algoritmo **AntiKt** produce jets più simili a coni.
Piu' semplice da capire sperimentalmente.

AntiKt è stato recentemente scelto come default in ATLAS. Questo significa che molti degli sforzi nel primo periodo di presa dati, per comprendere i jet e la loro calibrazioni, saranno spesi lavorando su questo algoritmo.

Rimane sempre la possibilità di utilizzare il miglior algoritmo di jet a seconda del tipo di analisi e di fisica che viene studiato dai vari gruppi.

Ringraziamenti

J. Butterworth, M. Cacciari, M. Campanelli, T. Carli, M. Cascella,
P.A. Delsart, V. Giangiobbe, J. Huston, I. Jen-La Plante, P. Loch, K.
Lohwasser, S. Majewski, B. Martin, D. Miller, J. Proudfoot, G. Salam,
M. Seymour, I. Vivarelli, Z. Zenonos