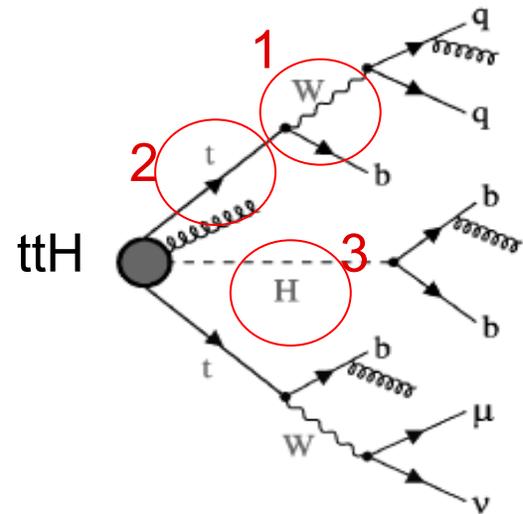


# Jet/Parton Matching (parte II)

Daniele Benedetti, Andrea Giammanco

- Eventi ad alta molteplicità
- Dai partoni ai jet (esempio di un listato di Pythia)
- Possibili tecniche di associazione jet-partone
- Alcuni risultati per  $t\bar{T}$  e  $t\bar{t}H$  (da 2 a 8 jet nello stato finale)

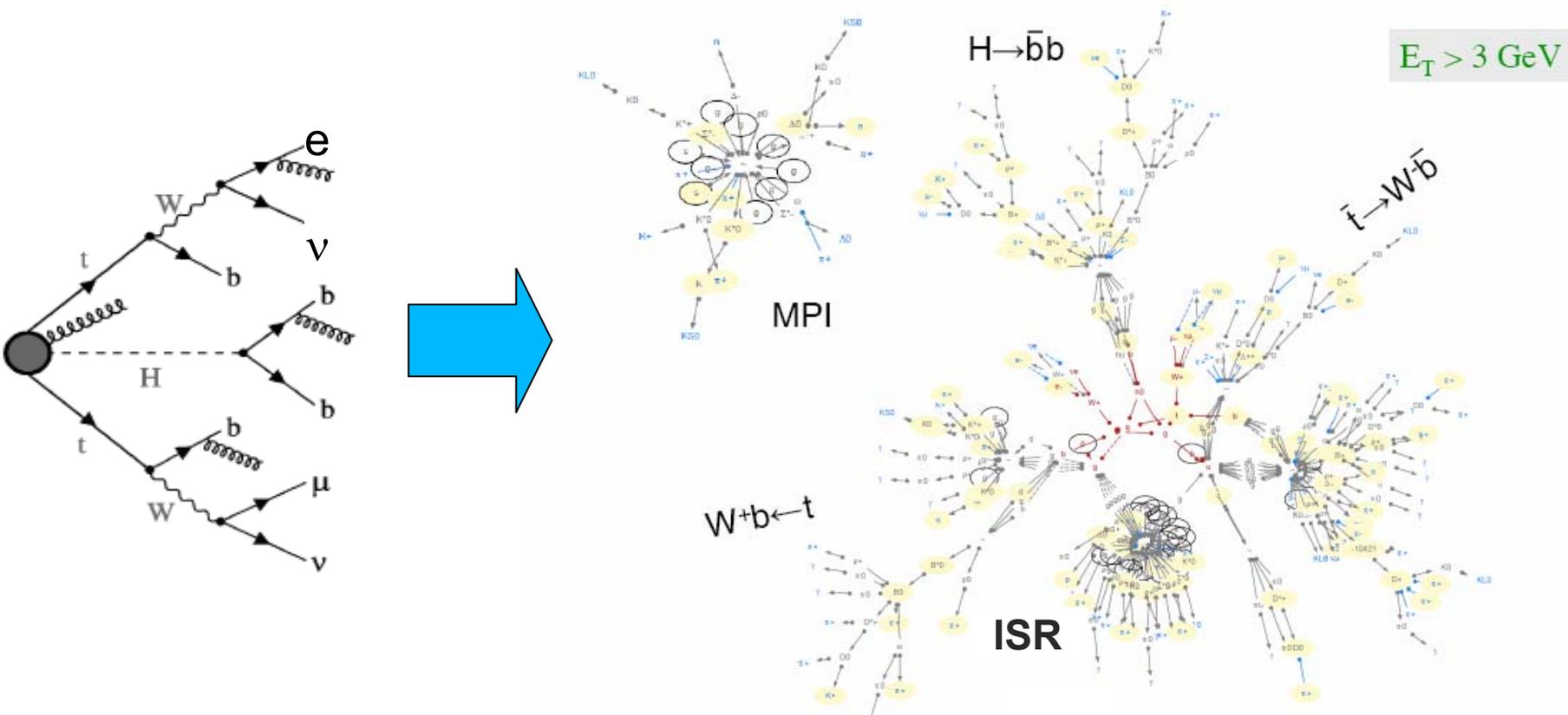


In molti casi nella ricostruzione di un evento siamo interessati alle masse invarianti.  
Nel canale  $ttH$  ad esempio:

1. ricostruzione dei  $W$
2. ricostruzione dei top
3. con i jet rimanenti: ricostruzione di massa Higgs

La massa invariante ricostruita è tanto più vicina alla massa nominale tanto più è minimizzata la distanza (energetica ed angolare) dei jet rispetto ai partoni corrispondenti.

In questo mondo ideale, ci aspettiamo che il  $W \rightarrow qq$  dia origine a 2 jet, il top a 3 jet etc. Eventi che non seguono questa logica generalmente vengono rigettati nelle analisi. Come abbiamo visto (talk di Andrea) Multiple parton interactions, ISR, FSR, PU, etc ci allontanano da questo mondo ideale.



1. Come associare i jet ai partoni dello stato finale?
2. **Quant'è l'efficienza di ricostruzione di un evento a n partoni nello stato finale?**
3. **Quale algoritmo di jet clustering fornisce l'efficienza più alta? Quali parametri?**

protoni iniziali

partoni dell'interazione dura + ISR

evento desiderato (ex: tt)  
e stato finale prescelto  
(ex:  $t \rightarrow W \rightarrow l\nu$  and  $t \rightarrow W \rightarrow qq$ )

partoni dello stato finale + FSR: showering

frammentazione: stringhe

mesoni, barioni leptoni finali

algoritmi di ricostruzione: jets, leptoni etc

Più partoni possono dare origine alla stessa stringa

una stringa  $\rightarrow$  n jet  
n stringhe  $\rightarrow$  1 jet

Seguendo il listato di pythia non si trova una corrispondenza biunivoca tra jet e partoni dello stato finale

# ...un esempio.

i	part	Name	Isthep	m1	M2	D1	d2	px	py	pz	E	m
0	2212	proton	3	-1	-1	-1	-1	0	0	7000	7000	0,94
1	2212	proton	3	-1	-1	-1	-1	0	0	-7000	7000	0,94
2	21	g	3	0	-1	-1	-1	0,02	0,04	162,9	162,9	0
3	2	u	3	1	-1	-1	-1	0,16	-0,54	-3202,62	3202,62	0
4	21	g	3	2	-1	-1	-1	0,2	14,28	87,85	89,01	0
5	21	g	3	3	-1	-1	-1	-21,45	-17,27	-933,09	933,5	0
6	6	t	3	4	5	-1	-1	74,18	-72,67	-305,09	367,41	176,42
7	-6	t_bar	3	4	5	-1	-1	-128,4	105,45	-368,51	440,11	174,03
8	25	h0	3	4	5	-1	-1	32,96	-35,76	-171,63	214,99	119,99
9	24	W+	3	6	-1	-1	-1	95,14	-77,25	-147,82	208,61	81,53
10	5	b	3	6	-1	-1	-1	-20,96	4,58	-157,27	158,8	4,62
11	-1	d_bar	3	9	-1	-1	-1	58,79	-57,55	-145,59	167,22	0,33
12	2	u	3	9	-1	-1	-1	36,15	-19,55	-2,11	41,15	0,33
13	-24	W-	3	7	-1	-1	-1	-28,16	-9,75	-163,05	184,07	80,06
14	-5	b_bar	3	7	-1	-1	-1	-100,24	115,2	-205,47	256,04	4,62
15	1	d	3	13	-1	-1	-1	-36	-39,74	-113,75	125,75	0,33
16	-2	u_bar	3	13	-1	-1	-1	7,78	30,15	-49,17	58,2	0,33
17	5	b	3	8	-1	-1	-1	-21,01	26,09	-12,82	36,16	4,62
18	-5	b_bar	3	8	-1	-1	-1	53,97	-61,85	-158,81	178,83	4,62
61	2	u	2	12	-1	240	240	4,27	-6,82	4,24	9,11	0,33
62	21	g	2	12	-1	240	240	12,34	-4,73	-5,47	14,3	0
63	21	g	2	12	-1	240	240	6,71	-2,61	-5,35	8,97	0
64	21	g	2	12	-1	240	240	8,6	-5,38	-7,82	12,81	0
65	21	g	2	11	-1	240	240	3,19	-2,93	-3,46	5,54	0
66	-1	d_bar	2	11	-1	240	240	14,09	-7,52	-8,18	17,95	0,33
240	92	string	2	61	66	241	252	49,21	-29,99	-26,04	68,69	26,8

I due partoni del W danno origine alla stessa stringa

Può dare origine a 0,1,2,3 ... jet

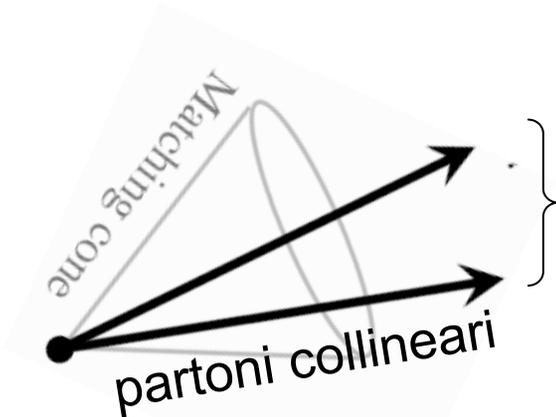
necessità di trovare un metodo di associazione tra partoni e jet

# Associare partoni e jet minimizzando $\Delta R$

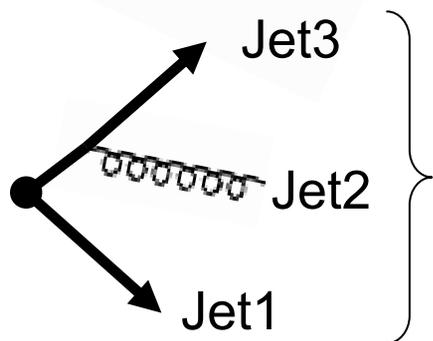
L'associazione dei jet ai partoni viene generalmente effettuata minimizzando la distanza angolare (come in calibrazioni MC):

$$\Delta R_{par-jet} = \sqrt{(\Delta\eta_{par-jet})^2 + (\Delta\phi_{par-jet})^2}$$

Soprattutto in stati finali con molti partoni possono nascere diverse ambiguità:



Un jet ricostruito ... quale partone??



Tre jet: jet2 e jet3 entrambi "vicini al partone"

..solo alcuni esempi...

## Come associare n jet a m partoni

### Metodo 1

	j1	j2	j3	j4	j5j	j6	...	jN
p1	R11	R12	R13	R14	R15	R16	...	R1N
p2	R21	R22	R23	R24	R25	R26	...	R2N
p3	R31	R32	<del>R33</del>	R34	R35	R36	...	R3N
...								
...								
p6								

1. Trovo per ogni riga il  $\Delta R$  minimo (ex per p1 R13)
2. Un jet può essere associato a più partoni (ex p3 R33)
3. Risolvere l'ambiguità: distanza minima (ex R13)
4. Trovare un altro jet associato al partone p3 (ex nuovo jet R31)
5. Iterare il processo finché ogni jet è associato ad un partone

### Metodo 2: $\chi^2$ globale

	j1	j2	j3	j4	j5j	j6	...	jN
p1	R11	R12	R13	R14	R15	R16	...	R1N
p2	R21	R22	R23	R24	R25	R26	...	R2N
p3	R31	R32	R33	R34	R35	R36	...	R3N
...								
...								
p6								

1. Calcolare:

$$\Delta R_{\text{sum}} = R_{1i}^2 + R_{2j}^2 + R_{3k}^2 + R_{4m}^2 + R_{5n}^2 + R_{6l}^2$$

with  $1 < i \neq j \neq k \neq m \neq n \neq l < N_{\text{jet}}$

2. Minimizzare  $\Delta R_{\text{sum}}$

6 jets = 720 combinazioni

16 jets = 5.765.760 combinazioni

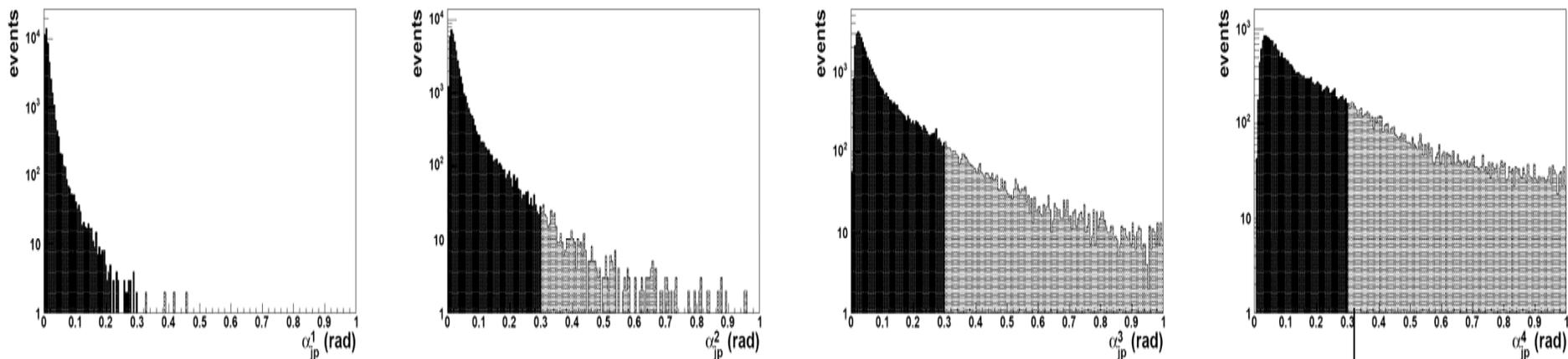
**Richiede molto più tempo di cpu**

- Studio di ricostruzione a livello MC di eventi a 2,4,6,8 partoni nello stato finale (no interazione particelle rivelatore, no campo magnetico, no PU).  
[D. Benedetti, A Giammanco, J. Heyninck, A. Schmidt]
  - Eventi tT (2,4 jets) PYTHIA 6.2
  - Eventi ttH (6,8 jets) compHEP 41.10 + PYTHIA 6.215
- Definire dei “criteri di qualità”:
  - efficienza di selezione  $N_{\text{Jet}} \geq N_{\text{par}}$
  - $\alpha_{\text{par-jet}} \text{ max} =$  distanza angolare fra jet e partone
  - $\beta_{\text{par-jet}} \text{ max} =$  distanza energetica fra jet e partone
  - FracGood = combinazione di  $\alpha_{\text{par-jet}}$  e  $\beta_{\text{par-jet}}$  e efficienza di selezione
- Dare una stima di efficienza di avere eventi ben ricostruibili variando l’algoritmo ( e i parametri) di ricostruzione dei jet

# Esempio: Associazione Angolare per tT semileptonico

- 4 partoni nella stato finale **CON ISR + FSR**
- Almeno 4 jet ( $E_T > 20$  GeV,  $|\eta| < 2.4$ ) ricostruiti nell'evento.

Le distanze di associazione vengono ordinate dalla migliore alla peggiore:



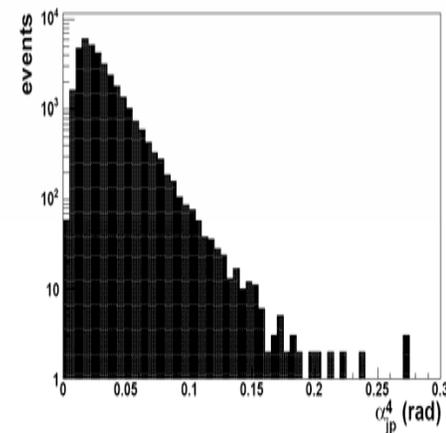
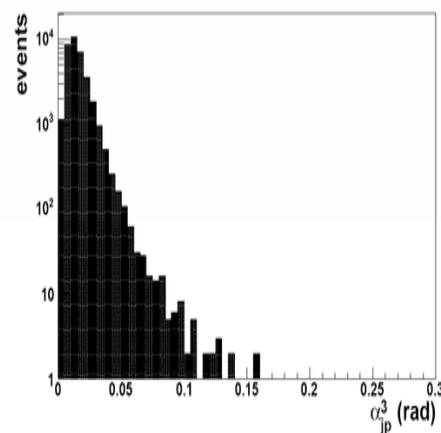
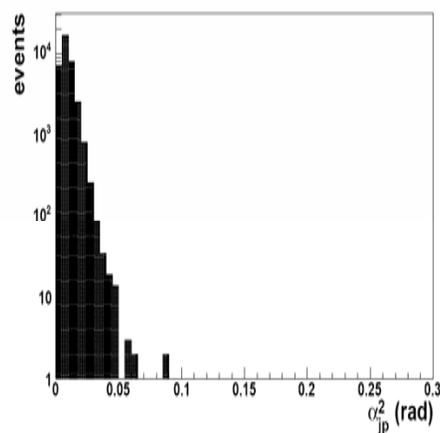
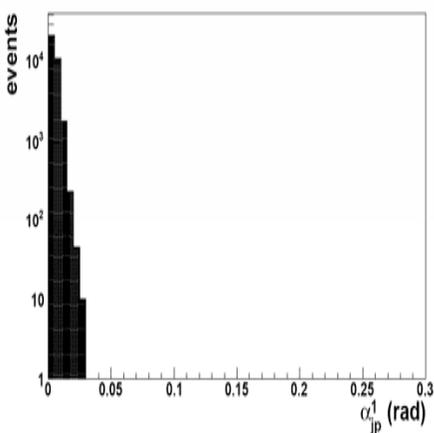
Solo in una parte degli eventi troviamo almeno 4 jet associati ai partoni entro una distanza di  $\Delta R < 0.3$

Quale distanza scegliere per buona/cattiva associazione?  
 Generalmente  $\Delta R_{\text{par-jet}} < 0.3$

# Esempio: Associazione Angolare per tT semileptonico

- 4 partoni nella stato finale **NO ISR FSR (MSTP 61 e 71 = 0)**
- Almeno 4 jet ( $E_T > 20$  GeV,  $|\eta| < 2.4$ ) ricostruiti nell'evento.

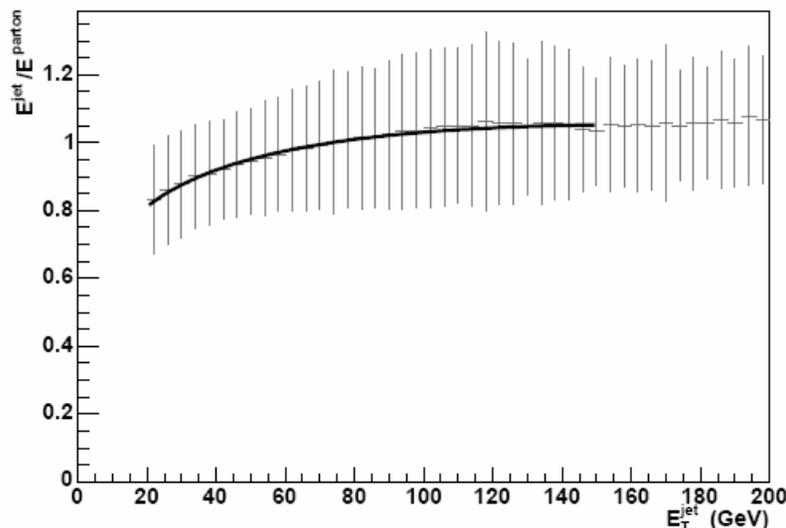
Le distanze di associazione vengono ordinate dalla migliore alla peggiore:



Tutti gli eventi che hanno almeno 4 jet risultano ben associati ai partoni ( $\Delta R < 0.3$ ).

Questo non significa che l'efficienza è il 100% perché ancora possono esserci partoni collineari o molto soffici: questi eventi vengono rigettati dalla richiesta di almeno 4 jet (no extra jet senza ISR and FSR?)

Oltre alla vicinanza angolare, è importante che il jet sia vicino anche dal punto di vista energetico al partone.

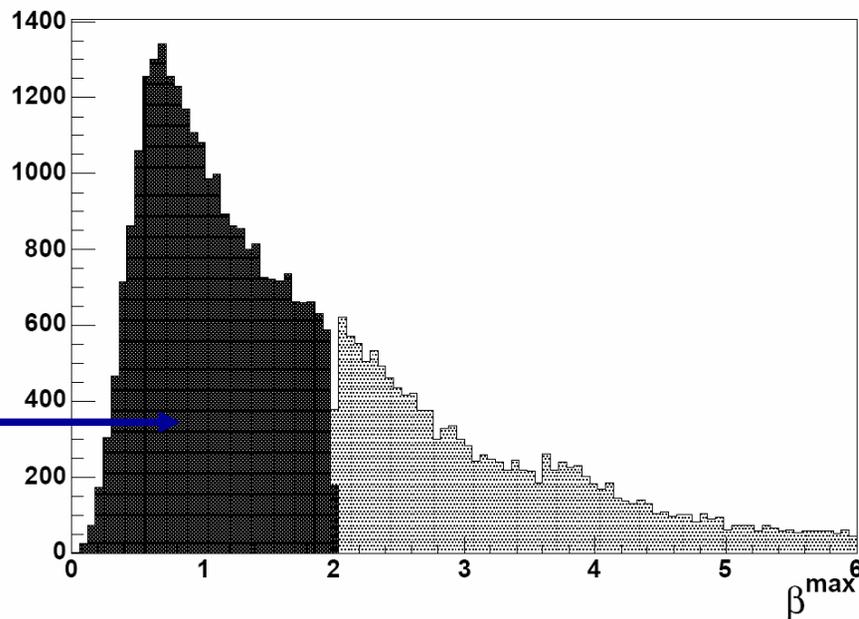


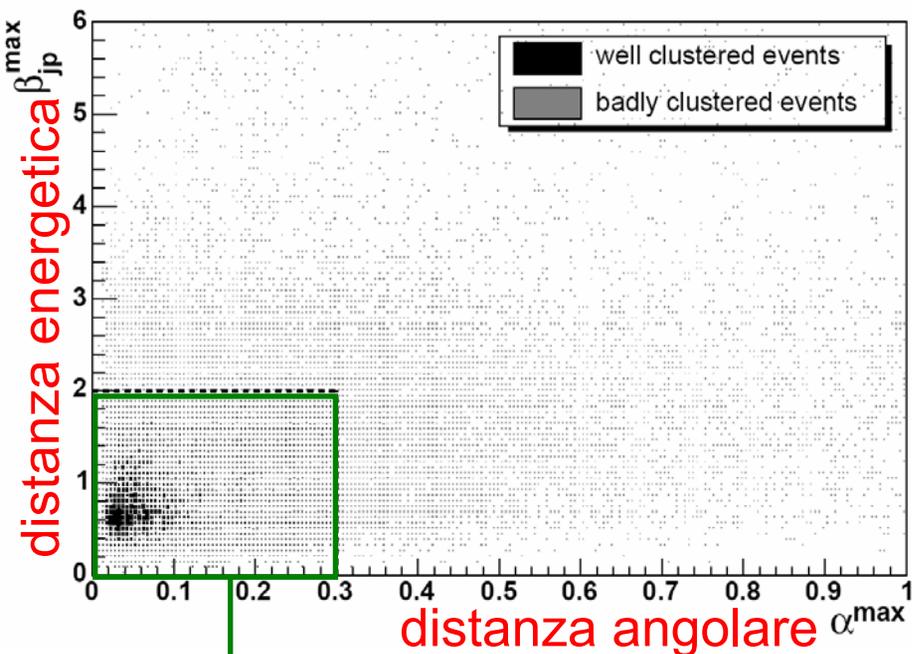
curva di calibrazione (calcolata solo con jet bene associati ai partoni)

$$\beta_{\text{par-jet}} = \frac{|E_{\text{rec}}/E_{\text{gen}} - \langle E_{\text{rec}}/E_{\text{par}} \rangle|}{\sigma}$$

Anche la variabile energetica viene ordinata dalla migliore alla peggiore

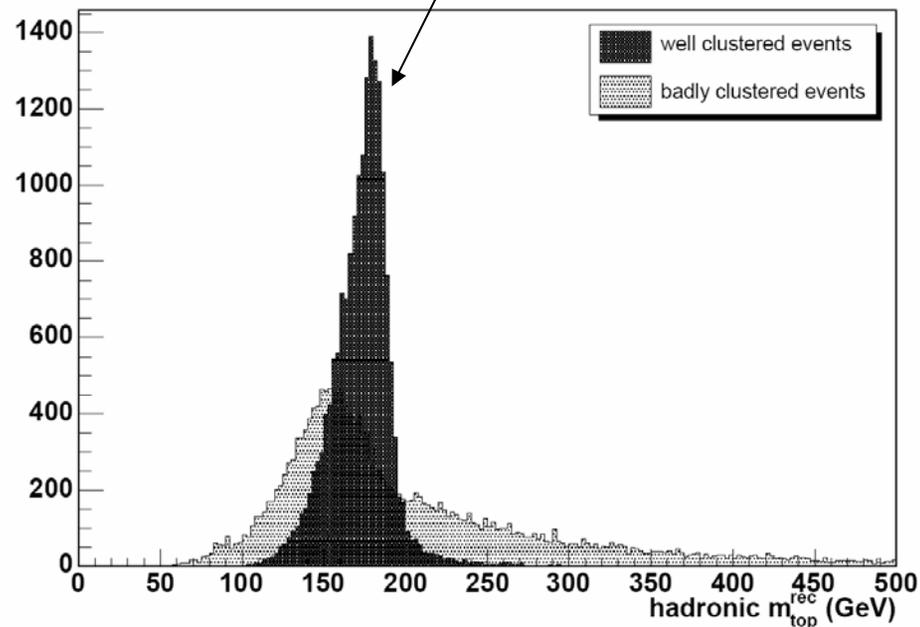
Eventi entro 2 sigma dal valor medio di  $E_{\text{rec}}/E_{\text{gen}}$  atteso.





Eventi che hanno almeno  $N_{jet} \geq N_{par}$  ben ricostruiti sia da un punto di vista angolare che energetico

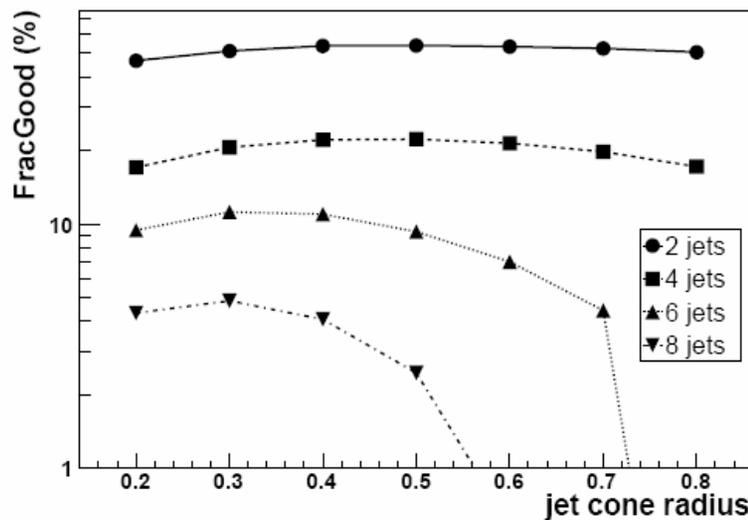
Massa Top ricostruita con gli eventi classificati **good**



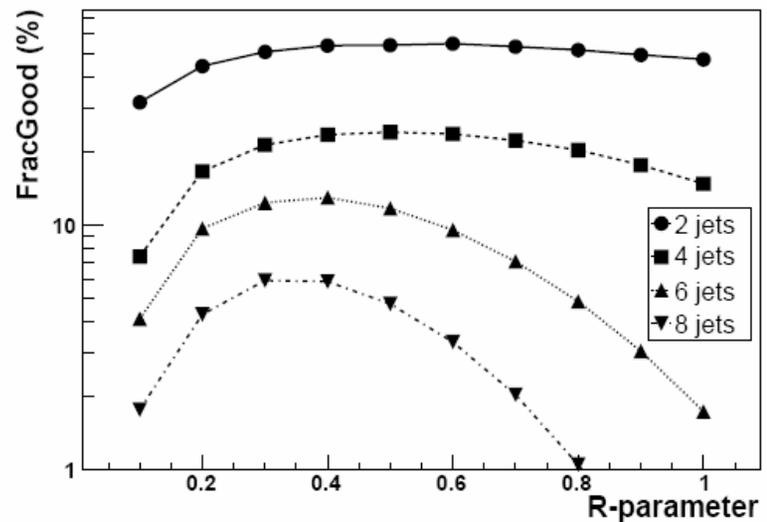
Possiamo vedere l'efficienza di avere eventi "ben ricostruibili" a seconda del numero di partoni nello stato finale.

Esempio per ICA variando la grandezza del cono di ricostruzione e KT variando il parametro R

ICA



KT

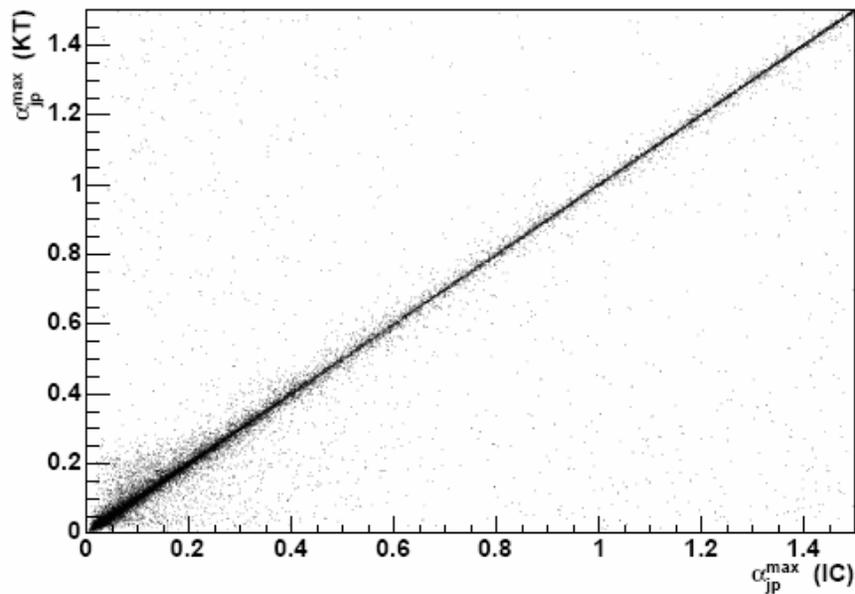


Nel caso di 2 partoni nello stato finale il 60% degli eventi può essere ricostruito correttamente, mentre nel caso di 8 jet l'efficienza è del 5-6%  
 Per eventi ad alta molteplicità c'è una dipendenza più forte dai parametri di ricostruzione  $R_{cone}$  (ICA) e R (KT)

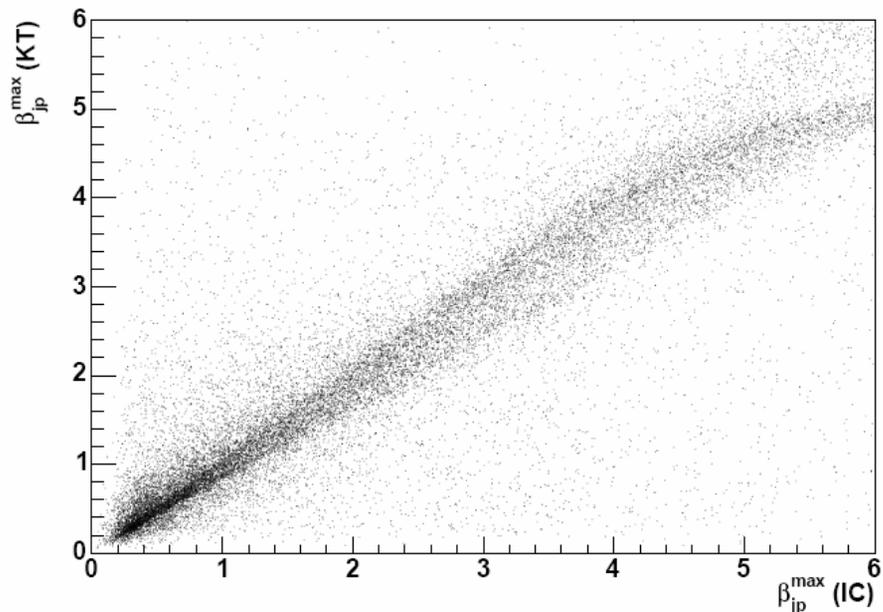
- Per comprendere l'efficienza di ricostruzione di eventi a  $n$  partoni è necessario associare i jet sia da un punto di vista angolare che energetico.
- L'efficienza di eventi ben ricostruibili è molto sensibile al numero di partoni/jet nello stato finale:
  - 60% eventi a 2 jet
  - 6% eventi a 8 jet
- Eventi ad alta molteplicità sono più sensibili alla scelta dei parametri di jet clustering

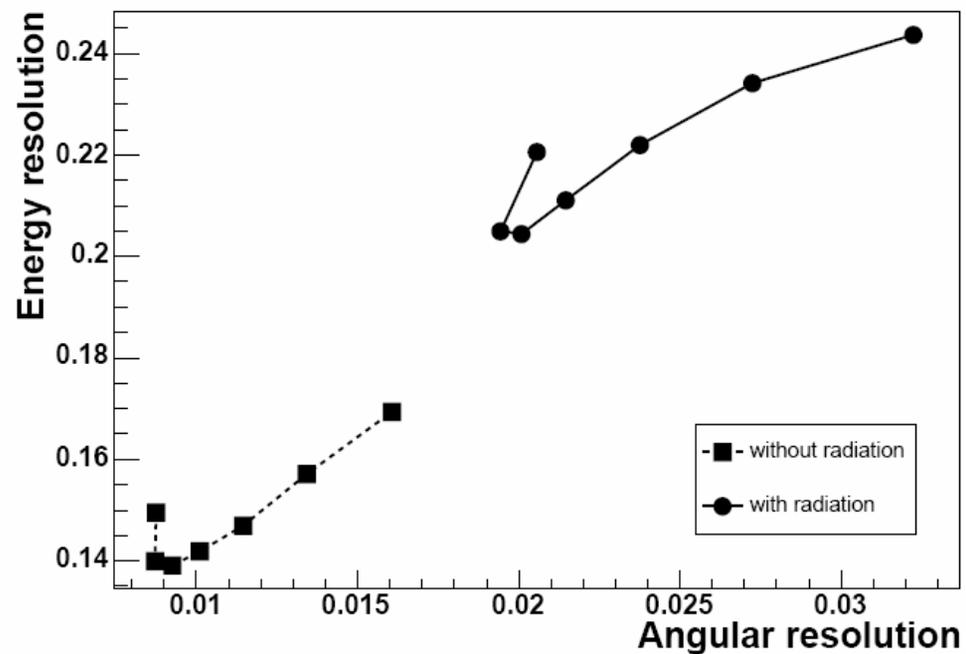
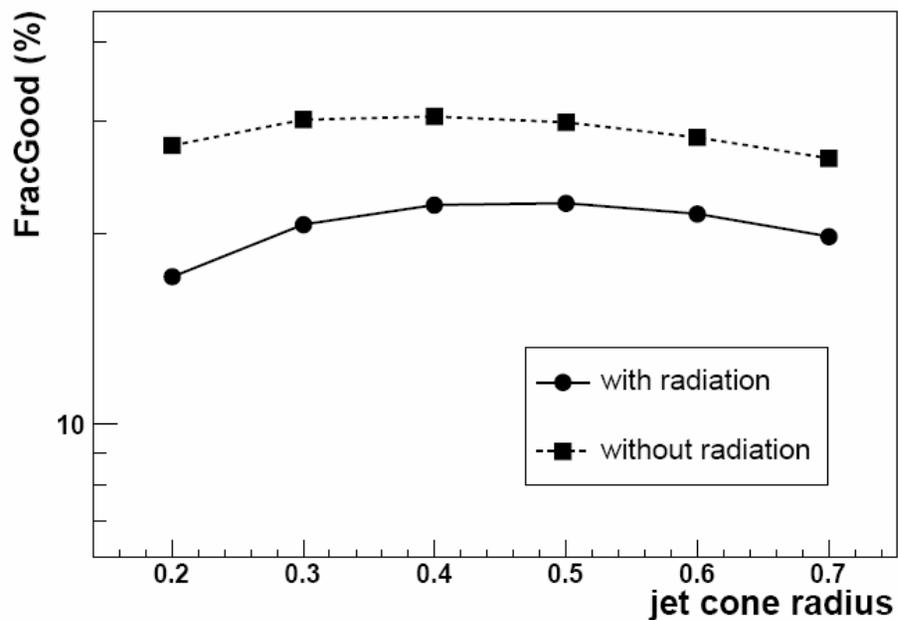
Correlazione tra ICA ( $R_{\text{cone}} = 0.5$ ) e KT ( $R = 0.5$ ) per eventi tT semileptonico.

correlazione nella variabile angolare



correlazione nella variabile energetica





## algoritmo a cono $\rightarrow$ vicinanza in angolo

Selezionate le torri calorimetriche con  $E_T > E_{T,seed}$  (tipicamente 2 GeV)

Vengono associate le torri entro un raggio  $\Delta R$  (0.7 o 0.2) attorno al seed e viene calcolato il baricentro del jet.

$$\Delta R_{cono} = \sqrt{\Delta \eta^2 + \Delta \phi^2}$$

Due jet vengono uniti se l'energia di sovrapposizione è  $>50-75\%$

Principali parametri:

- larghezza del cono  $\Delta R$
- Energia del seed
- Energia di attivazione delle torri

## algoritmo $K_T \rightarrow$ vicinanza in $P_T$ e angolo

Per ogni precluster  $i$  e per ogni coppia di precluster  $i,j$  si definiscono ( $D=0.2 \rightarrow 1$ ):

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

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

si cerca il  $d$  minimo:

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

Principali parametri:

- $R$  (simile al concetto di cono)
- Energia di attivazione delle torri