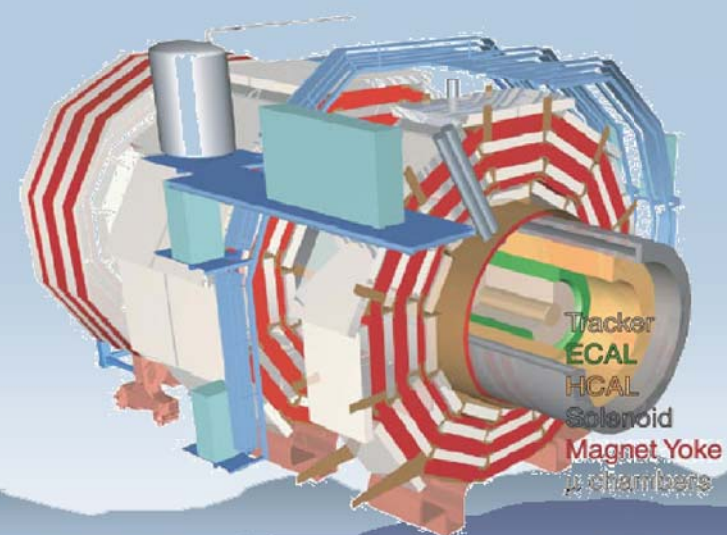
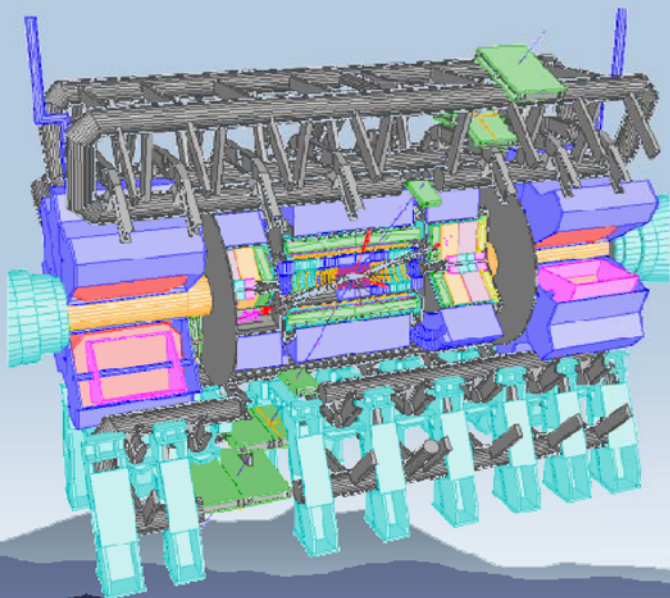
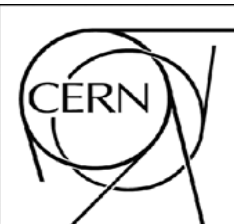


Selezione di eventi di beauty e tau con ATLAS e CMS

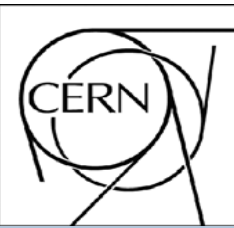
Susanna Cucciarelli
(CERN)
Carlo Schiavi
(INFN Genova)





Outline

- ◆ Introduzione
- ◆ Ricostruzione di tracce e vertici (prestazioni)
- ◆ Strategie di trigger
- ◆ Identificazione di adroni b (HLT/offline/applicazioni)
- ◆ Identificazione di leptoni tau (HLT/offline/applicazioni)
- ◆ Conclusioni

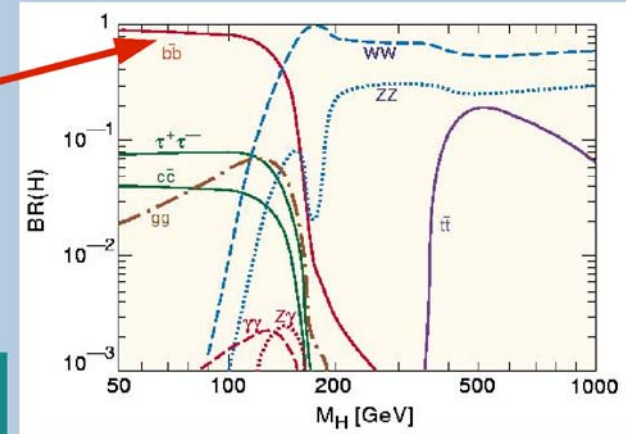


Motivazioni

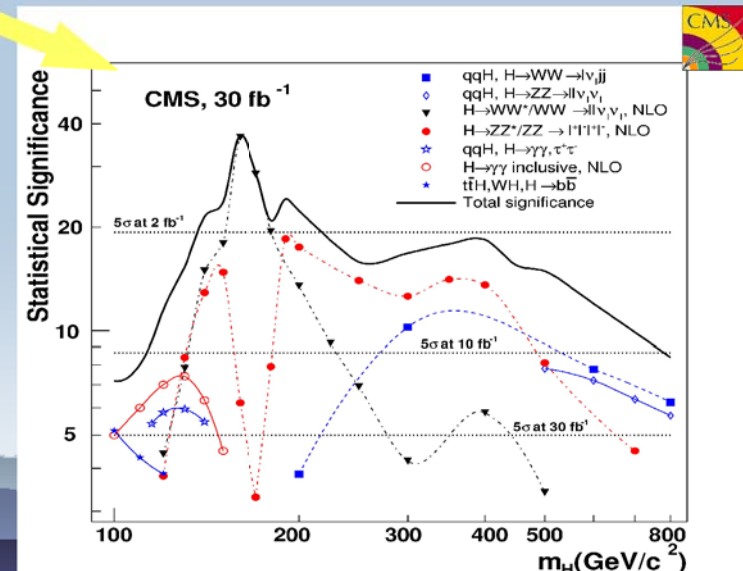
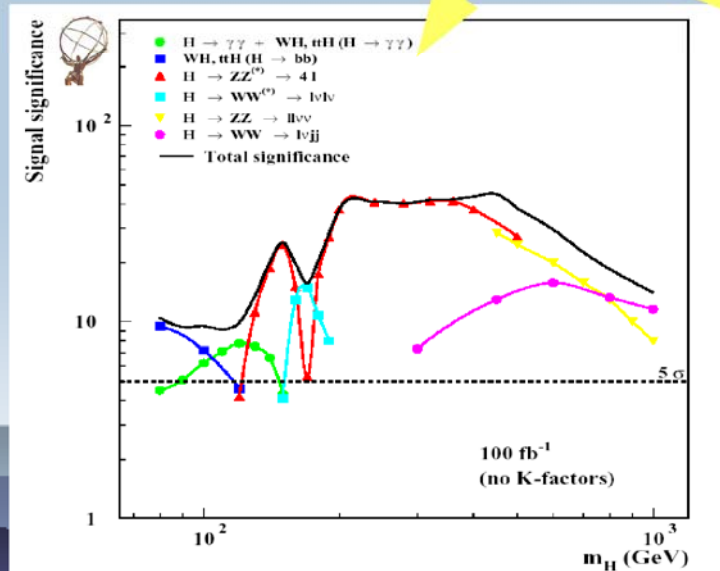
Fisica del b ... ma soprattutto ricerca di nuova fisica (Higgs, Susy)

Il bosone di Higgs decade preferenzialmente nei fermioni piu' pesanti accessibili

- ◆ H->bb Modello Standard
- ◆ canali di decadimento in tau importanti per Higgs Susy



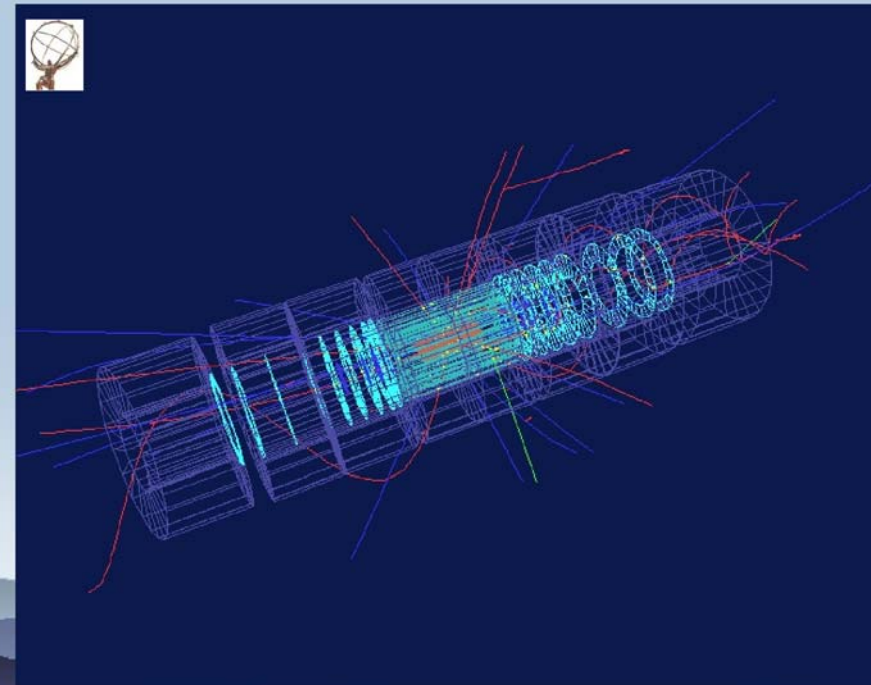
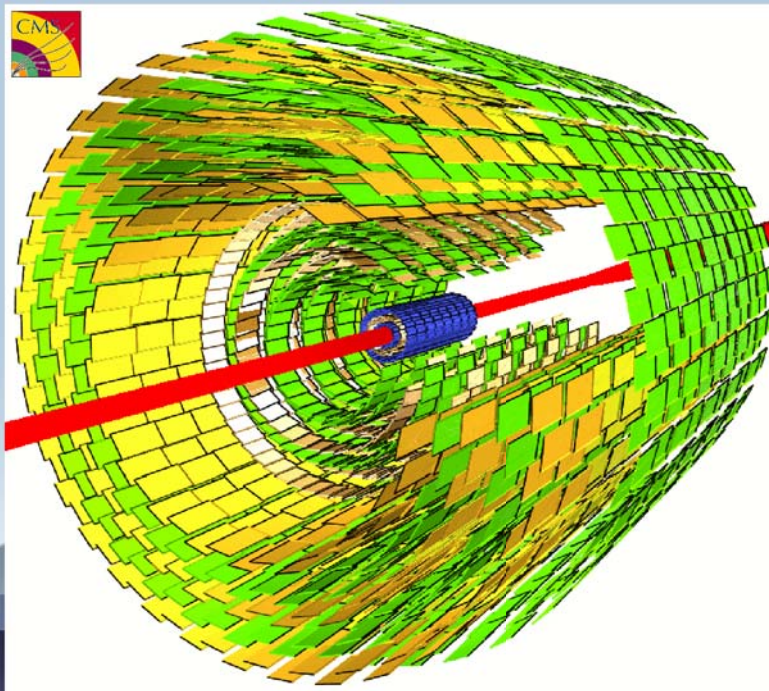
Cosa ci aspettiamo dopo 3 o 1 anni di presa dati?



CMS e ATLAS sono rivelatori “general purpose”

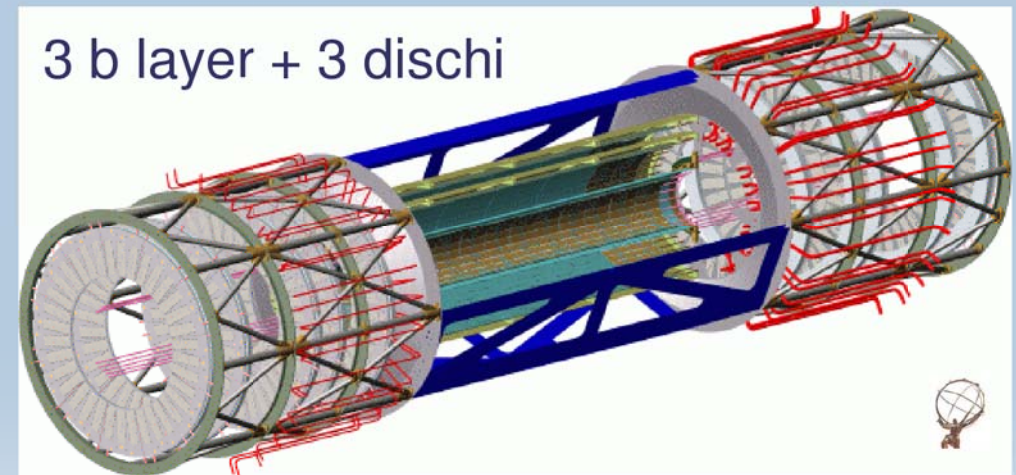
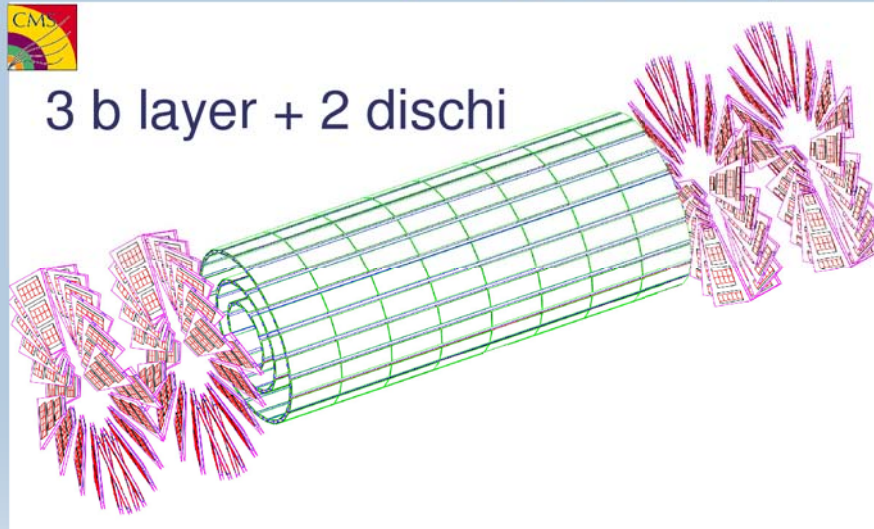
=> massima copertura dell'angolo solido

- ◆ Struttura a strati concentrici copertura in η fino a 2.5
- ◆ Rivelatore di pixel piu' vicino al punto di interazione
- ◆ Rivelatori a microstrip di silicio interno e rivelatori esterni



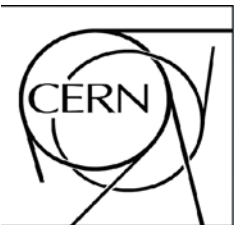
Rivelatori a Pixel

- ◆ Massimo numero di canali [8.2×10^7 6.6×10^7]
- ◆ Massima risoluzione spaziale
[7 ($r\phi$) and 70 (z) μm 10 ($r\phi$) and 15 (z) μm]
- ◆ Misura della posizione tridimensionale



Dimensioni dei pixel	$50 \times 400 \mu\text{m}^2$	$100 \times 150 \mu\text{m}^2$
raggio interno	5.05 cm	4.3 cm
Lettura	7 bit ToT	8 bit

occupancy 10^{-4} alta luminosita'



Rivelatori a Pixel: start up



Forse uno “**staged**” scenario e' previsto nel primo periodo di presa dati:

ATLAS => 2 barrel layer + 2 dischi (layer intermedio staged)

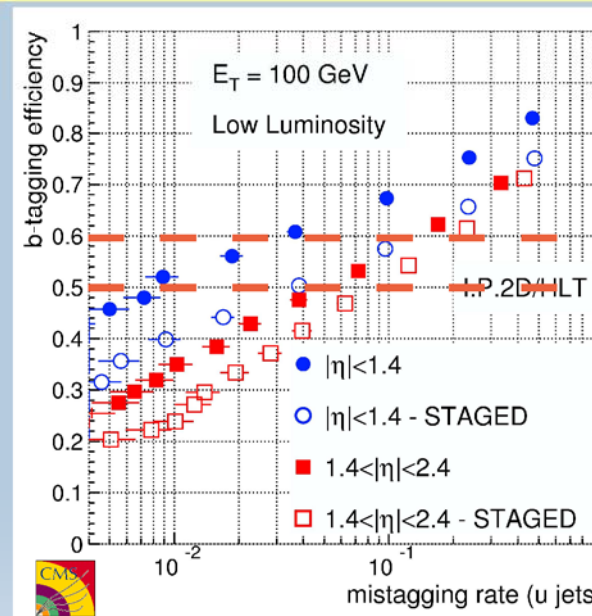
CMS => 2 barrel layer + 2 dischi (layer esterno staged)

Effetti dello staging sul b-tagging studiati da entrambi gli esperimenti

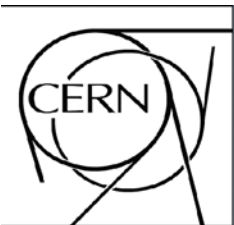


R(2layer/3layer)	ttH/tt	WH
2D $\epsilon_b = 50\%$	0.62	0.8
2D $\epsilon_b = 60\%$	0.68	0.85
3D $\epsilon_b = 50\%$	0.58	0.8
3D $\epsilon_b = 60\%$	0.68	0.82

Prestazioni ridotte di un fattore **0.6-0.7** nel canale ttH/tt e **0.8-0.85** nel canale WH a bassa luminosita'



Prestazioni ridotte di un fattore **0.40** ($\epsilon_b=60\%$), **0.25** ($\epsilon_b=50\%$) per **jet bb** a bassa luminosita'

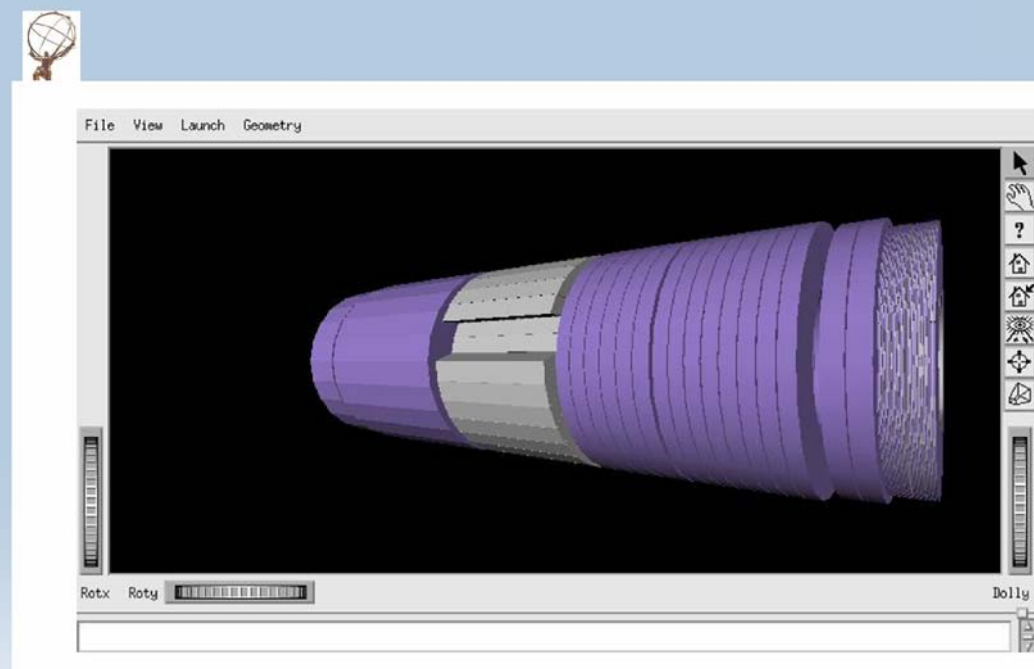
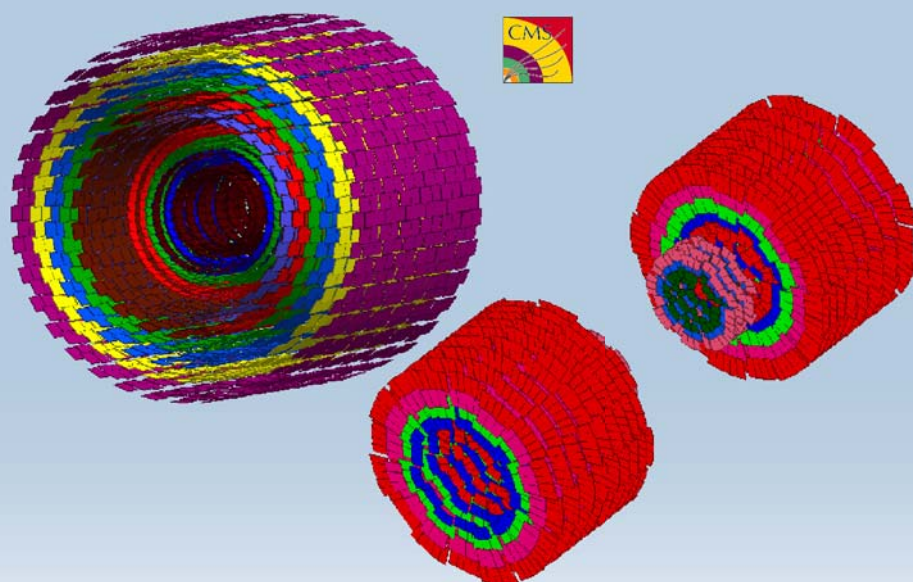


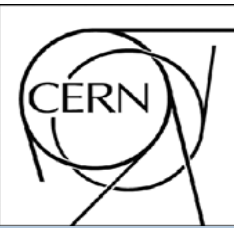
Rivelatori a micro-strip e esterni



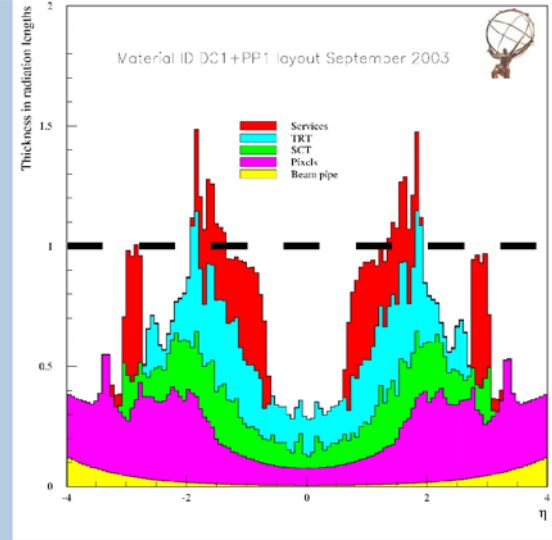
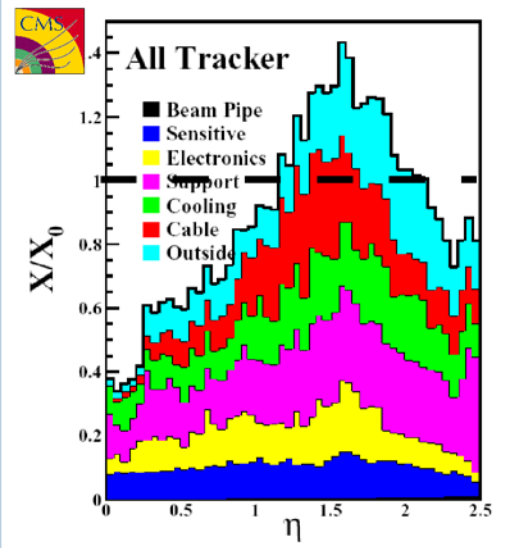
CMS: Tracker Internal Barrel&Disks e Tracker Outer Barrel & Tracker EndCap tutte strip di silicio

ATLAS: Silicon Chamber Tracker strip di silicio e Transition Radiation Tracker



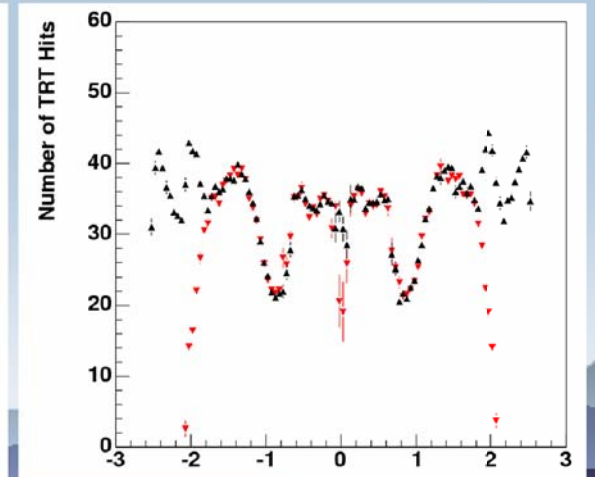
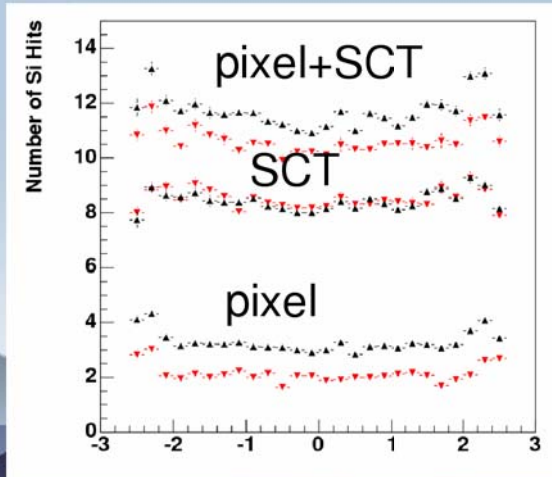
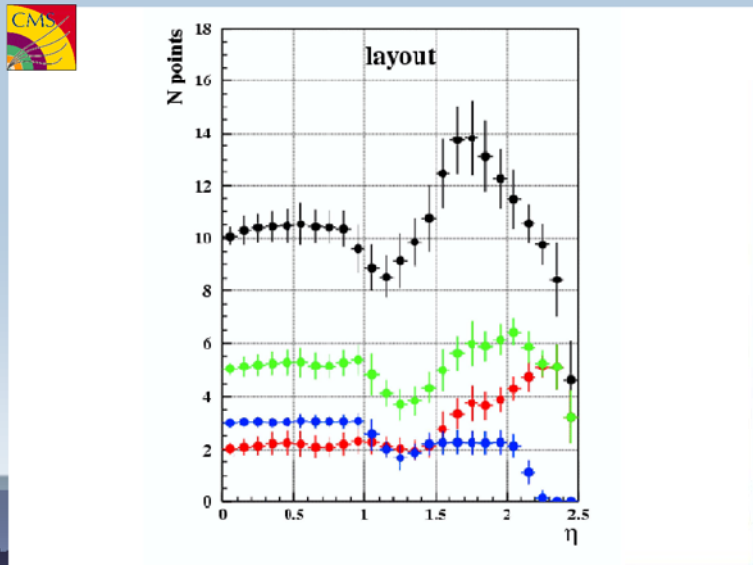


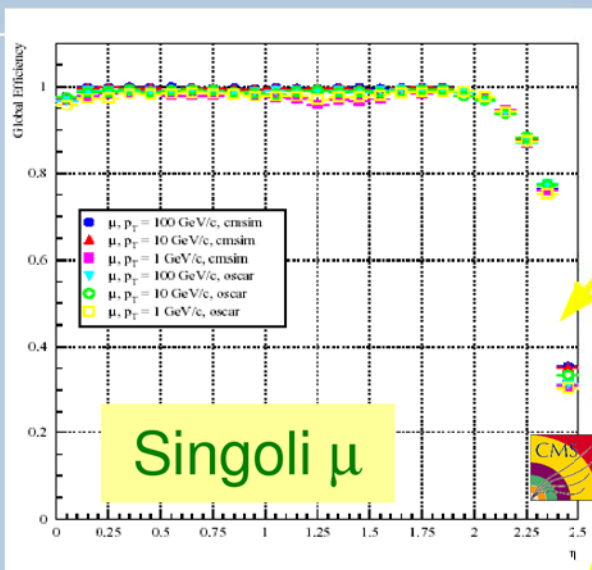
Material e Prestazioni



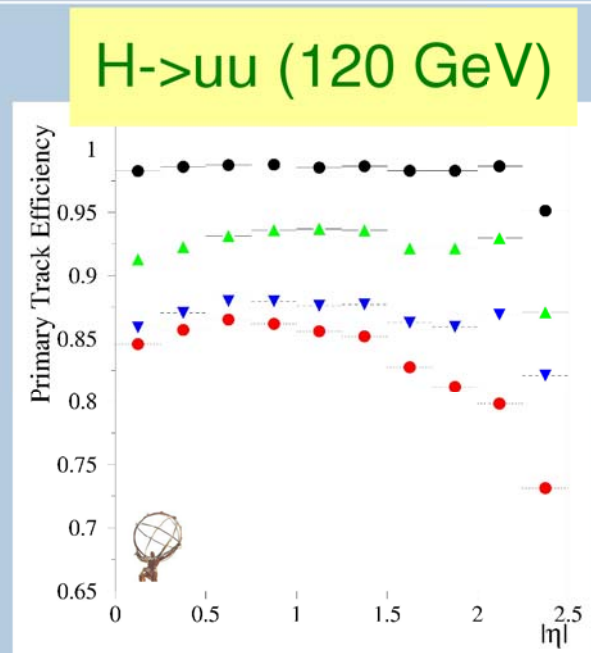
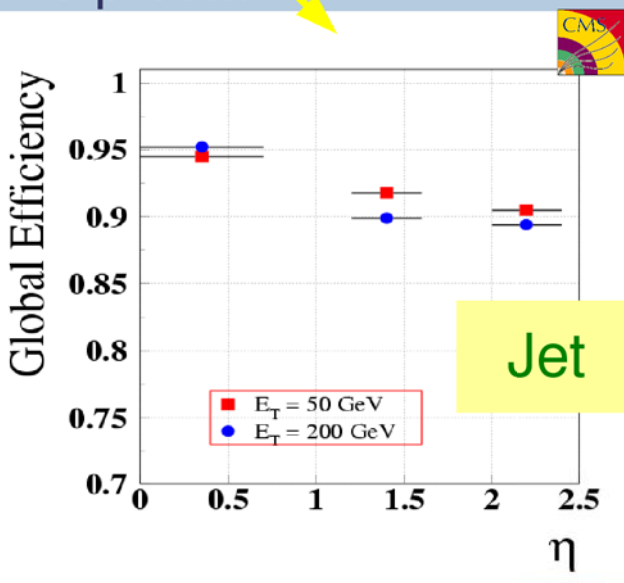
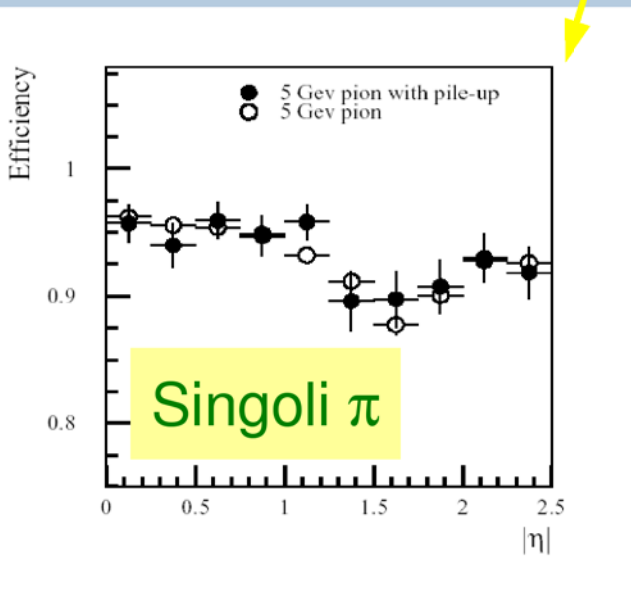
CMS => il tracker e' interamente fatto di microstrip (contributo al materiale dovuto cavi, elettronica, cooling)

Punti per traccia

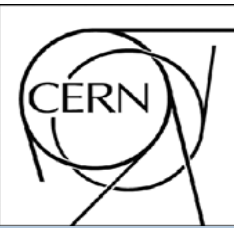




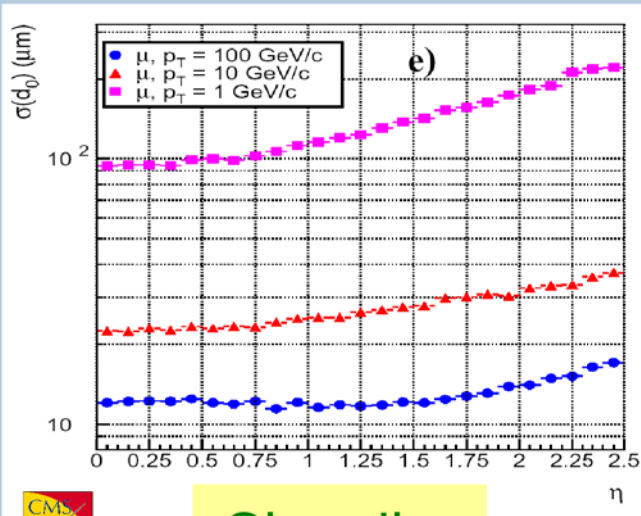
- Allineamento perfetto
- Singoli $\mu \Rightarrow \text{eff} \sim 100\%$
- Singoli $\pi \Rightarrow \text{eff} > \sim 90\%$
- Jet $\Rightarrow \text{efficienza} > \sim 90\%$
fake rate $< 1\%$
- PileUp non degrada significativamente le prestazioni



- Diversi tagli di qualita' delle tracce
Fake rate da 20% a 0.05 per mille



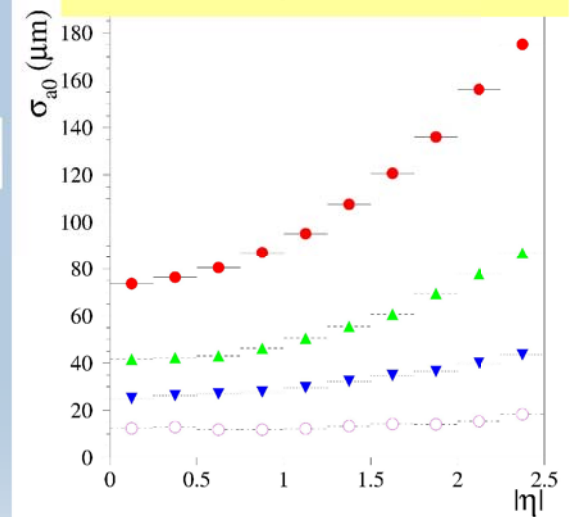
Parametri delle tracce



$\eta=1$	$\sigma(d_0)$	$\sigma(z_0)$	$\sigma(p_T)/p_T$
ATLAS	15 μm	95 μm	1%
CMS	20 μm	40 μm	2%

Diverse dimensioni dei pixel

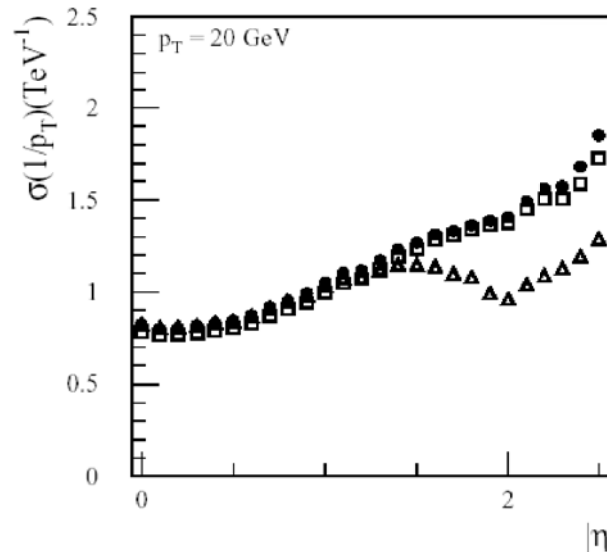
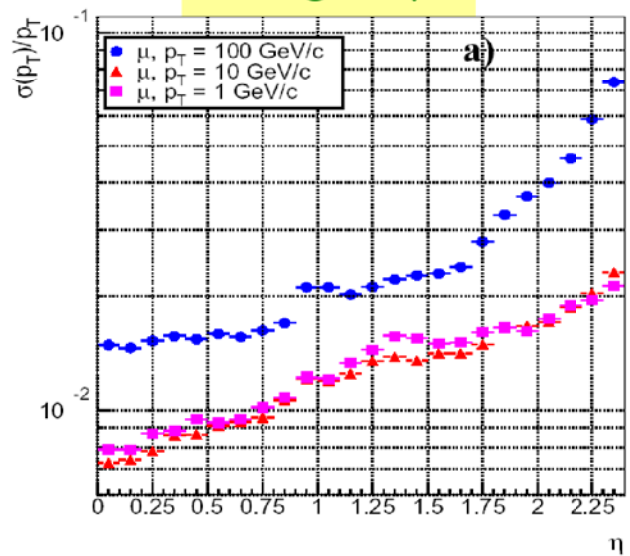
H \rightarrow uu (120 GeV)



Diversi bin in p_T 1-2, 2-5, 5-10 e > 50 GeV

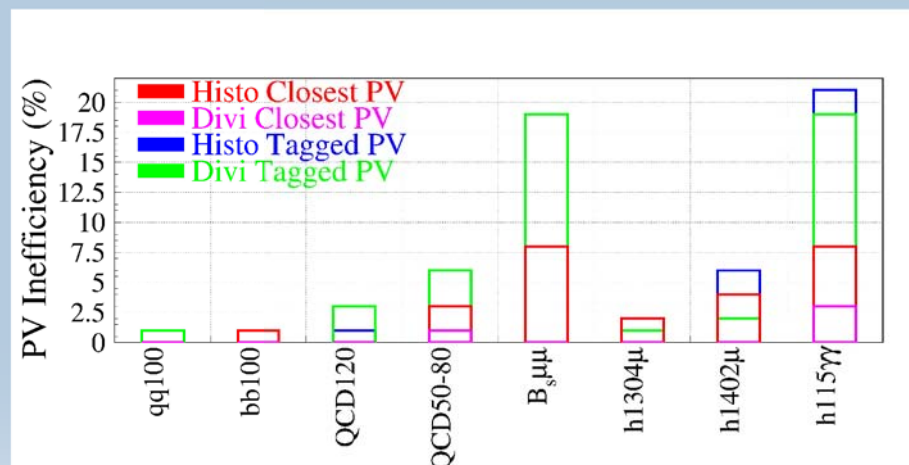
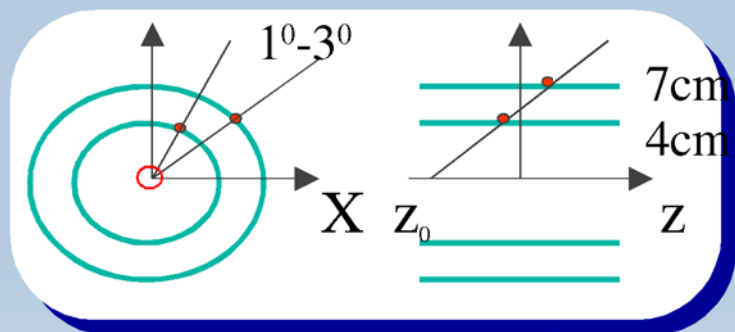


Singoli μ



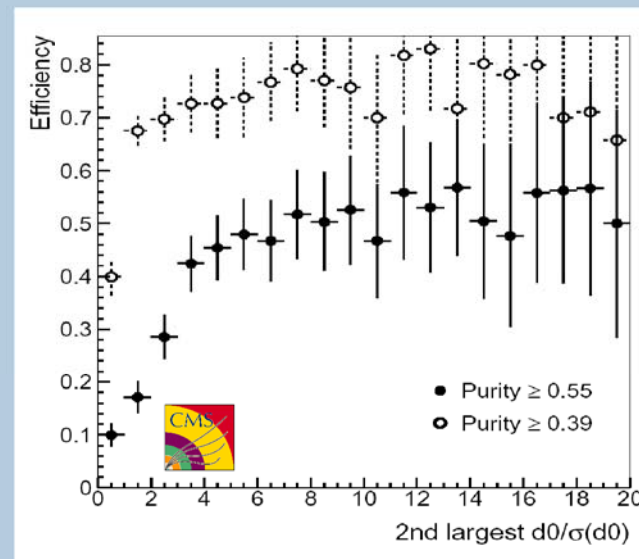
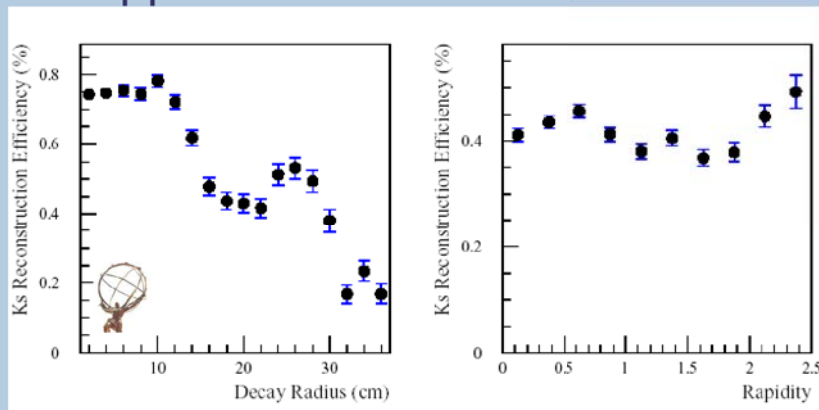
Permette di vincolare la ricostruzione completa di tracce all'evento di segnale
=> rigetta il PileUp e velocizza la ricostruzione online

- CMS ricostruisce “pixel track” e da queste ricostruisce la posizione in z del PV
- ATLAS: due algoritmi per la z del VP:
direttamente dagli hit estrapolando coppie di hit vicine in ϕ
ricostruisce tracce con coppie o tripletti di hit

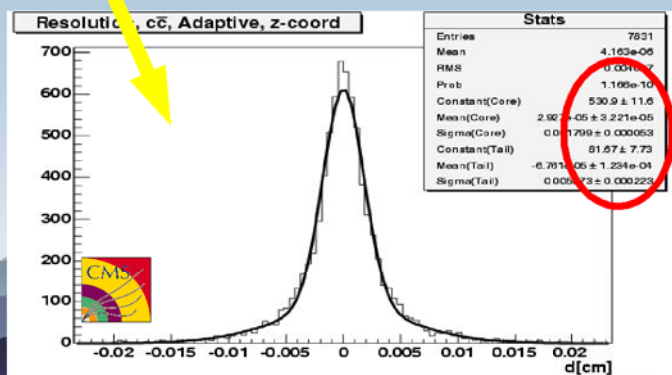


Bassa luminosita' solo informazioni dei pixel
risoluzione spaziale ~50μm

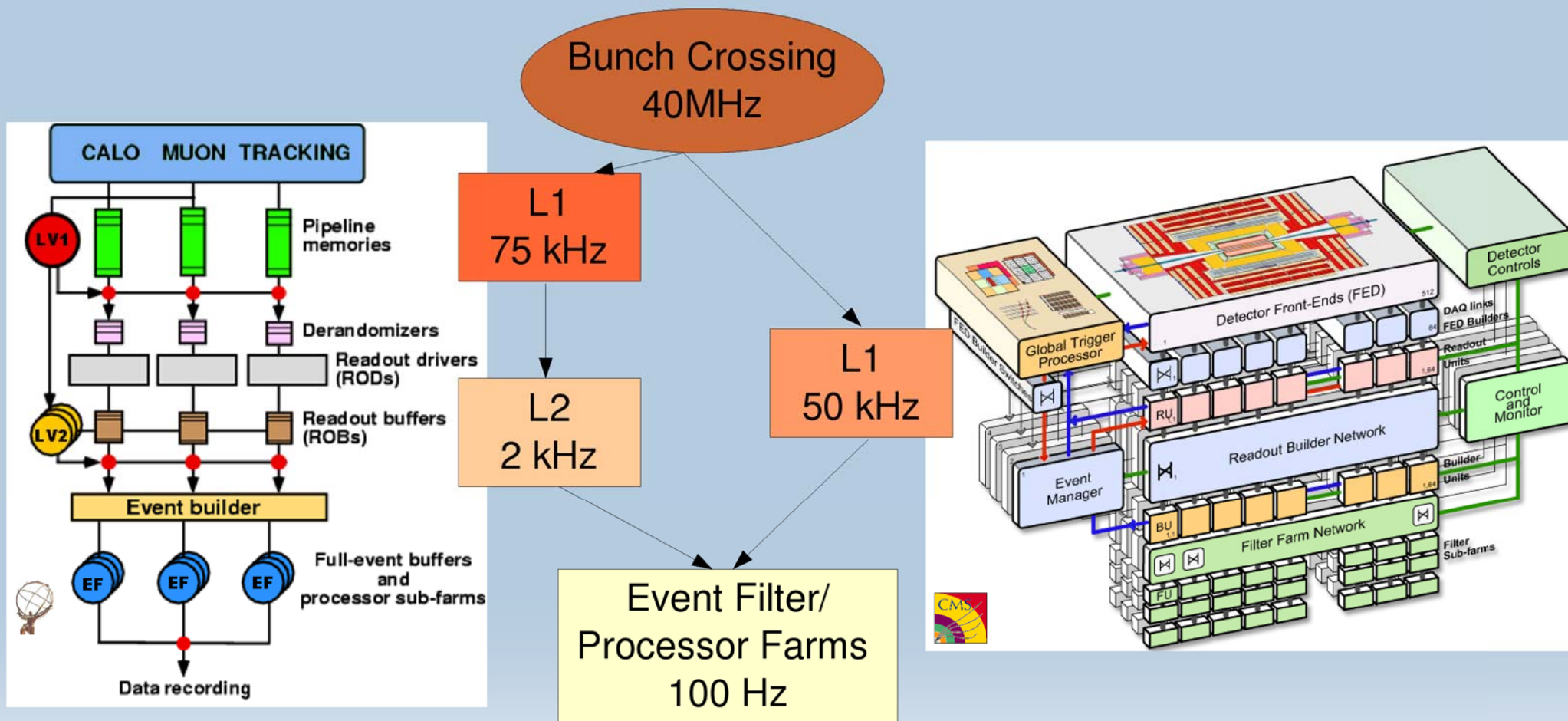
- Vertex Finding: efficienza dipende dal parametro delle tracce appartenenti al vertice



- Vertex Fitting : a partire da un set di tracce appartenenti allo stesso vertice calcolare la posizione e 'costringere' i parametri delle tracce al vertice. Metodo iterativo basato sul χ^2 con pesi assegnati alle tracce

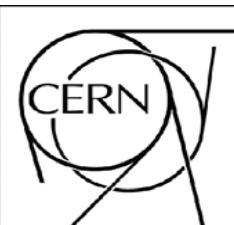


Core : 18 μm
Tail : 59 μm



ATLAS: 1 livello hardware + 2 software => piu' flessibilita' rispetto alle soglie di L1

CMS: 1 livello hardware + 1 livello software => piu' flessibilita' nel passaggio L1-rate finale



Trigger di alto livello



CMS utilizza essenzialmente gli algoritmi di ricostruzione offline sviluppati nel framework ORCA velocizzando i tempi di processamento degli eventi con

=> **Ricostruzione "condizionata"**

(arrestare la ricostruzione di tracce dopo un certo numero di hit)

=> **Ricostruzione parziale**

(definire una regione del Tracker entro cui ricostruire le tracce)

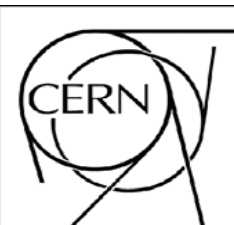
ATLAS ha sviluppato un framework dedicato per la selezione L2 in grado di gestire **ristrette porzioni dell'evento** (Region Of Interest)

Gli algoritmi al livello di Event Filter sono per quanto possibile gli stessi del framework di ricostruzione offline ATHENA.

L'evento e' **processato in step successivi** e puo' essere rigettato ad ogni step

=> ottimizzazione del tempo di CPU

Entrambi gli esperimenti hanno strategie di trigger inclusivi ed esclusivi



Selezione di *b* and tau

Selezione inclusiva di stati finali con quark *b*:

- ◆ Lunga vita media (~ 1.2 ps, $c\tau \sim 470\mu\text{m}$)
- ◆ Jet con elevata molteplicita' carica
- ◆ Jet contenenti leptoni ad alto impulso trasverso

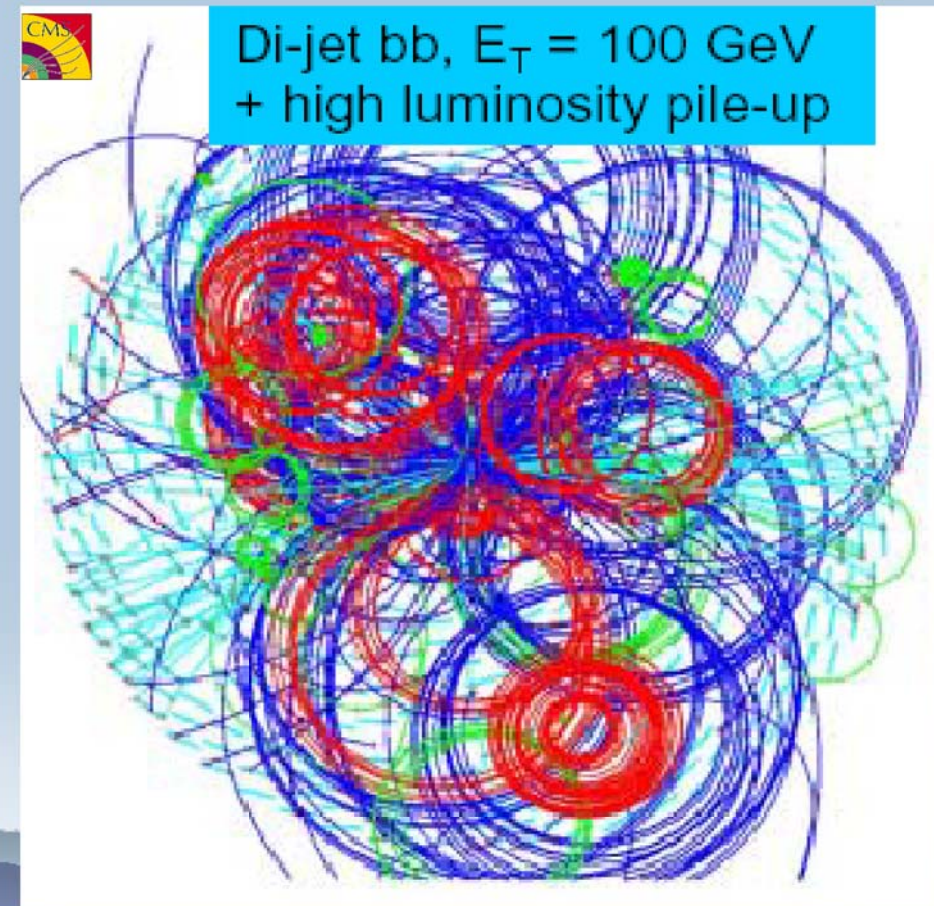
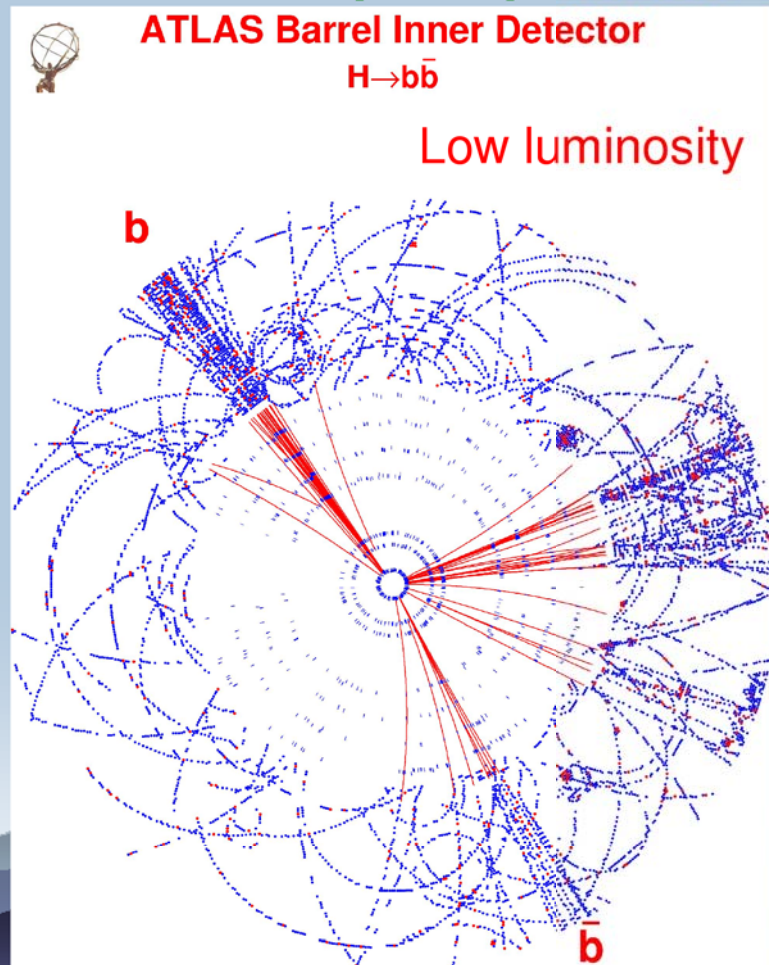
Selezione inclusiva di stati finali con leptoni τ :

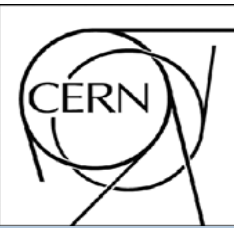
- ◆ Jet collimati a bassa molteplicita' (1 o 3 tracce cariche)
- ◆ Energia mancante
- ◆ Vita media ~ 0.3 ps and $c\tau \sim 90\mu\text{m}$
- ◆ Pioni

Un confronto diretto delle prestazioni non e' sempre possibile
ATLAS: DAQ&Physics TDR
CMS: DAQ TDR, Physics-TDR e' in preparazione..

ATLAS studia gli algoritmi di b-Tagging principalmente su eventi con produzione di WH, $H \rightarrow b\bar{b}$

CMS utilizza principalmente eventi QCD con produzione di 2 jet b

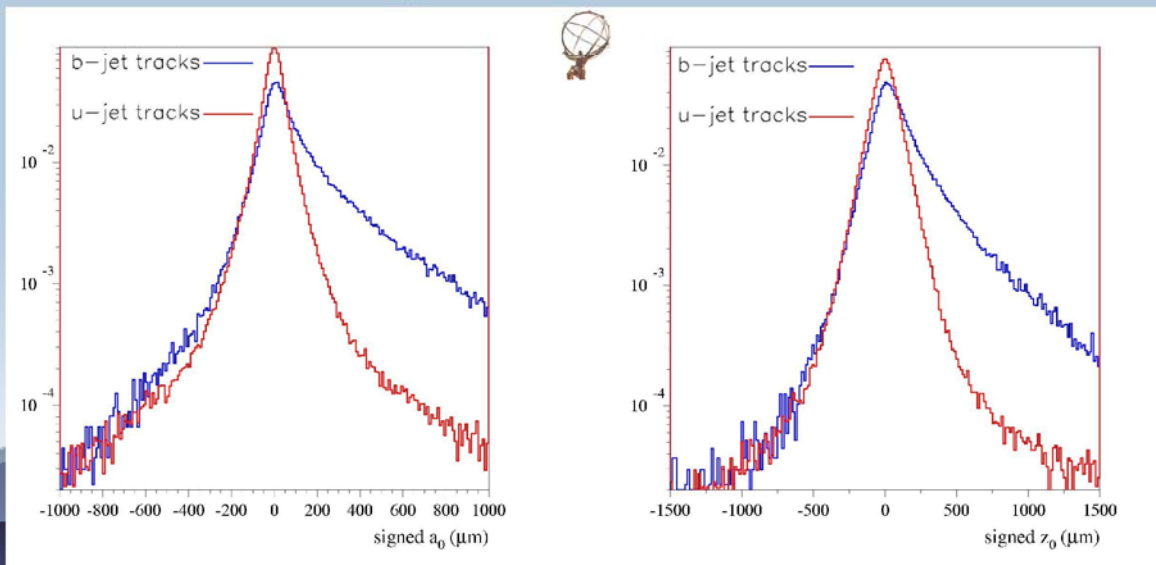
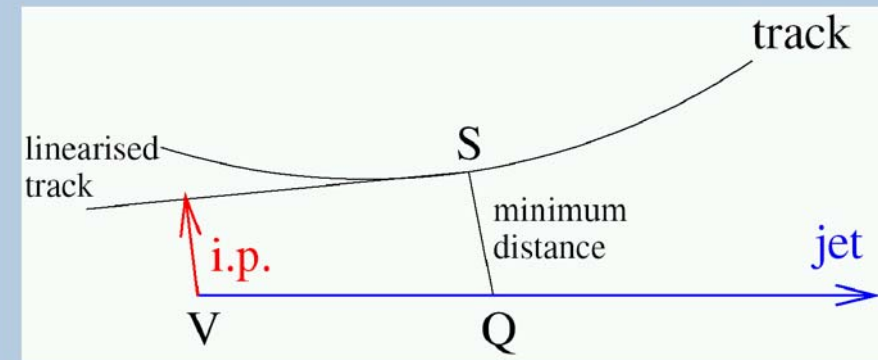




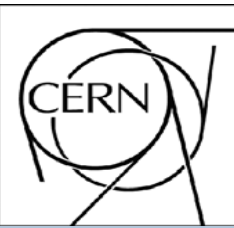
b-Tagging: parametro d'impatto

Per un adrone b di 35 GeV => lunghezza di decadimento ~3mm
Principale peculiarita': tracce e vertici distanti dal vertice primario

Metodo basato solo sulla misura del
parametro di impatto:
Si richiede un numero minimo di tracce
per jet con una significance $S=d_0/\sigma(d_0)$
sopra una soglia
Parametro di impatto 2D o 3 D

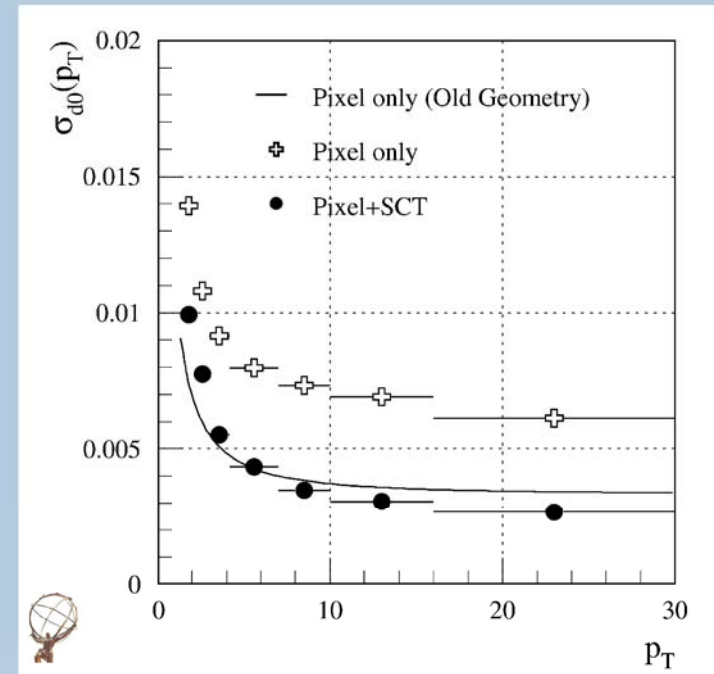
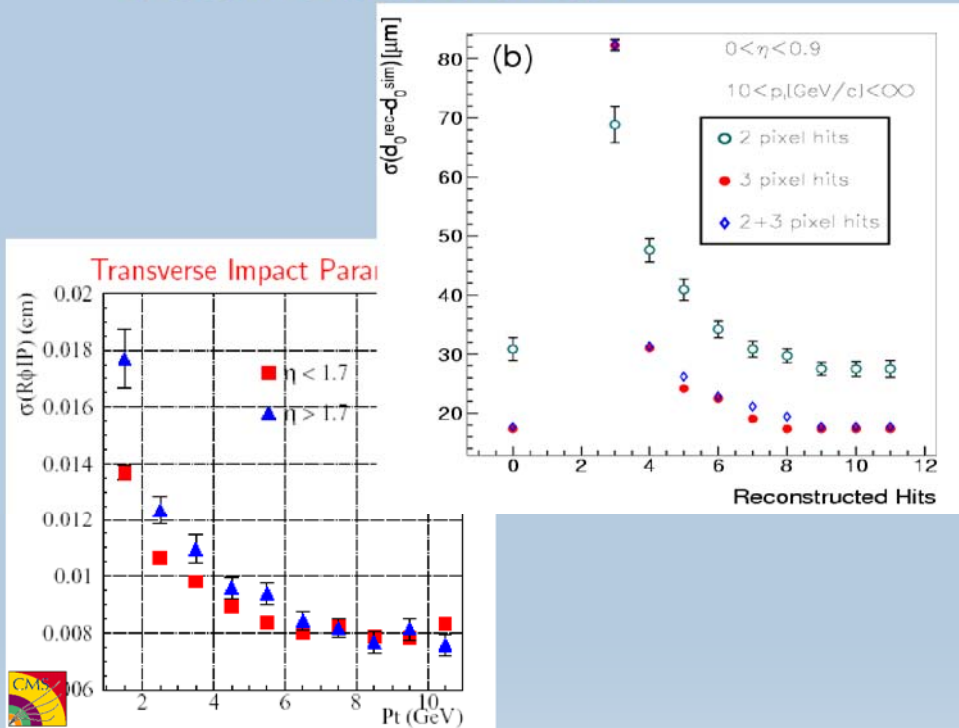


Molto semplice
Non necessita di particolari
calibrazioni
=> particolarmente adatto per
selezione online

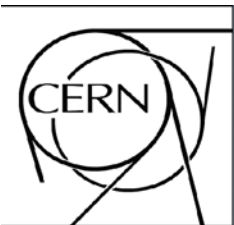


b-Tagging: parametro d'impatto

Cosa possiamo ottenere utilizzando il "minimo" delle informazioni dal sistema tracciante?



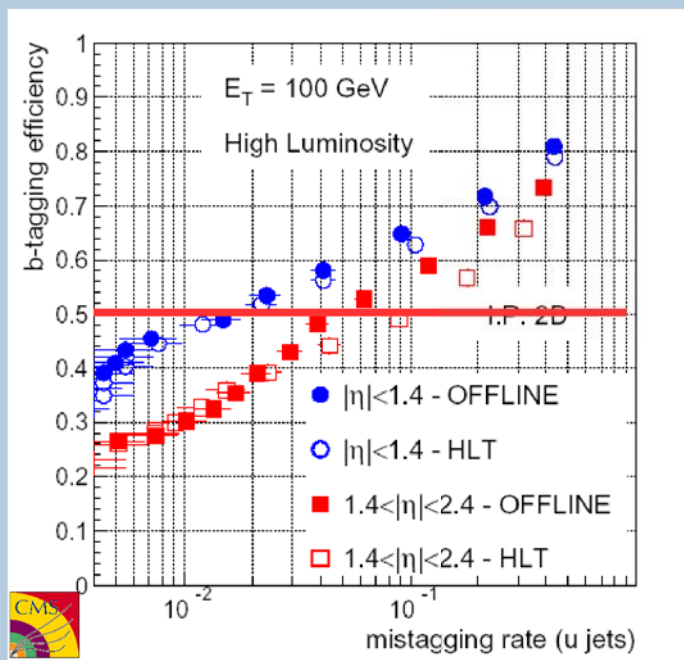
Solo con le informazioni dei pixel $\sigma(d_0)$: ATLAS $\sim 60 \mu\text{m}$ CMS $\sim 80 \mu\text{m}$ per tracce ad alto p_T
 \Rightarrow CMS-Pixel braccio di leva piu' corto e dimensioni dei pixel in $r\phi$ maggiori, con 3 pixel hit + 1 silicon + Kalman Filter risoluzione confrontabile con ATLAS Pixel+SCT (sample diversi!)



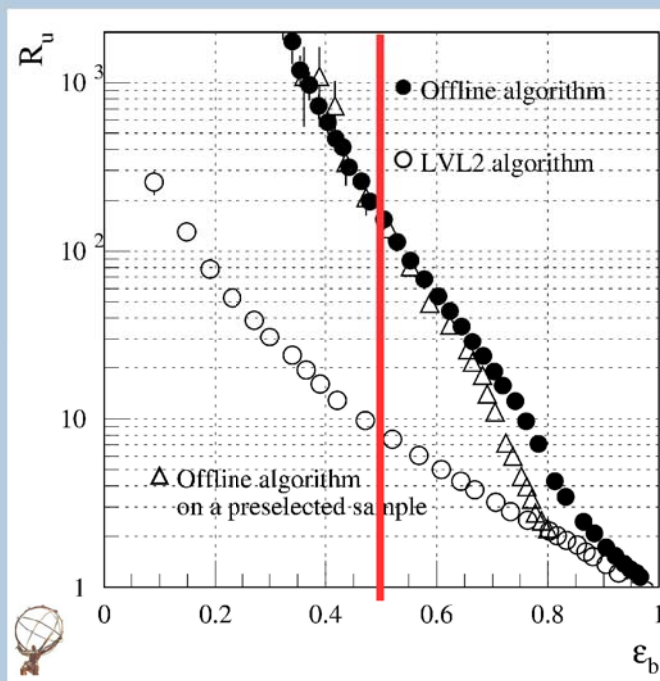
b-Tagging: online/offline



Jet bb+PileUp



WH, H->bb



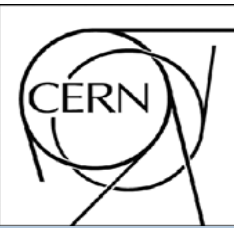
A 50% di b-eff la reiezione di quark leggeri:

ATLAS ~ 10 online ~150 offline bassa luminosita'

CMS 50-25 (η) $E_T=100\text{GeV}$ alta luminosita'

ATLAS: prestazioni peggiori da offline a online, ma si tratta di LV2 trigger dovrebbe migliorare integrato con l'Event Filter

CMS: prestazioni on/off line confrontabili

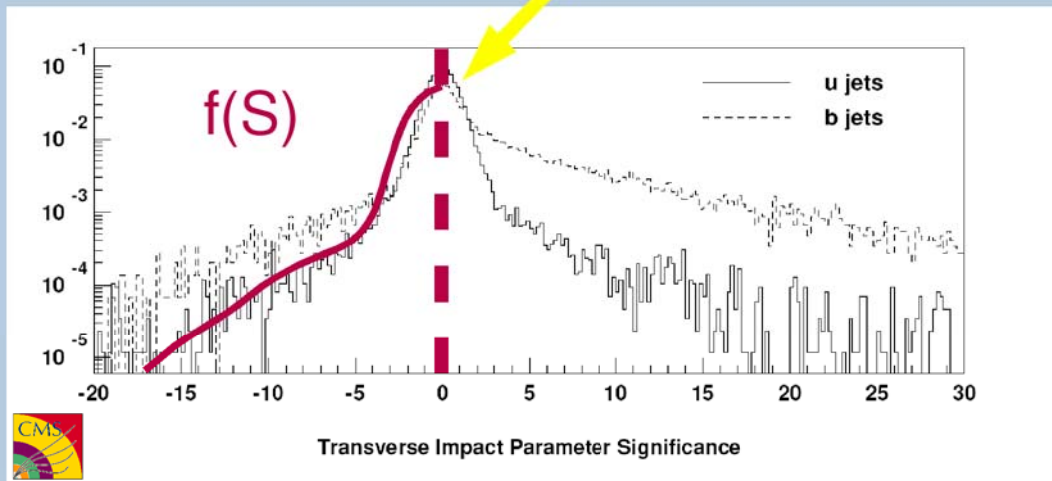


b-Tagging: approccio probabilistico

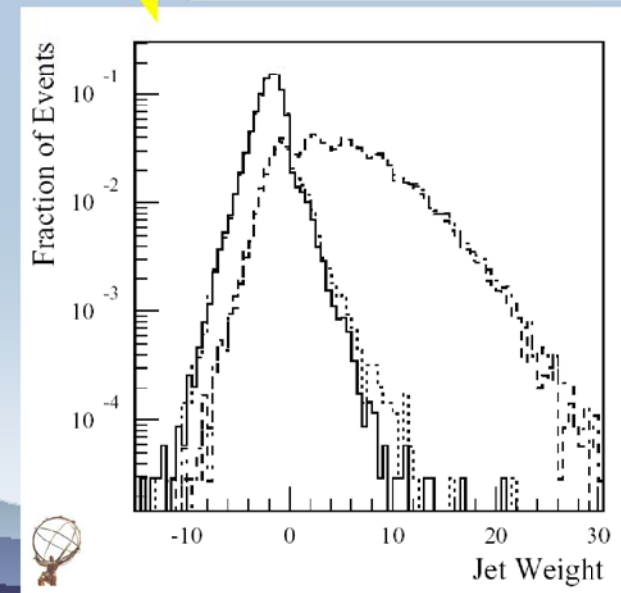
OFFLINE: tracciamento completo e non stretti vincoli di tempo di CPU

Il potere discriminante del **parametro di impatto** puo' essere meglio utilizzato con un approccio probabilistico: dalla distribuzione della significanza si calcola la probabilita' che la traccia venga dal vertice primario.

Le probabilita' di traccia vengono combinate statisticamente a formare un probabilita' per il jet



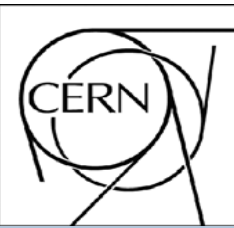
$$P_{jet} = \Pi \cdot \sum_{j=0}^{N-1} \frac{(-\ln \Pi)^j}{j!}$$



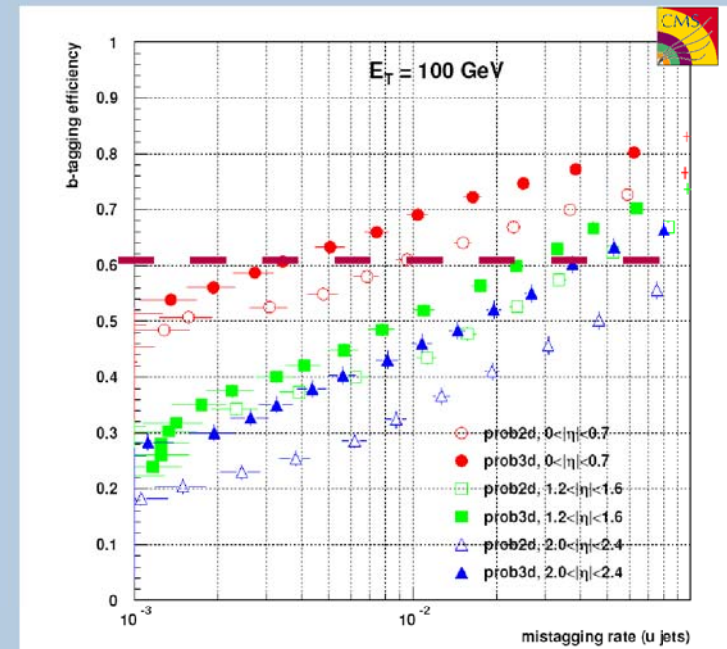
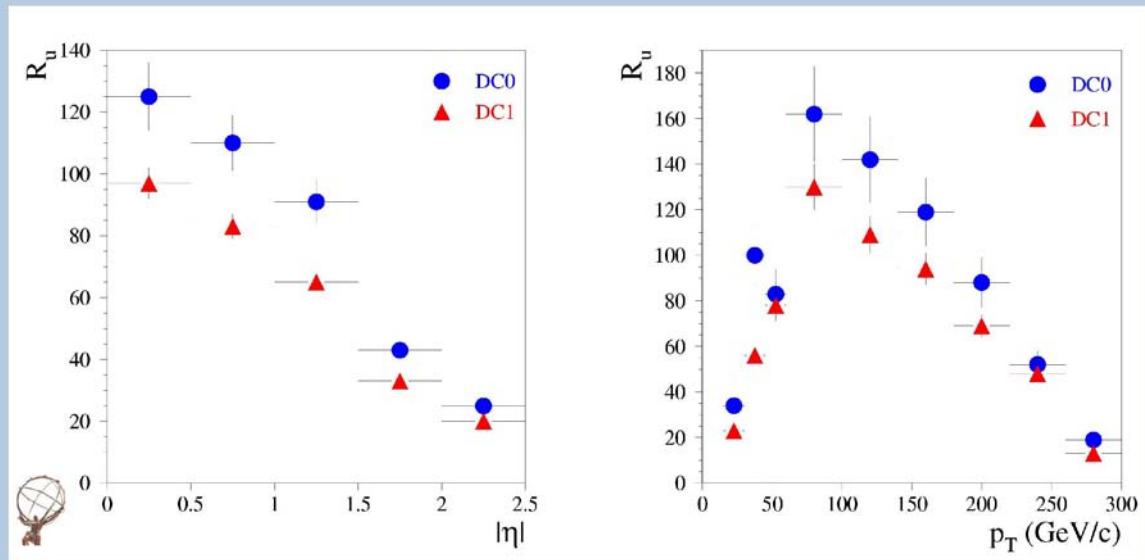
ATLAS considera il rapporto $P_{traccia} = P_b(S)/P_u(S)$

CMS considera $P_{traccia} = P_u(S)$

Le prestazioni dipendono molto dalla calibrazione:
tipo di funzioni e tipo di eventi utilizzati



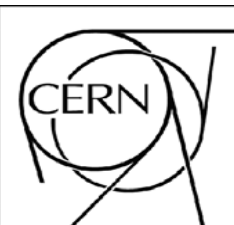
b-Tagging: approccio probabilistico



Reiezione di quark leggeri per
 ϵ (WH, H->bb) = 60% con parametro d'impatto 2D

Efficienza bb vs quark leggeri
 $E_T=100$ GeV

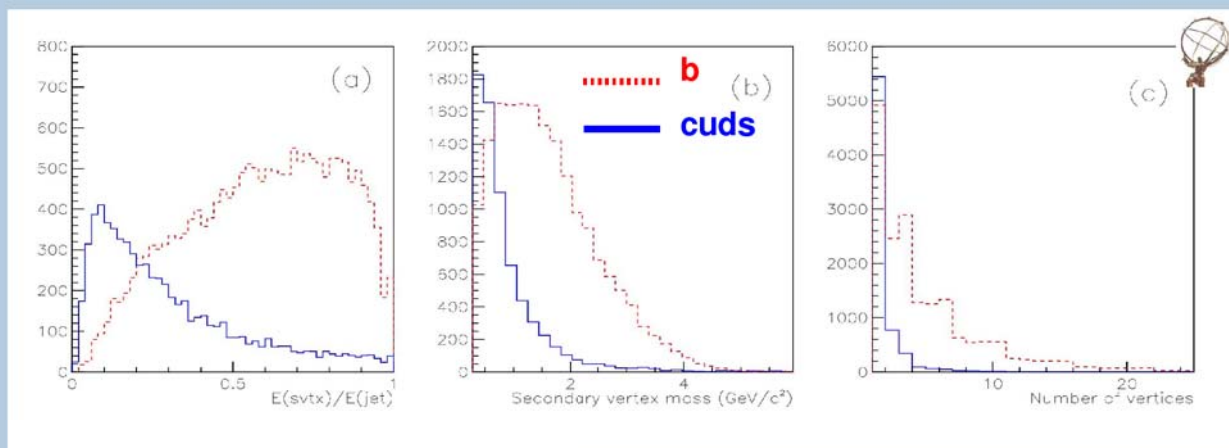
$\epsilon = 60\%$ (confronto non coerente)
 ATLAS reiezione ~ 80
 CMS reiezione da 250 a 15 (η)



b-Tagging: con vertici secondari



La presenza di un vertice secondario nel jet da' una forte indicazione, ma non e' sufficiente a discriminare c-quark => vengono utilizzate informazioni aggiuntive:

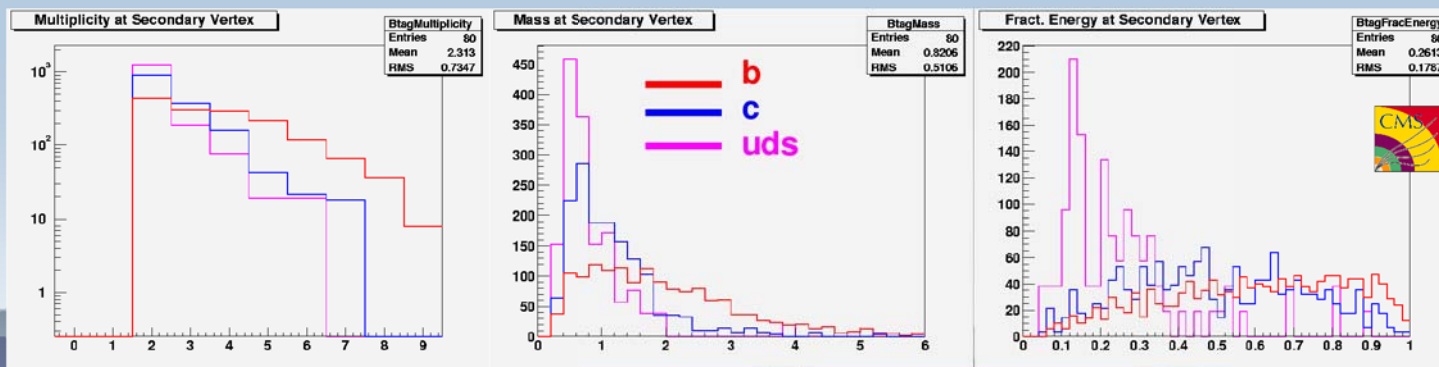


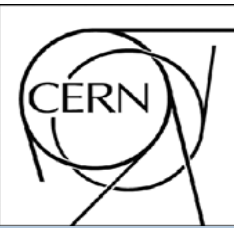
ATLAS:

- Frazione di energia al VS
- Massa invariante al VS
- Numero di vertici

CMS:

- Molteplicita' carica al VS
- Massa invariante al VS
- Frazione di energia al SV...





b-Tagging: con vertici secondari CMS



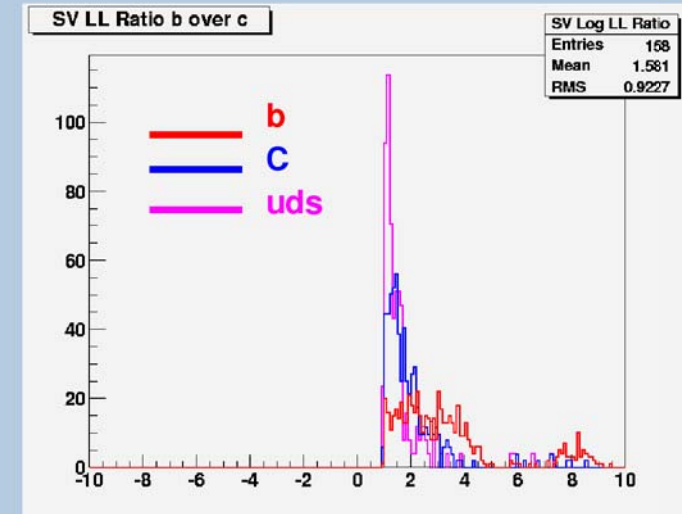
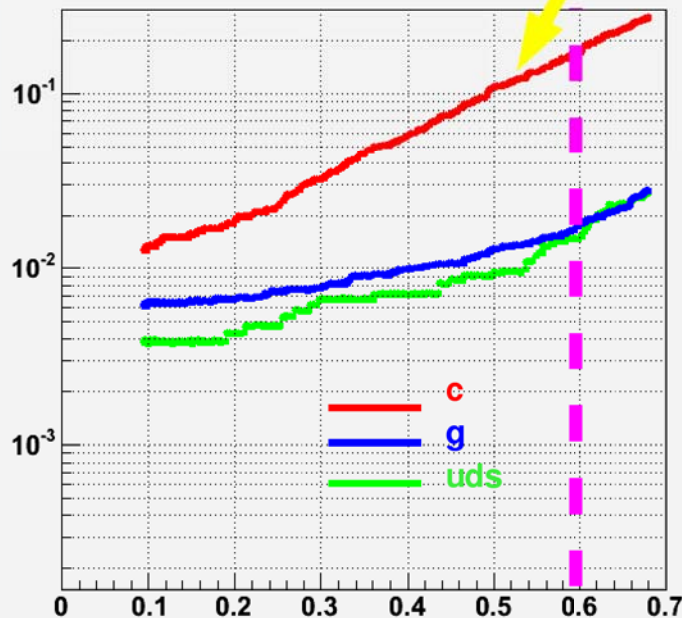
Le informazioni sono combinate in una “likelihood ratio”:

■ Metodo ottimale qualora le variabili non siano correlate

$$L = \frac{\prod f^{segnale}(x)}{f^{bkg}(x)}$$

■ Si riesce a rigettare quark *c*?

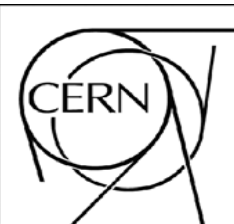
Misid. vs. Efficiency



Jet nel barrel, E_T da 80 -120 GeV, $\epsilon_b = 60\%$:
reiezione $> \sim 50$ per gluoni e quark uds
 $> \sim 5$ per quark *c* (prestazioni peggiorano di un fattore 10)

Risultati preliminari! miglioramenti:

- ◆ Informazioni del parametro di impatto
- ◆ Includere le informazioni dei leptoni
- ◆



b-Tagging: confronto delle prestazioni



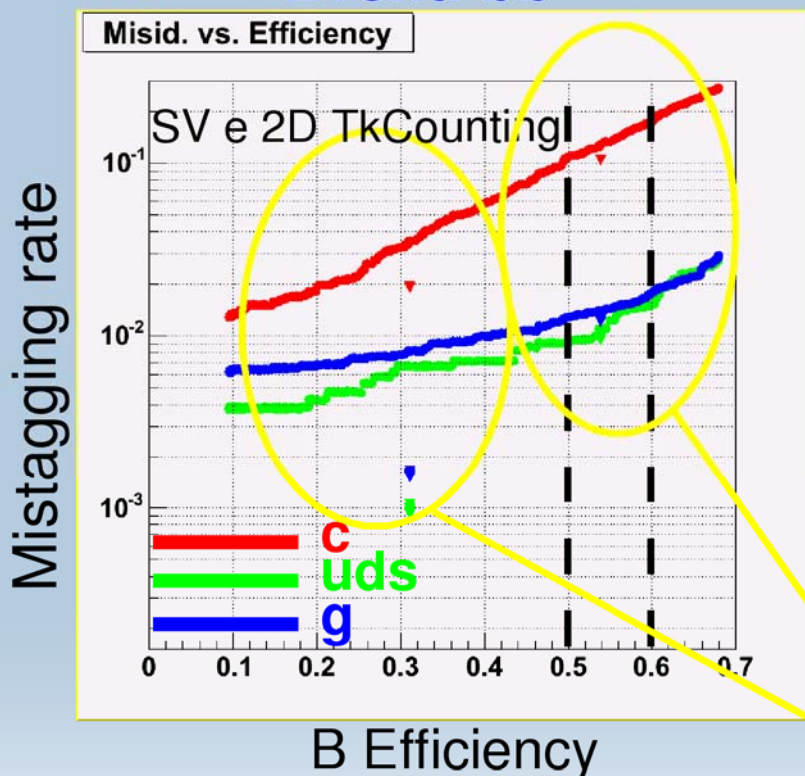
Tra i diversi algoritmi di b-Tag in ATLAS e CMS



Eventi bb



Eventi WH



<i>b</i> selection	2D	3D	+2 ^{ndary} vertex
50 %	151 ± 6	300 ± 15	935 ± 87
60 %	51 ± 1	87 ± 3	160 ± 6

Aggiungendo le informazioni del vertice secondario il potere di reiezione migliora di un fattore > 3

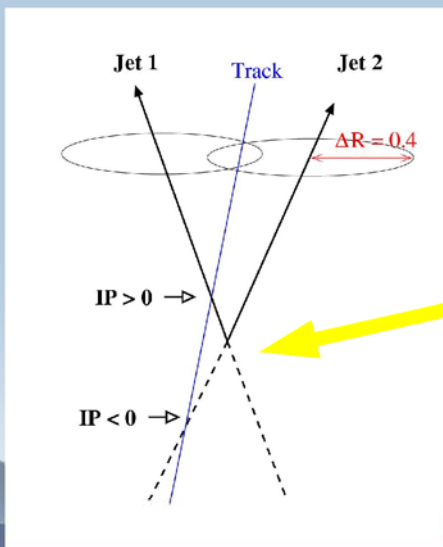
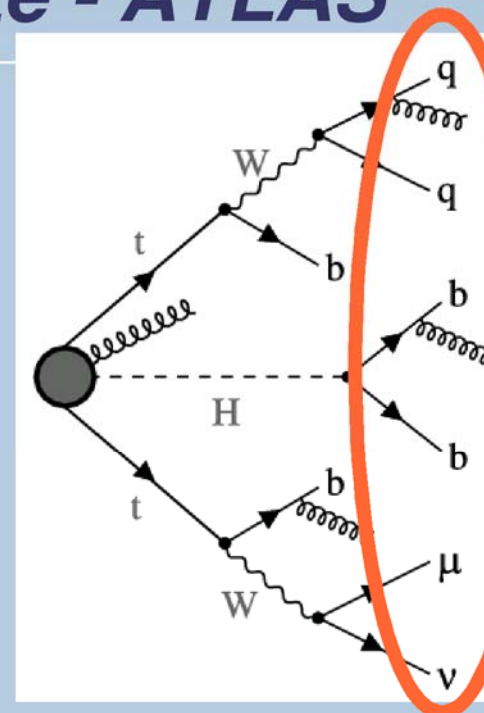
prestazioni confrontabili per alte ϵ_b

“vecchia” calibrazione

Algoritmo SV non contiene ancora le informazioni del parametro di impatto!

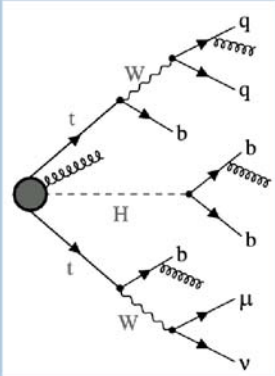
$ttH, H \rightarrow bb$ ($m_H \sim < 130 \text{ GeV}/c^2$)
 $tt \rightarrow 6 \text{ jet}$

Stato finale molto “popolato”:
4 b jet+ (almeno) 2 jet da quark leggeri
Fondo irriducibile: ttj



- **Calibrazione:** jet leggeri filtrati dalla contaminazione di b e c
- **Tracce nelle regioni di sovrapposizione dei jet** possono condizionare le prestazioni di b-Tag => univocamente assegnate al jet piu' vicino in $\eta-\phi$

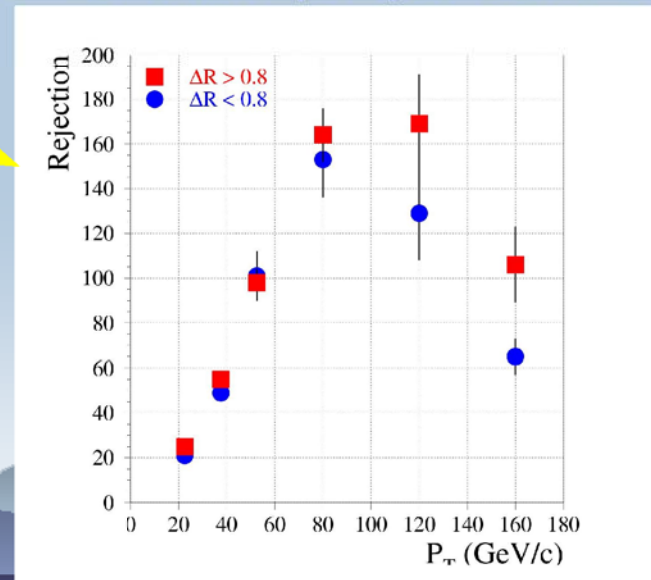
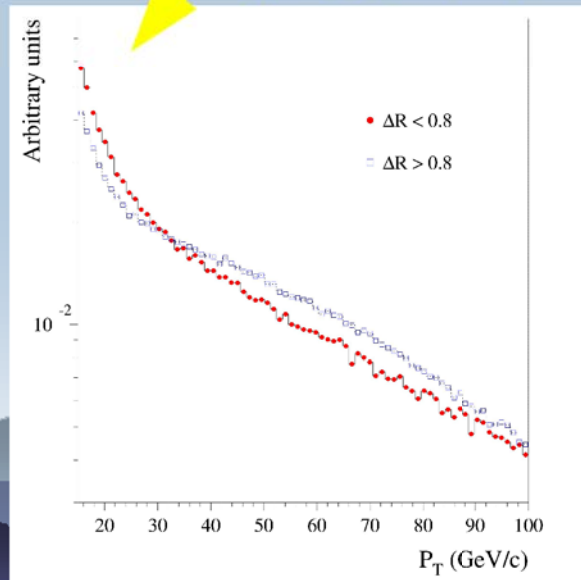
b-Tagging *con topologie complicate - ATLAS*

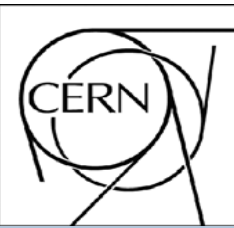


Qualche sistematica sui jets

Un jet e' isolato se si trova a una distanza minima di 0.8 in $\eta-\phi$ dagli altri jet.

- Per jet non isolati il potere di reiezione del b-Tagging degrada di **~35%**
- dovuto al loro spettro in p_T essendo principalmente jet da gluon splitting
- Reiezione Vs p_T a $\epsilon_b=50\%$ confrontabile per jet isolati e non

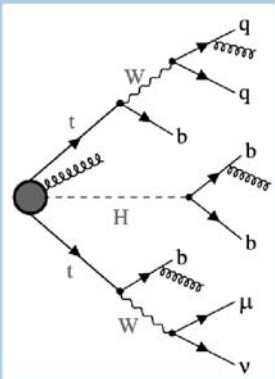




b-Tagging *con topologie complicate - ATLAS*

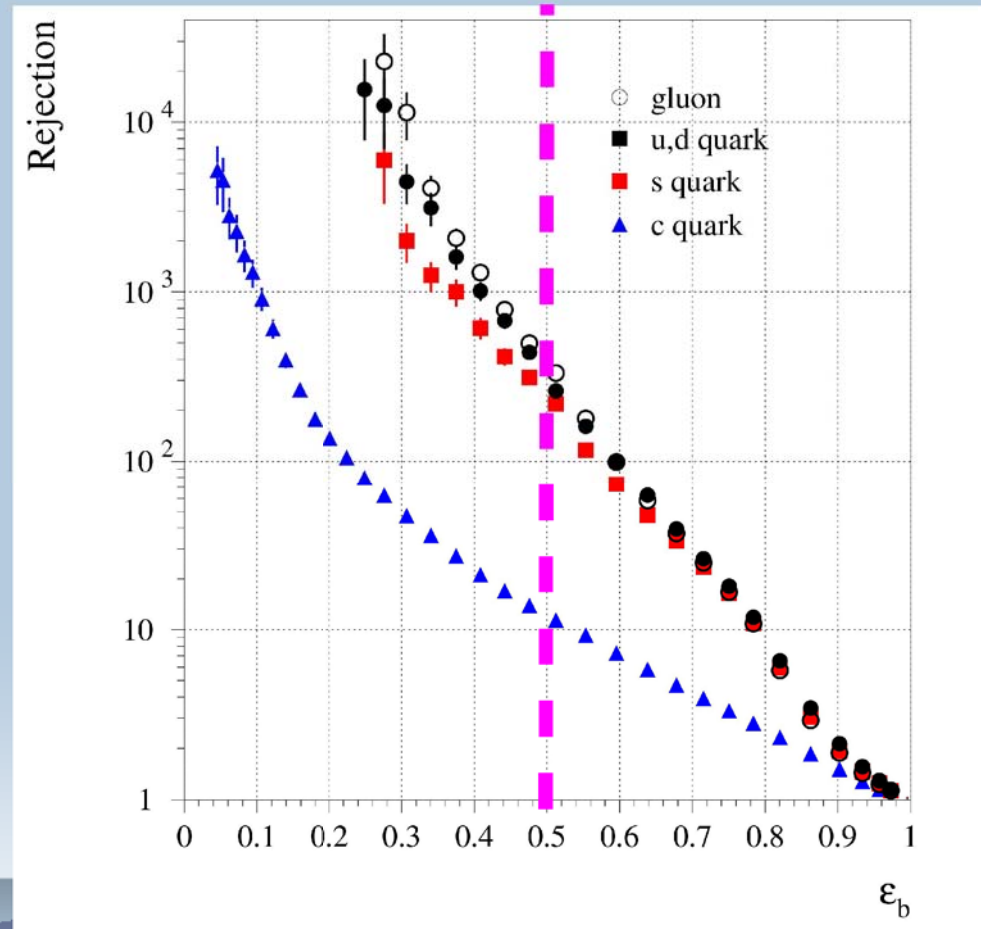


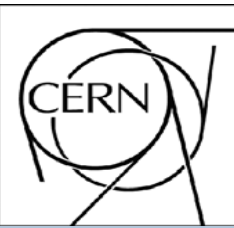
Potere di reiezione del b-Tag per i diversi sapori dei quark
canale $t\bar{t}H$



Senza PileUp

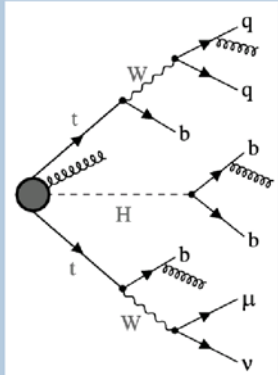
- Reiezione al 50% di efficienza b:
gluoni e quark u d s ~300
quark c ~ 10





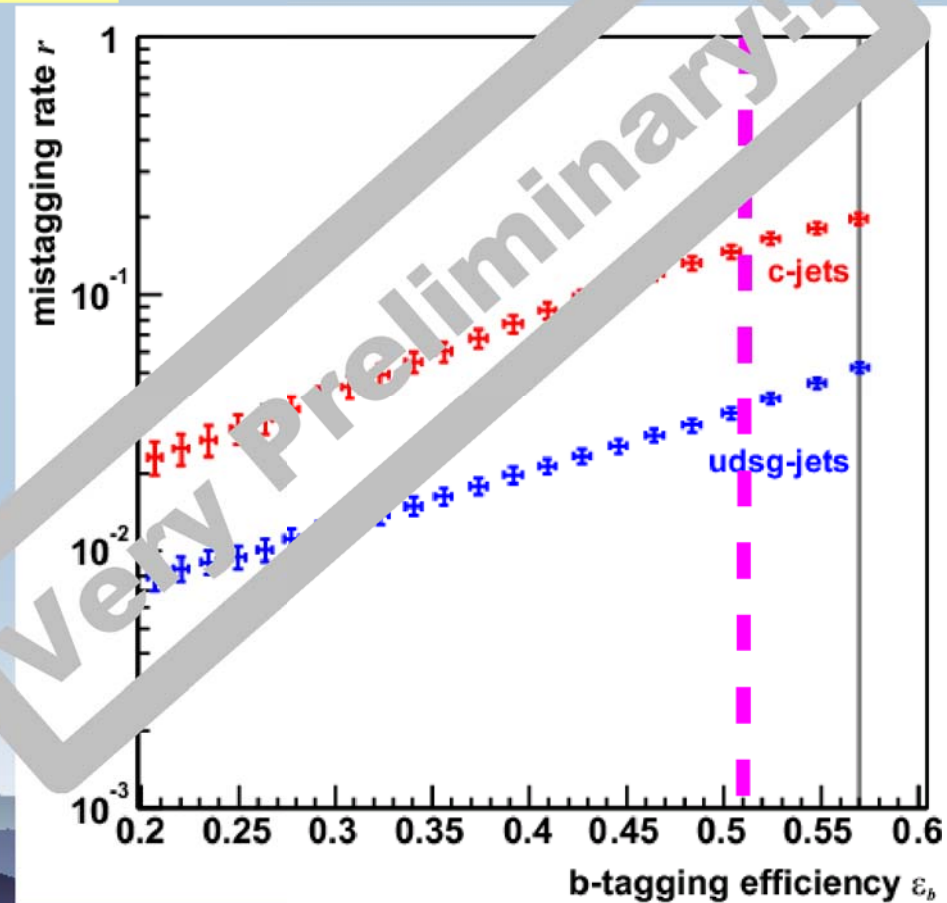
b-Tagging

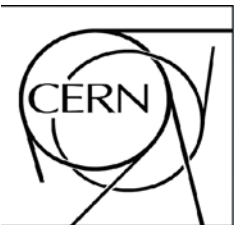
con topologie complicate – CMS



ttH uno dei canali da
investigare per il Physics TDR
WORKING IN PROGRESS

- B-Tagging solo
Vertice Secondario + Cinematica
- Calibrazione non specifica per il ttH
- Reiezione al **50% di efficienza b**:
gluoni e quark u d s ~50
quark c ~10
- Migliorerà sensibilmente!





b-Tagging : verso la presa dati



■ Calibrazione

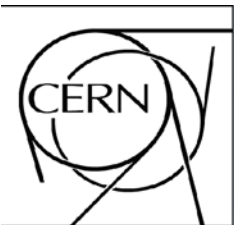
- Determinare i parametri:
p.e. Determinazione dei parametri delle funzioni analitiche usate per i fit (Probabilità di singola traccia o densità di probabilità per la likelihood),
“tool esterni” (Vertex Finder, Jet Finder, etc...)
- Scrivere e leggere file di calibrazione

■ Studiare gli effetti sistematici legati al rivelatore:

- Rivelatore non allineato (esiste qualche studio in ATLAS)
- Effetti dello staging

■ Sviluppo (miglioramento) di nuovi (esistenti) algoritmi:

- In particolare tecniche di b-tagging basate sul leptone, sia ATLAS che CMS ci stanno lavorando
- migliorare il potere di reiezione sui quark c (massa invariante)
- Tool dedicati per identificare un vertice secondario in un b-jet per (aumentare l'efficienza)



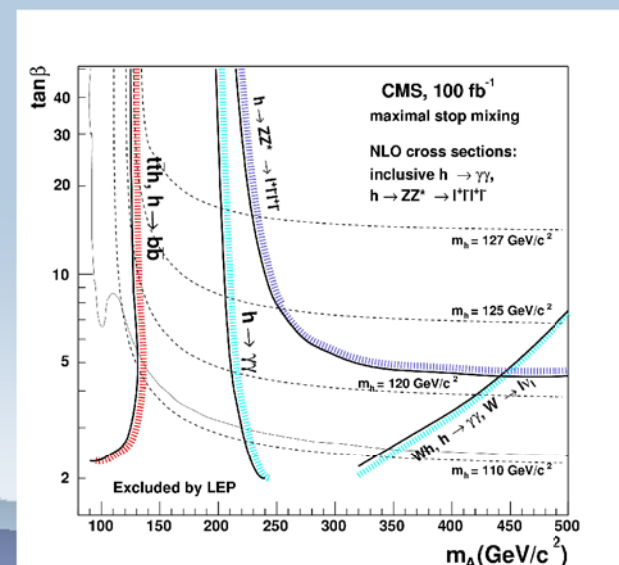
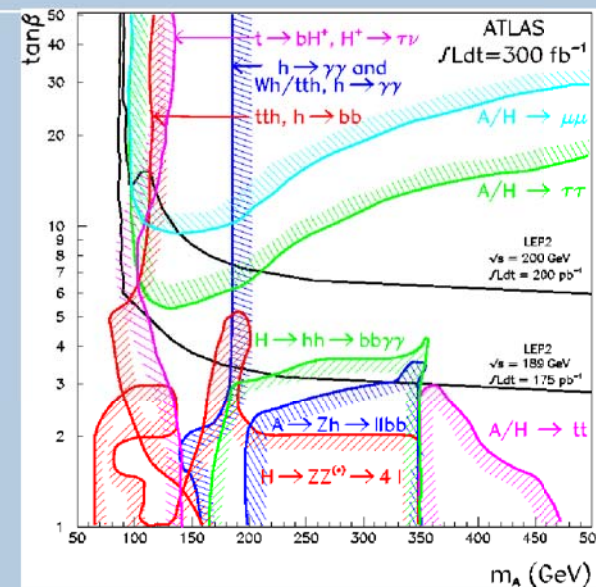
Tau-Tagging: introduzione

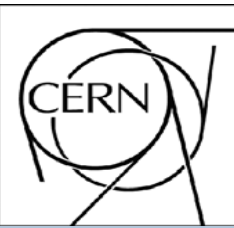


- Importante soprattutto per i canali supersimmetrici (Higgs e produzione di stau)
- Studi in canali esclusivi sono piu' significativi
- Canali di Higgs considerati:
 - $H/A \rightarrow \tau\tau$
 - $H^\pm \rightarrow \tau\nu$
 - $qqH, H \rightarrow \tau\tau$

Principali canali di decadimento:

- ◆ Decadimento leptonic BR ~ 35%
 - ◆ $\tau \rightarrow \nu_\tau + \nu_e + e$
 - ◆ $\tau \rightarrow \nu_\tau + \nu_\mu + \mu$
- ◆ Decadimento adronico 1 prong BR ~ 50%
 - ◆ $\tau \rightarrow \nu_\tau + \pi^c + x \pi_0$ ($x = 0, 1, 2, 3$)
- ◆ Decadimento adronico 3 prong BR ~ 15%
 - ◆ $\tau \rightarrow \nu_\tau + 3 \pi^c + x \pi^0$ ($x = 0, 1, 2, 3$)

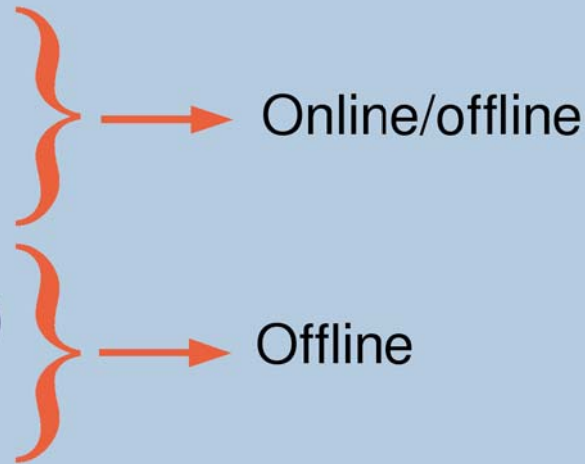




Tau-Tagging: strategie

■ Tau adronico:

- Cluster calorimetrico associato
- Missing E_T
- Jet molto collimati
- 1, 3 tracce cariche
- Parametro di impatto ($ct \sim 90 \mu\text{m}$)
- Presenza di pioni neutri



■ Tau leptonic:

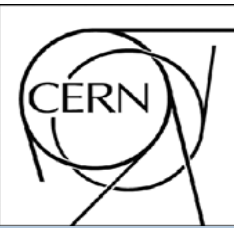
- Elettrone => come decadimento adronico 1 prong
- Muone => Parametro di impatto e identificazione + isolamento del μ

ATLAS:

- Studi di Trigger a Livello 1
- Non ancora studi HLT su canali specifici
- Studi Offline

CMS:

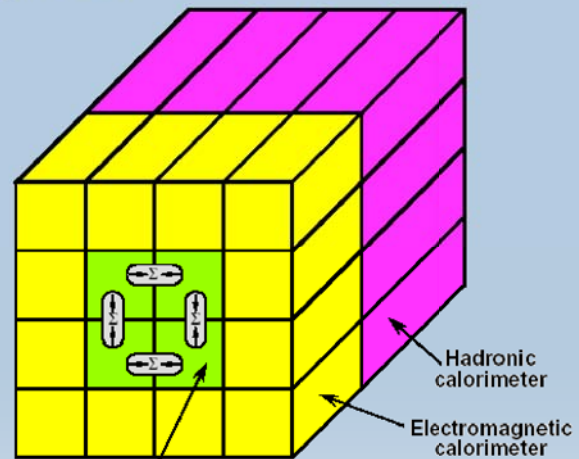
- Studi di Trigger L1+HLT su canali specifici
- Studi Offline in corso d'opera



Tau-Tagging Livello 1

Informazioni calorimetriche -ATLAS

- Isolamento calorimetrico:
usa le 12 trigger tower attorno al cluster "core" (tipicamente 2x2)
- Efficienza di selezione varia con le soglie L1



Trigger towers ($\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.1 \times 0.1$)



Vertical sums in e.m. calorimeter



Horizontal sums in e.m. calorimeter



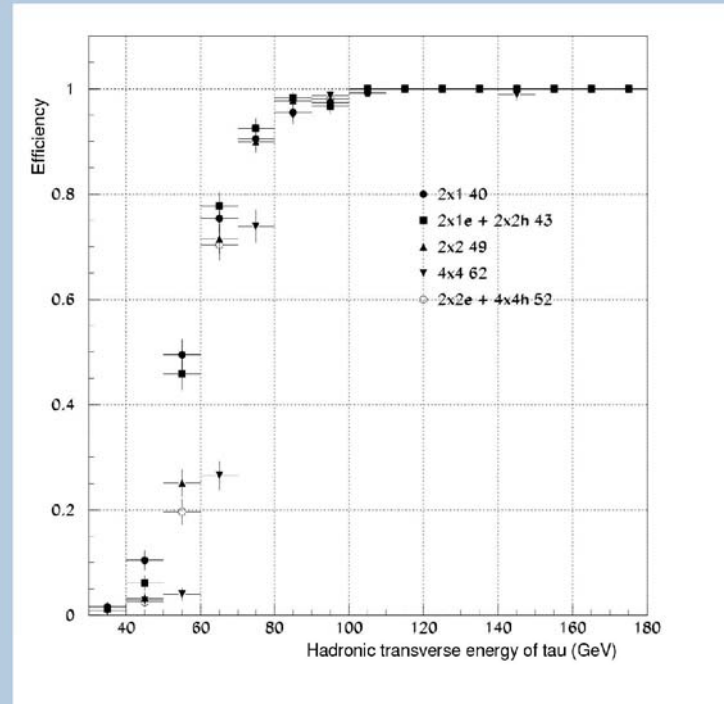
De-cluster/RoI region: local maximum



Electromagnetic isolation < e.m. isolation threshold

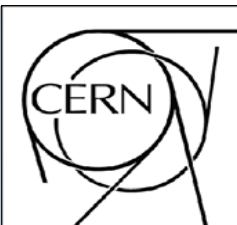


Hadronic isolation < hadronic isolation threshold



A- \rightarrow $\tau\tau$

Efficienze in funzione della Et del tau jet
Non c'e' una differenza significativa tra i decadimenti a 3 and 1 prong

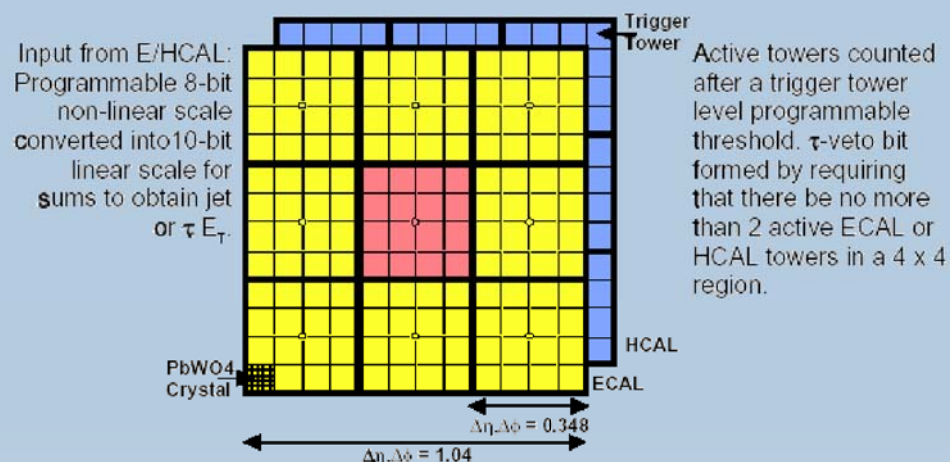


Tau-Tagging Livello 1

Informazioni calorimetriche -CMS



- Isolamento calorimetrico: non piu' di 2 torri calorimetriche attive in una regione 4x4
- Canale di benchmark bbH, h-> 2τ-jet



Jet or τ E_T

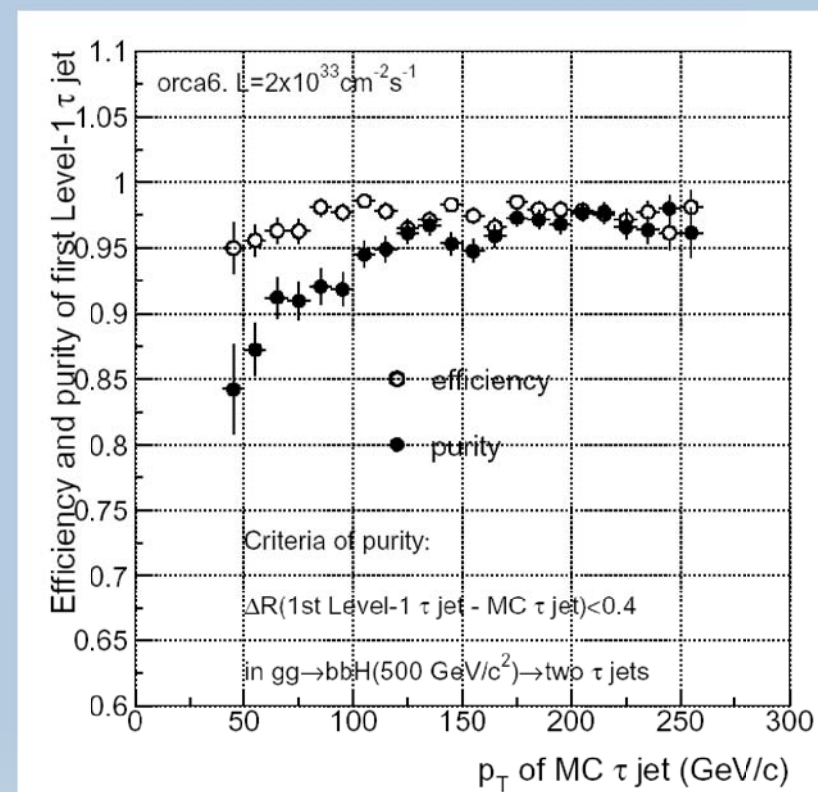
- 12x12 trigger tower E_T sums sliding in 4x4 steps with central 4x4 > others

τ algorithm (isolated narrow energy deposits)

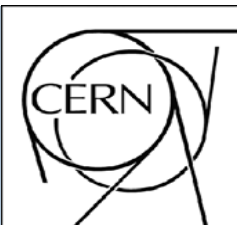
- Redefine Jet as τ if none of the 9 4x4 region τ-veto bits are on

Output

- Sorted top 4 jets & top 4 τ-jets & counts of jets above programmable thresholds



- Purezza: distanza del jet-tau dal tau MC minore di 0.4 in ηφ



Tau-Tagging Livello 1 Rate



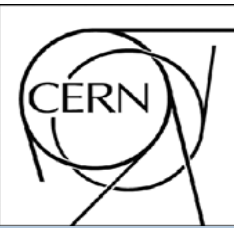
- QCD rate da 2 a 9 kHz alta luminosita

Rate kHz	1T threshold (95%) (GeV)	2T threshold (95%) (GeV)	$\epsilon(H \rightarrow \tau\tau)$ $m_H=200 \text{ GeV}/c^2$	$\epsilon(H^\pm \rightarrow \tau\nu)$ $m_{H^\pm}=200 \text{ GeV}/c^2$	$\epsilon(H \rightarrow \tau\tau)$ $m_H=500 \text{ GeV}/c^2$
3	93 (86)	66 (59)	0.78	0.81	0.90
6	82 (75)	60 (53)	0.87	0.84	0.92
8	78 (71)	57 (50)	0.90	0.85	0.93
9	76 (69)	56 (49)	0.91	0.86	0.93

- QCD rate da 16 a 0.6 kHz bassa luminosita'



Core- E_T threshold	E.M. isolation threshold	Rate at $10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
20 GeV	7 GeV	$16.3 \pm 0.4 \text{ kHz}$
40 GeV	10 GeV	$2.1 \pm 0.2 \text{ kHz}$
60 GeV	12 GeV	$0.6 \pm 0.1 \text{ kHz}$



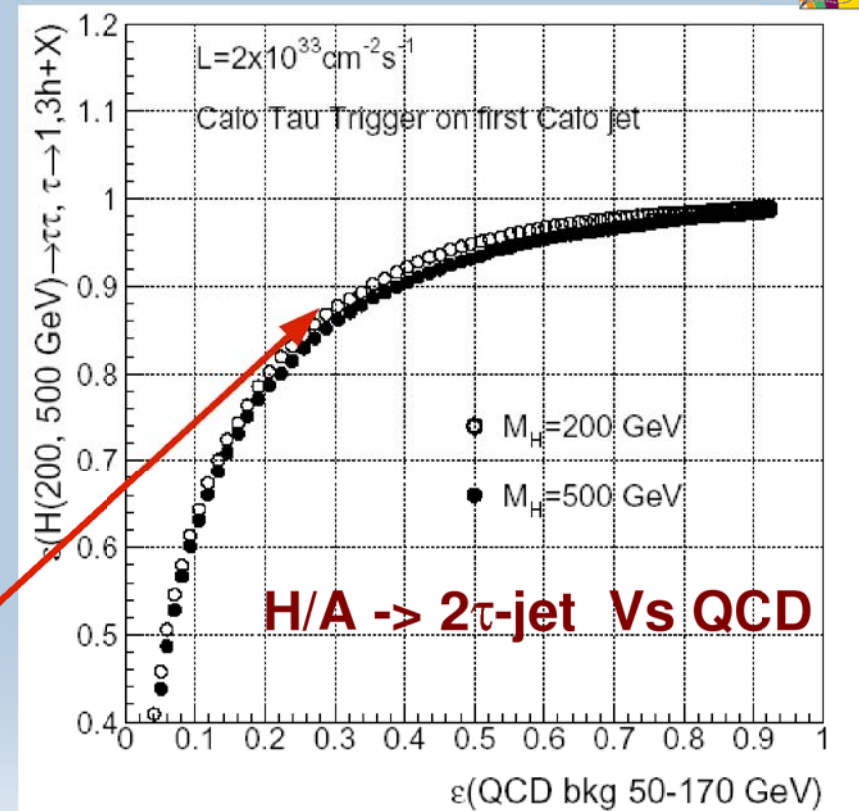
Tau Tagging HLT - CMS

=> Circa il 90% dell'energia del jet tau e' contenuta in un cono di ~0.2 e il 98% in cono ~0.4

- A Livello 2 risposta dei calorimetri e' migliorata, maggiore granularita'
- Tau-jet ricostruito attorno alla direzione di L1
- L'energia trasversa delle torri calorimetriche e' usata per costruire la variabile di isolamento:

$$P_{isol} = \sum_{\Delta R < 0.4} E_T - \sum_{\Delta R < 0.13} E_T$$

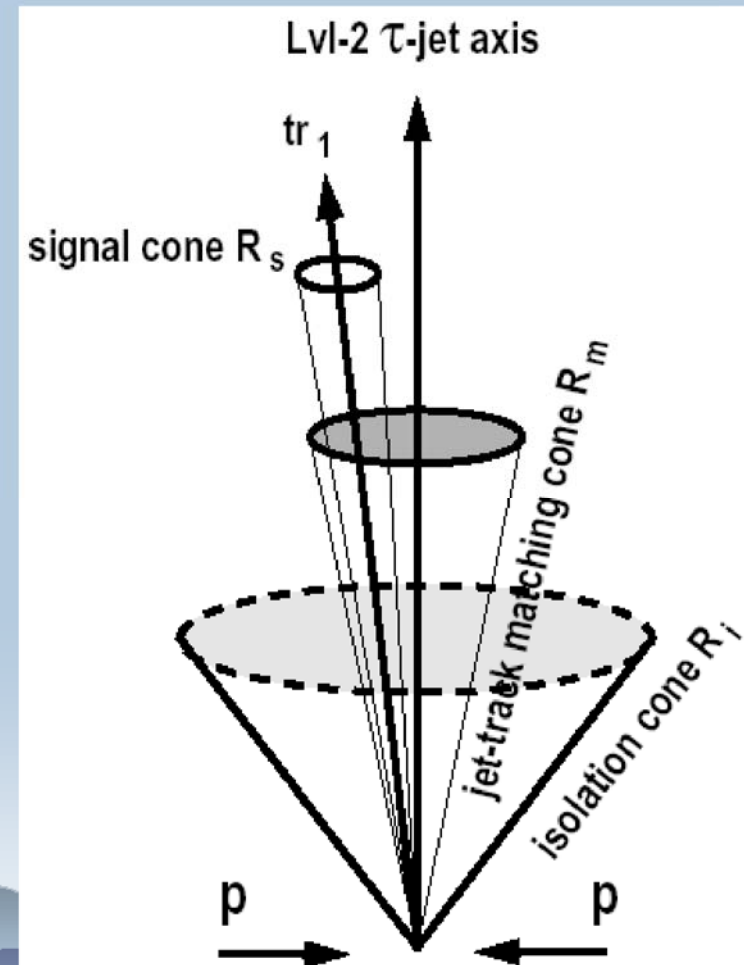
efficienza di segnale ~86%
 efficienza QCD ~30%

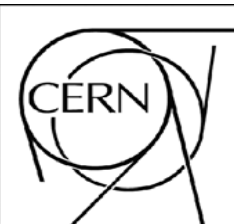


Le informazioni del tracciatore possono essere usate per migliorare l'isolamento
=> solo informazioni dei Pixel oppure tracce parzialmente ricostruite

Strategia generale:

- Cercare la traccia con p_T maggiore nel cono $\Delta R < R_m$ ($R_m \sim 0.1$)
- Tutte le tracce nel cono $\Delta R < R_s$ ($R_s \sim 0.07$) attorno alla traccia di più alto p_T sono supposte venire dal tau
- Viene richiesto che nessuna traccia sia presente nel cono di isolamento $R_s < \Delta R < R_i$ ($R_i \sim 0.2 \div 0.5$)



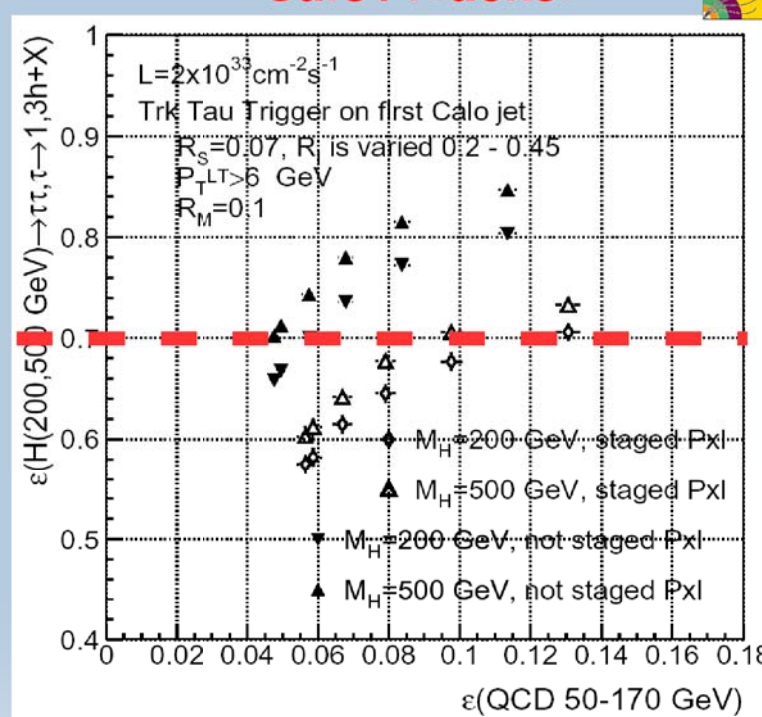
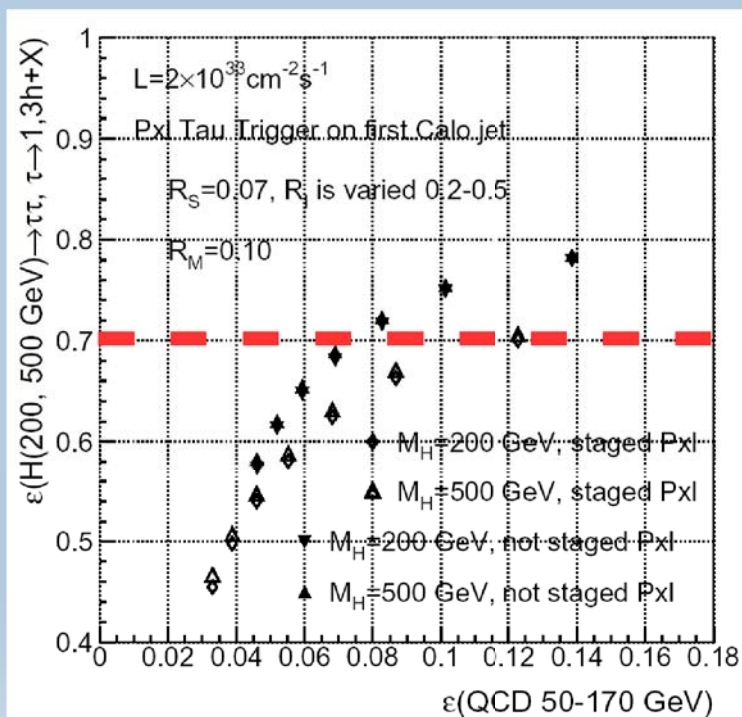


Tau Tagging HLT - CMS

Efficienze rispetto al Livello 1 di $h/A \rightarrow 2$ tau-jet Vs QCD variando il cono di isolamento da 0.2 a 0.5

Calo+Pixel

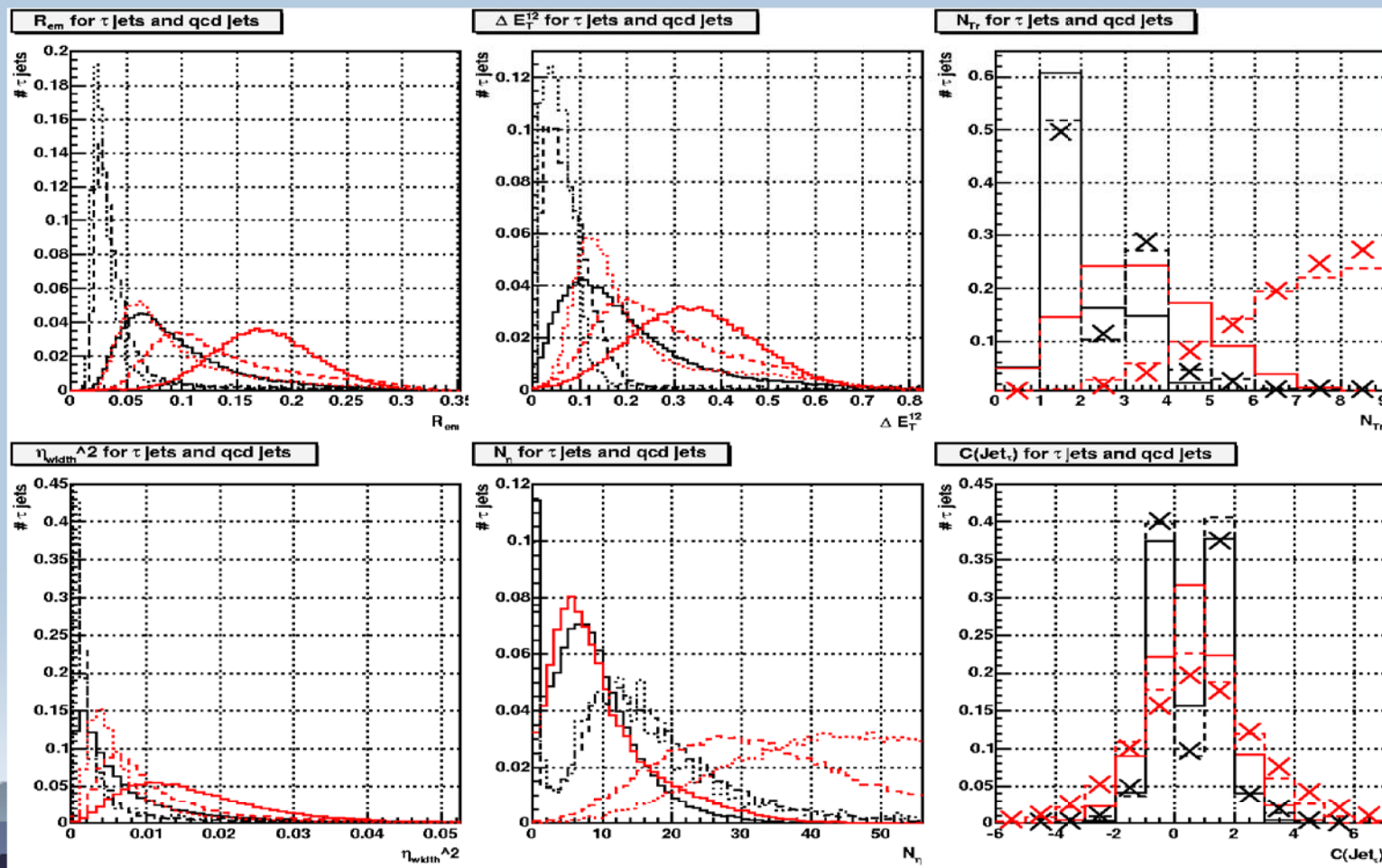
Calo+Tracker



Il Trigger Calo+Pixel e' circa 2 volte piu' veloce del Tracker+Calo con una perdita di efficienza di circa il 15%

$H \rightarrow \tau\tau$

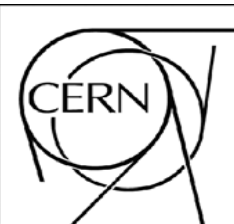
Le variabili discriminanti sono combinate in una likelihood



τ -jets

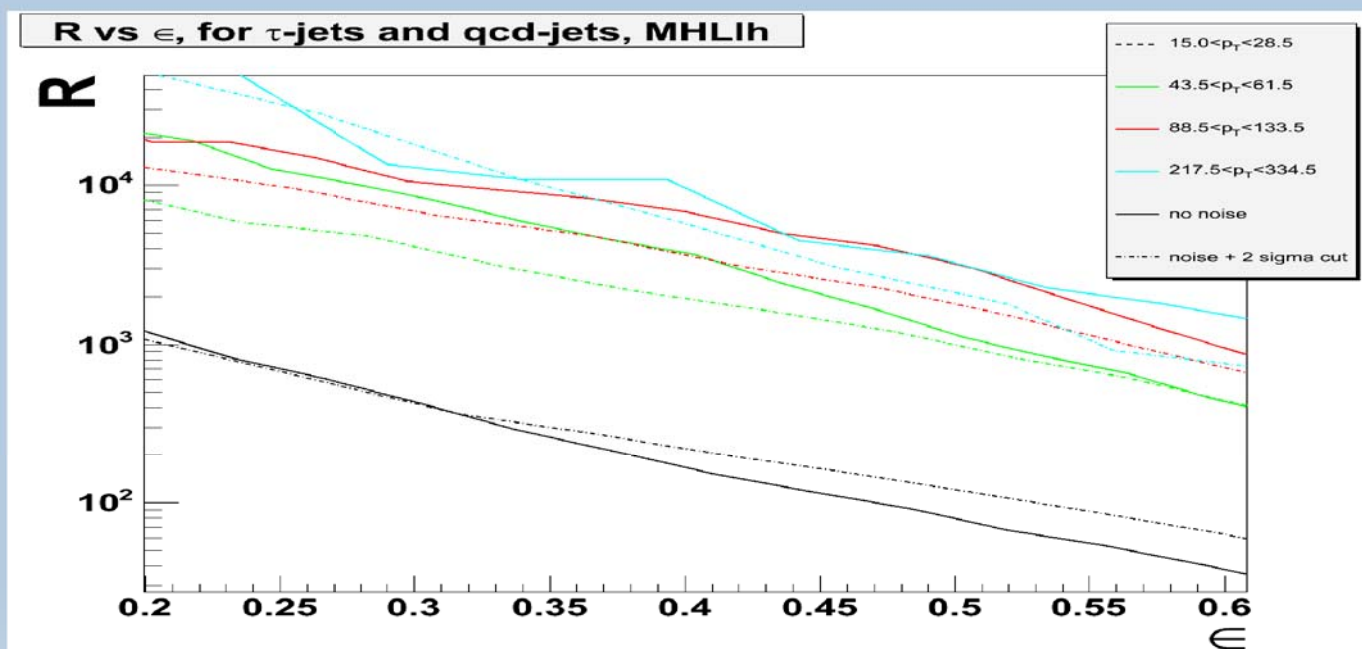
qcd-jets

per diversi p_T bin

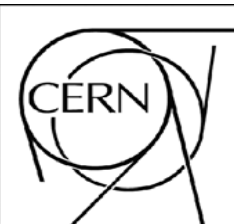


Tau-Tagging offline – ATLAS

Efficienza di segnale Vs Reiezione del fondo QCD
introducendo il noise e per diversi pT bin



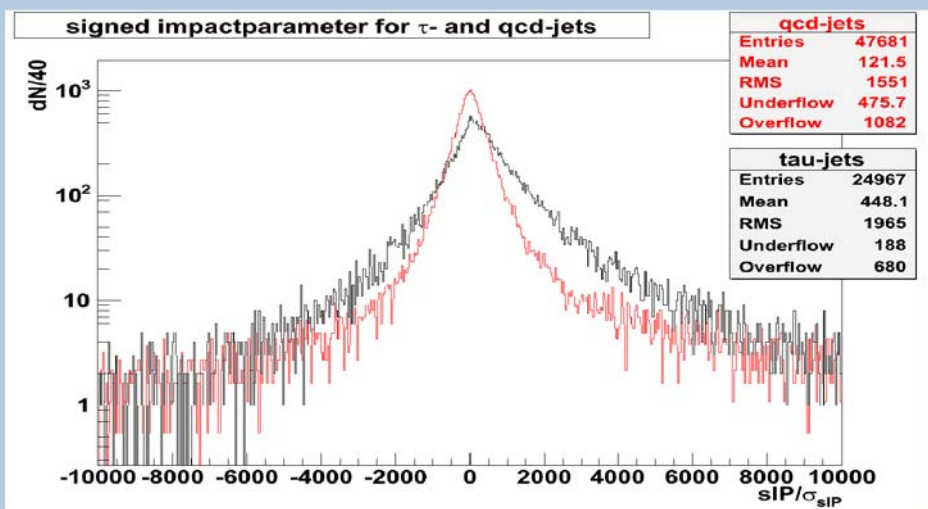
Per un'efficienza di segnale di $\sim 45\%$ la reiezione QCD varia da 200 a 10000 dipendente da pT



Tau-Tagging Parametro d'Impatto



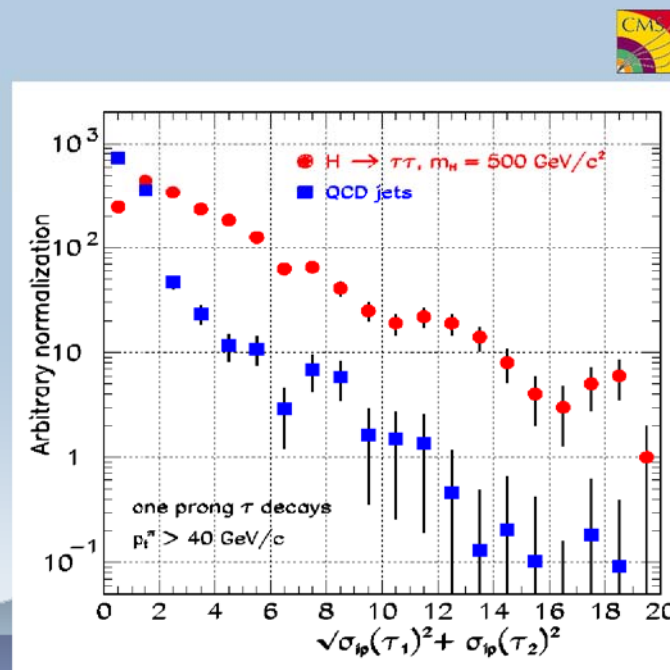
Il parametro di impatto puo' essere usato per migliorare la reiezione del fondo QCD



ATLAS:
parametro di impatto senza segno

CMS: utilizza la somma in quadratura dell PI dei due tau:

$$\sigma_{12} = \sqrt{\sigma_{ip}(\tau_1)^2 + \sigma_{ip}(\tau_2)^2}$$



Conclusioni

- Tanto lavoro e' stato fatto e tanto ce ne e' ancora da fare...
- Confronti significativi sono difficili da fare: rivelatori diversi campioni di eventi diversi
- le prestazioni dei rivelatori (simulati) non cosi' distanti
- gli strumenti (framework, algoritmi, etc..) sono in continua evoluzione => performance di b-tagging e tau-tagging evolvono con loro
- e' importante approfondire la sistematica e gli studi "realistici" (detector non perfettamente allineato)
- sia per ATLAS che per CMS lo stato del lavoro e' avanzato le attuali prestazioni assicurano che riusciremo a rivelare decadimenti di b e τ nei canali di scoperta