

Il passaggio da Geant3 a Geant4



Tommaso Boccali
SNS Pisa



Outline



- Geant 3
- Geant 4
 - Perché?
 - Quando
 - Come
 - Stato attuale
- E FLUKA?
- Validazione della fisica
- Performance di calcolo
- Esperienze di ATLAS, CMS



Geant 3



- La prima versione di **Geant** risale al **1974**, per simulare il passaggio di **UNA** particella (singola!) attraverso **UN** materiale
- **Geant 3** nasce nel 1982 durante lo sviluppo di OPAL, principalmente da parte di **René Brun** e **Andy McPherson**
- Scritto in FORTRAN
 - ~200000 righe di codice (vers 321)
 - Fa uso pesante di Common Block
- Alla base della simulazione degli esperimenti LEP



Perché Geant4?



- Sviluppo cominciato nel 1993 a KEK e al CERN
- Pensato per gli esperimenti LHC
 - Era chiaro che il software NON sarebbe stato scritto in FORTRAN, ma (almeno in) C++
 - Quidi decisione drastica: in pratica sospendere se attività' di sviluppo su Geant 3, e passare subito ad una versione in C++ su cui concentrare tutti gli sviuppi
- RD44 (1994): progetto di ricerca del CERN, alla fine del quale si è confluiti verso una vera e propria collaborazione Geant4



Vantaggi



■ C++ vs Fortran

- Da un lato più complicato
 - 600000 linee di C++
- Da un altro più gestibile...
- Si combina meglio con gli esperimenti attuali
- (È difficile trovare gente adesso che conosca il Fortran)



Geant4 adesso



- Siamo arrivati alla versione 6.0
- Grosso lavoro di validazione da parte degli esperimenti LHC
 - Si vuole cercare di arrivare ad una simulazione “realistica” con anticipo rispetto alla presa dati
 - Negli ultimi 2 anni numerose richieste per avere feature avanzate
 - Production cut per regioni
 - Riflessioni nella geometria
 - Gruppo LCG di validazione all'opera



Una parentesi: FLUKA



- Theory-driven, stand alone
 - copre TUTTA la fisica dai neutroni termici ai raggi cosmici
- A differenza di Geant, conserva automaticamente energia, impulso, numero barionico e carica
- Considerato migliore di Geant per interazioni adroniche a basse energie – background!
- Ma:
 - difficile integrazione col framework degli esperimenti
 - solo ALICE con un approccio di Virtual MC lo ha ben integrato
 - difficile riusabilità della geometria
 - soluzione: FLUGG che permette di rileggere la geometria di Geant4 in FLUKA



Validazione



■ Di cosa?

- Framework (geometria, del fascio, caricamento dell'evento)
- Fisica
- Performance

Geant 4 può essere considerato un prodotto usabile da LHC solo se:

- Rende conto delle interazioni particelle-rivelatori entro un errore considerato accettabile dall'utente
- Permette un'agevole integrazione con i framework degli esperimenti
- Permette di simulare milioni di eventi complessi in tempi ragionevoli e senza eccessivi crash



Validazione



■ Framework

- Poco interessante qui, più un problema per computing science

■ Fisica

- Punto cruciale

■ Performance

- (purtroppo) altro punto cruciale
 - Non è facile essere performanti e stabili come il fortran
- ... e tra questi ce metterei anche la facilità con cui il programma di simulazione si presti a girare in un ambiente di griglia



Validazione della fisica



■ G3 contro G4?

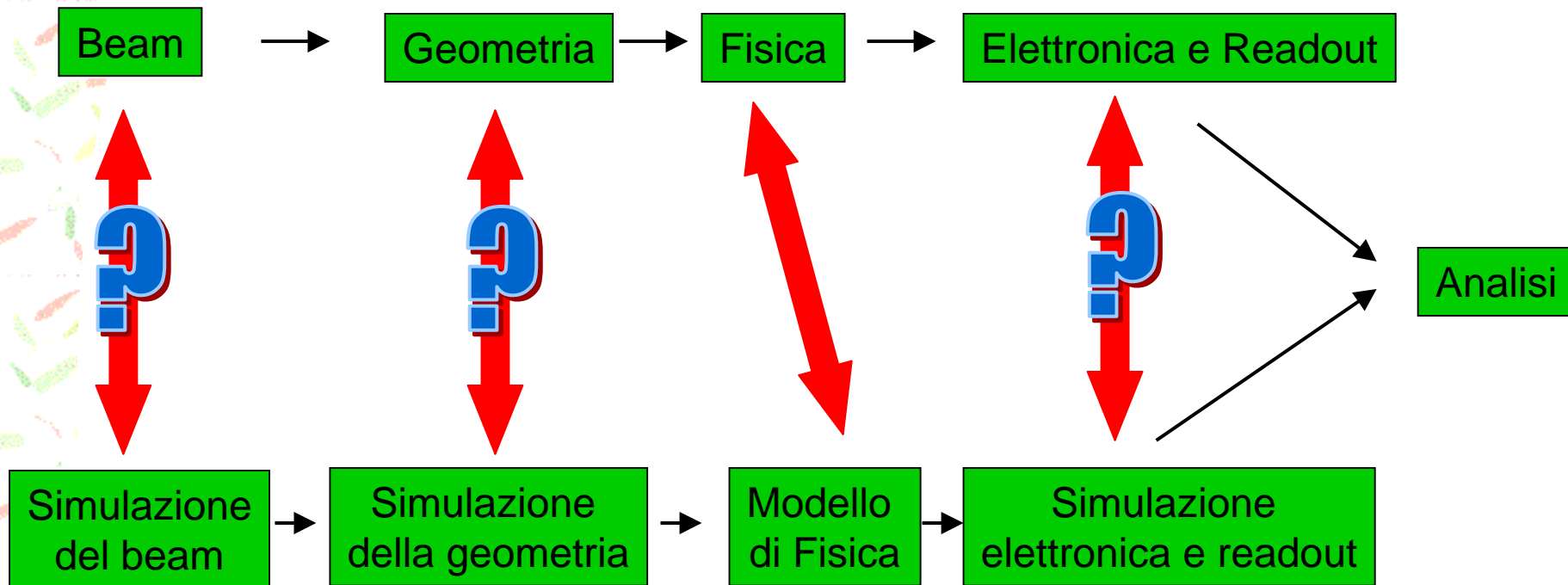
- Ha un qualche interesse?
- ATLAS e CMS hanno ancora dei programmi di simulazione basati su G3
- Può essere utilizzato solo come test iniziale di consistenza, ma per una vera validazione è necessario il confronto con i dati
- Fisica a bassa energia: molti dati disponibili dalla fisica nucleare, da interpretare ...
- G4 contro test beam di LHC (per validare i detector)



Cosa vuol dire validare la fisica?



- Validare il modello di fisica inserito nel programma di simulazione non è immediato





Dove si vuole arrivare?



- Dando per scontato che una simulazione perfetta non esiste, il problema è capire quale sia il limite accettabile
 - Per definizione, una simulazione viene considerata usabile se l'errore sistematico che introduce su di una data misura NON è dominante
 - Esempi: $H \rightarrow \gamma\gamma$, ATLAS ha dimostrato che una miscalibrazione residua (dopo la calibrazione in situ) di $\sim 1\%$ sulla risoluzione del calorimetro em è al limite
 - Quindi la simulazione dovrebbe essere affidabile a qualche %, per fare in modo che la successiva calibrazione possa convergere



Fisica



- Fisica

- Adronica

- Vari modelli disponibili

- Elettromagnetica

- Un unico modello disponibile; possibilità di definire la precisione



Fisica adronica



- In G4 non esiste un modello teorico valido a tutte le energie che possa descrivere l'evoluzione di uno sciame adronico da principi primi
- Soluzione: usare modelli diversi per diversi processi e preparare **ricette** per applicare il modello giusto nel momento giusto
- Benchmark?
 - ATLAS: 1.5% di errore nella simulazione della risposta a jet di 4 TeV potrebbe generare un falso segnale di Compositeness
 - questo prima di aver calibrato in situ, ma non si può partire da troppo lontano!
 - e non ci sono sample di calibrazione a energia così alta: estrapolare da jets da recoil su $Z \rightarrow ll$



Physics list



- In Geant4, queste ricette sono le dette **Physics List**
 - “**patchwork**” di modelli che insieme coprono tutto il range di energia
- Il gruppo **Hadronic Physics Working Group** ne ha preparate un certo numero, a seconda dell’use case dell’utente
- Diverso ambito:
 - Da semplice parametrizzazione dei dati disponibili (veloci!), a modelli teorici poi controllati sui dati (moolto più lente)



Physics List



■ Geant 3:

- Principalmente GEISHA; in realtà a LEP Fluka veniva utilizzato interfacciato a Geant 3

■ Geant 4:

- I più usati sono
 - LHEP
 - QGSP

LHEP

Data Driven
Parametrizzazioni Low/High
Energy
Risonanze non presenti
In pratica una reimplementazione
di GHEISHA

QGSP

Theory Driven, Quark
Gluon String Model
Bertini/Binary
cascade sotto 1.3
GeV



Come validare / scegliere il modello?



■ Bassa energia:

- Utilizzare dati su scattering di pioni al di sotto del GeV – dati disponibili dalla fisica nucleare

■ Media energia:

- Principalmente test beam di LHC; utilizzando SPS è possibile esplorare il range di energie fino a $\sim O(300)$ GeV

■ Alta energia:

- Durante il commissioning e i primi fasci; processi ben noti come $Z \rightarrow \text{jet jet}$, $Z \rightarrow \text{ll}$ possono essere studiati

■ Altissima energia:

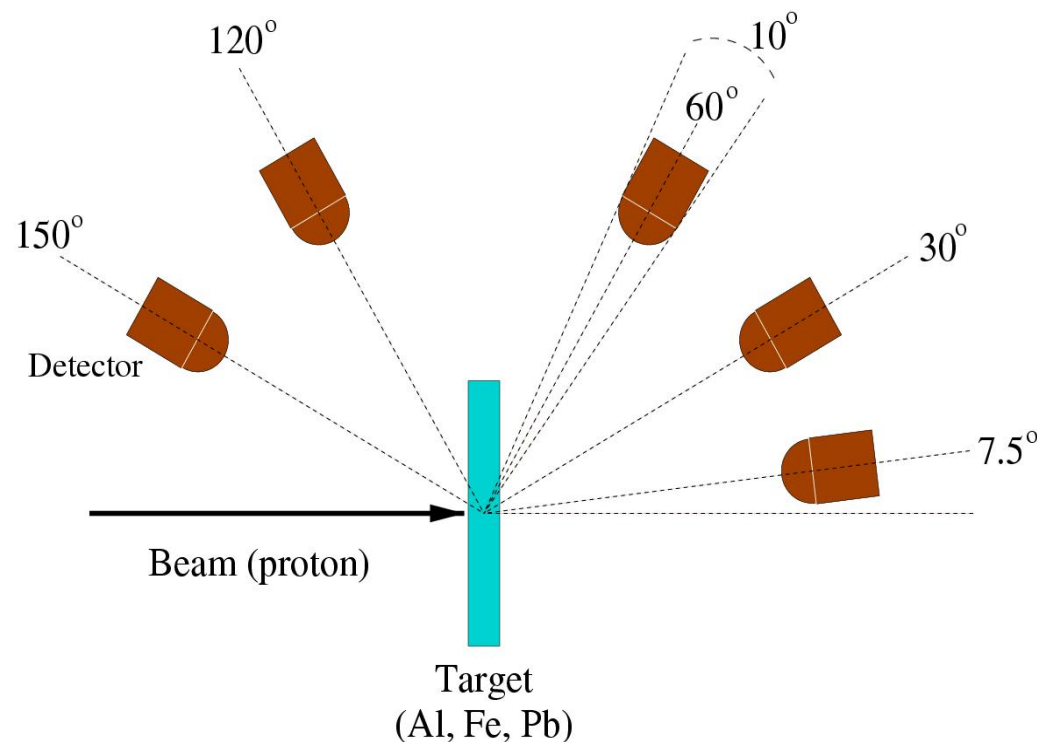
- Solo estrapolazioni: come si comporta un pione da 1 TeV nei calorimetri adronici?

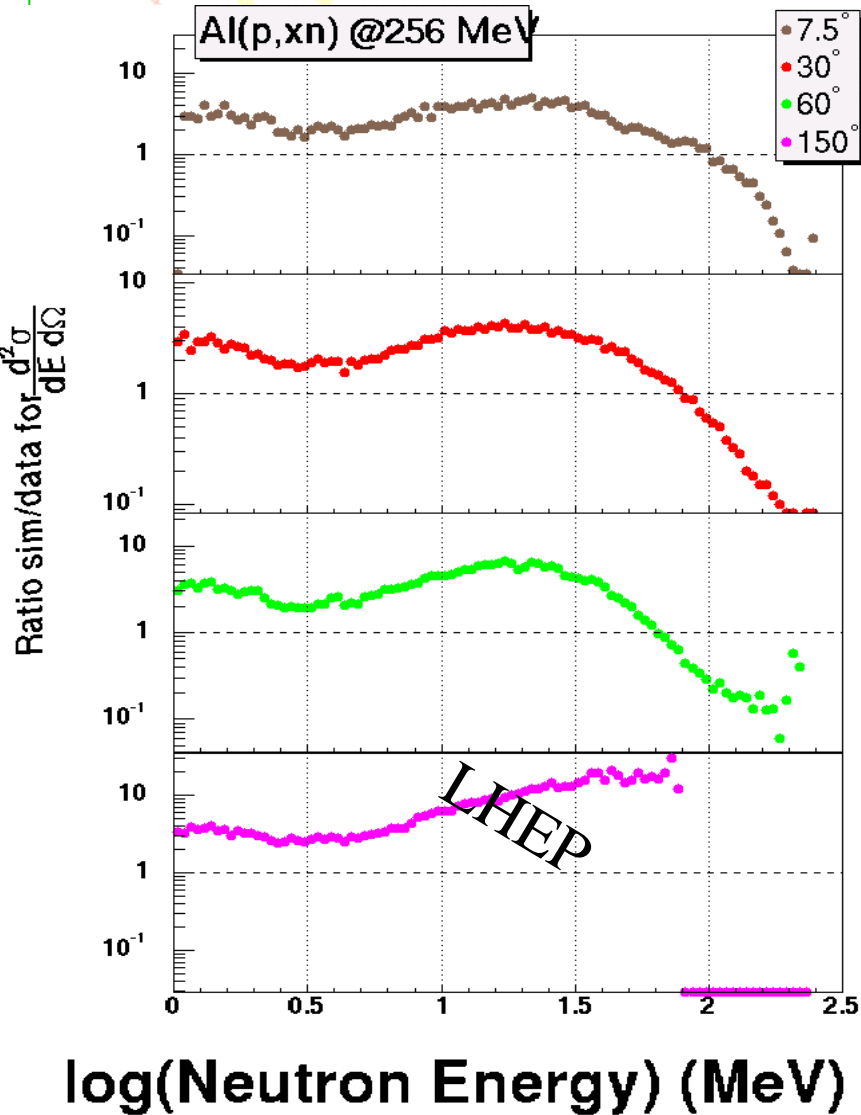
Basse energie



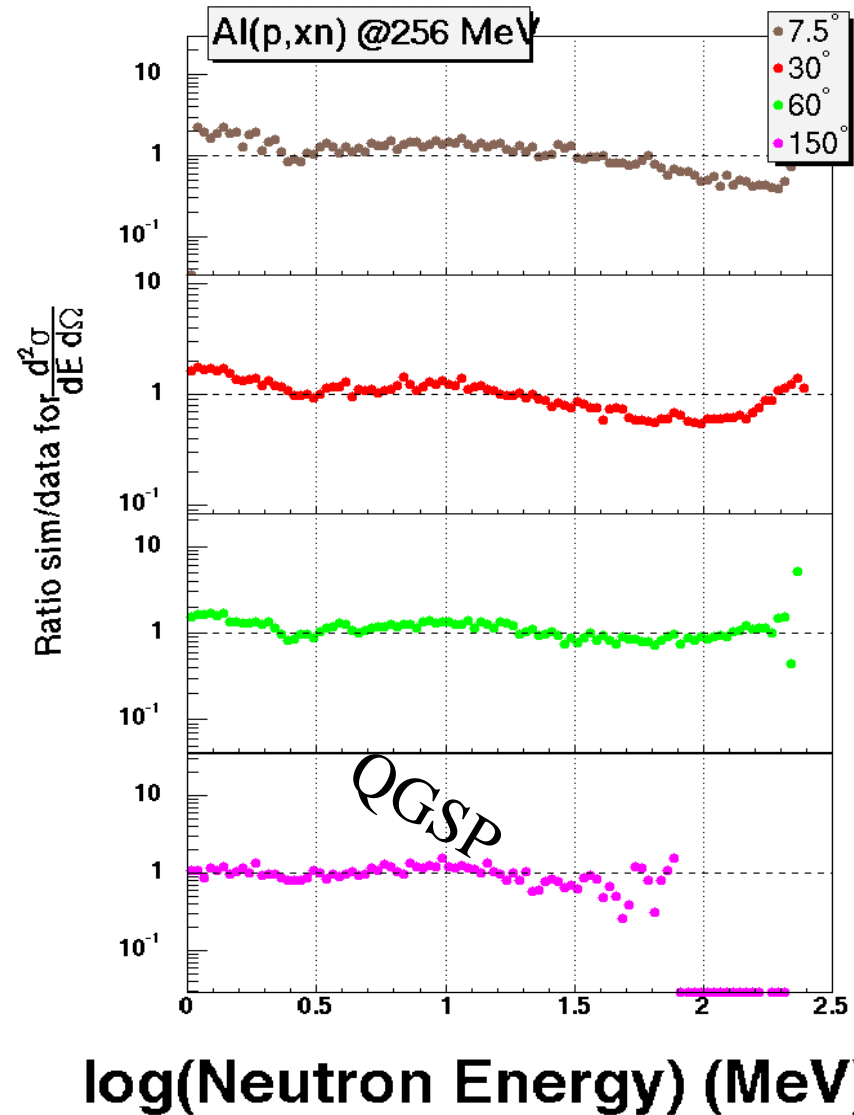
- ALICE ha studiato dati di Los Alamos su scattering di protoni su targhetta fissa, rivelando i neutroni a diversi angoli ed energie
- Targhetta sottile: approssimazione di singola interazione
 - Tutto più facile

Protoni da 113, 256, 597 & 800 MeV

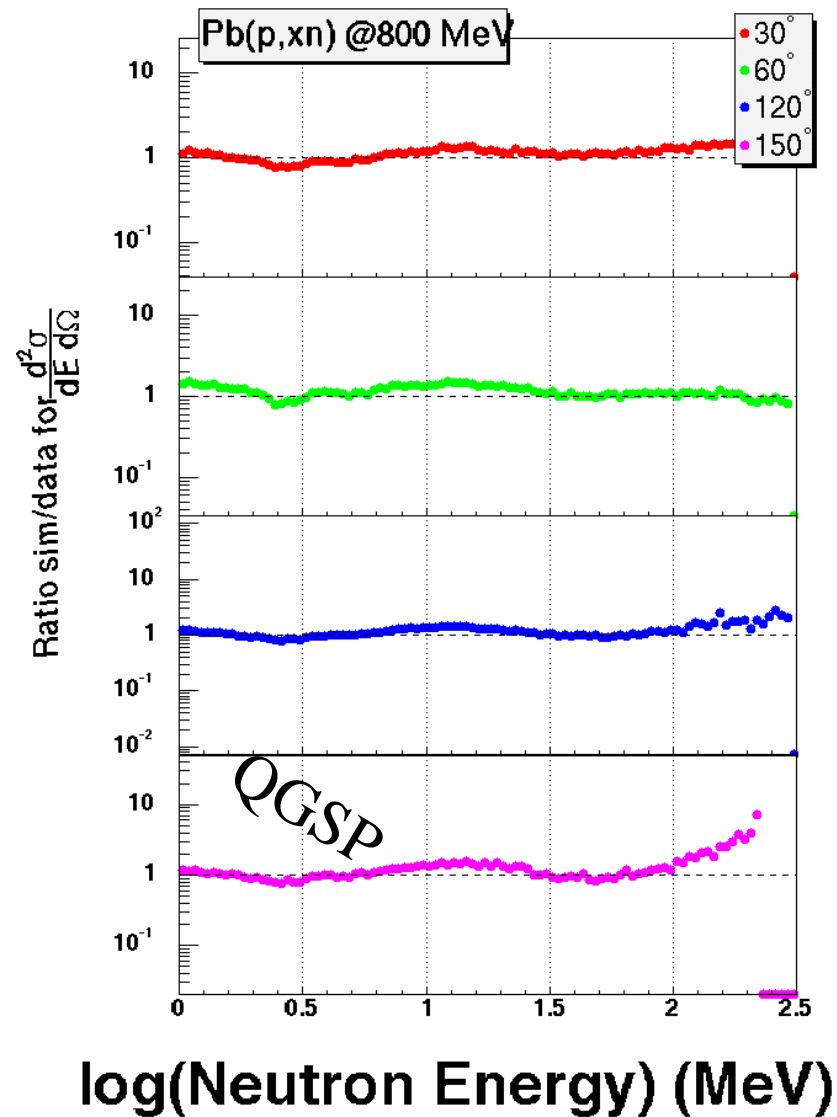
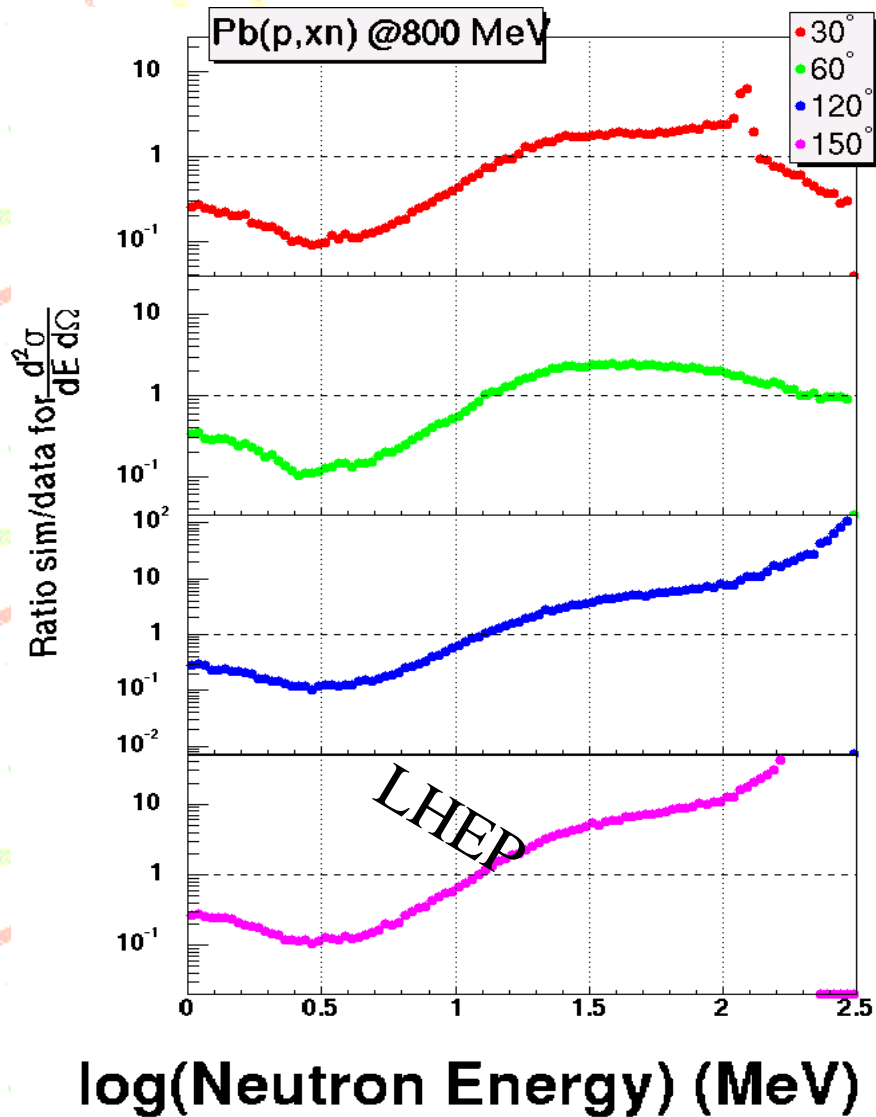




.Boccali



log(Neutron Energy) (MeV)





- LHEP (G4) non descrive bene i dati sperimentali a bassa energia
- QGSP (G4) e Fluka vanno decisamente meglio
 - Accordo meglio dell'ordine del 20% dovunque



Test Beam di LHC



- ATLAS e CMS hanno concluso un primo programma di test beam sui calorimetri per validare la simulazione
 - ATLAS Hadronic end-cap (HEC)
 - ATLAS Hadronic calorimeter (Tile)
 - CMS HCAL
- Fasci di pioni/elettroni/muoni fra 1-200 GeV disponibili da SPS
- Secondo programma: in questi giorni; **poi**
basta (chiusura di SPS)



Quali sono le quantità importanti?

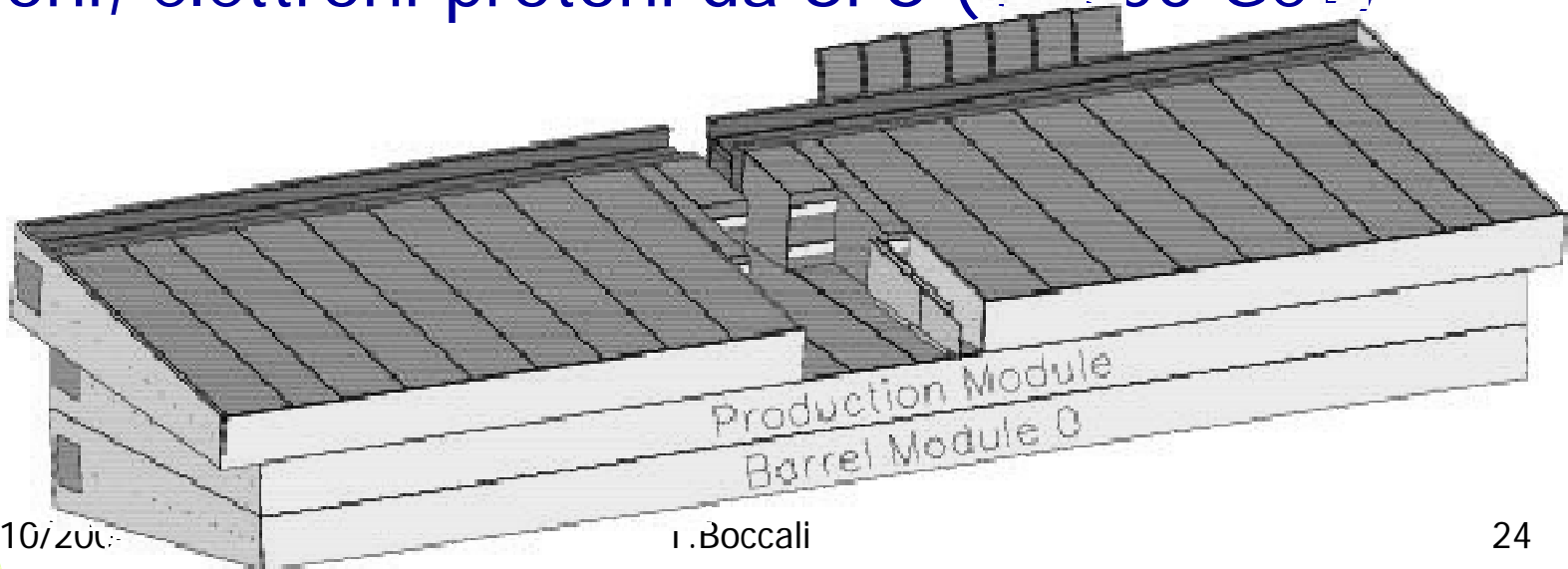


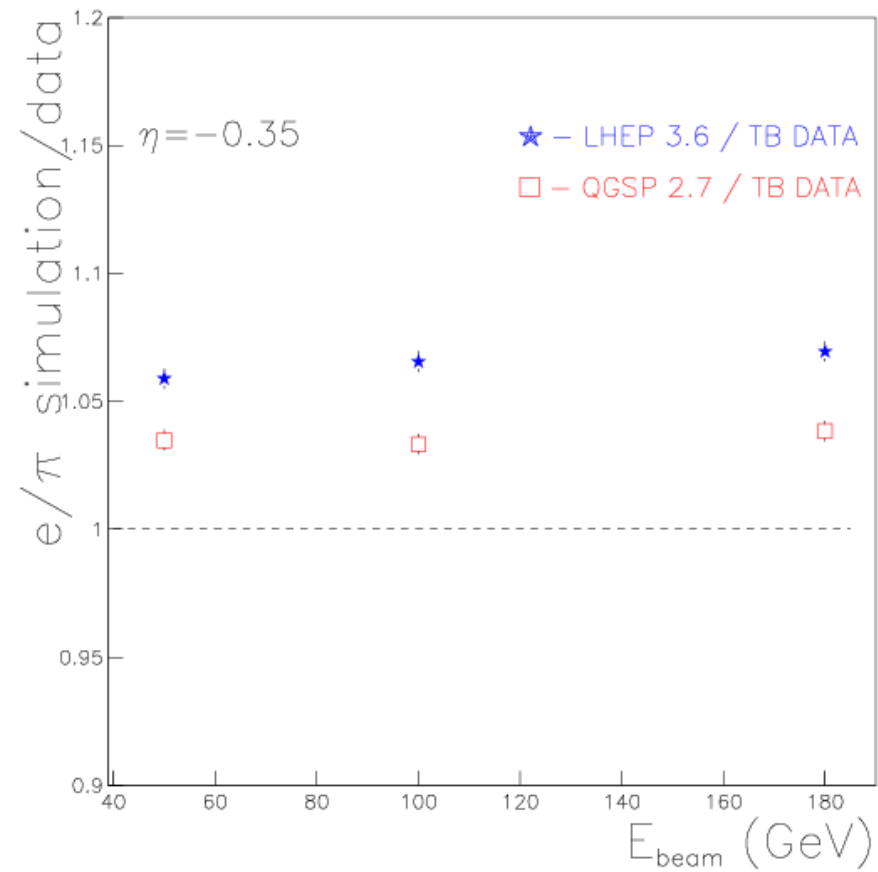
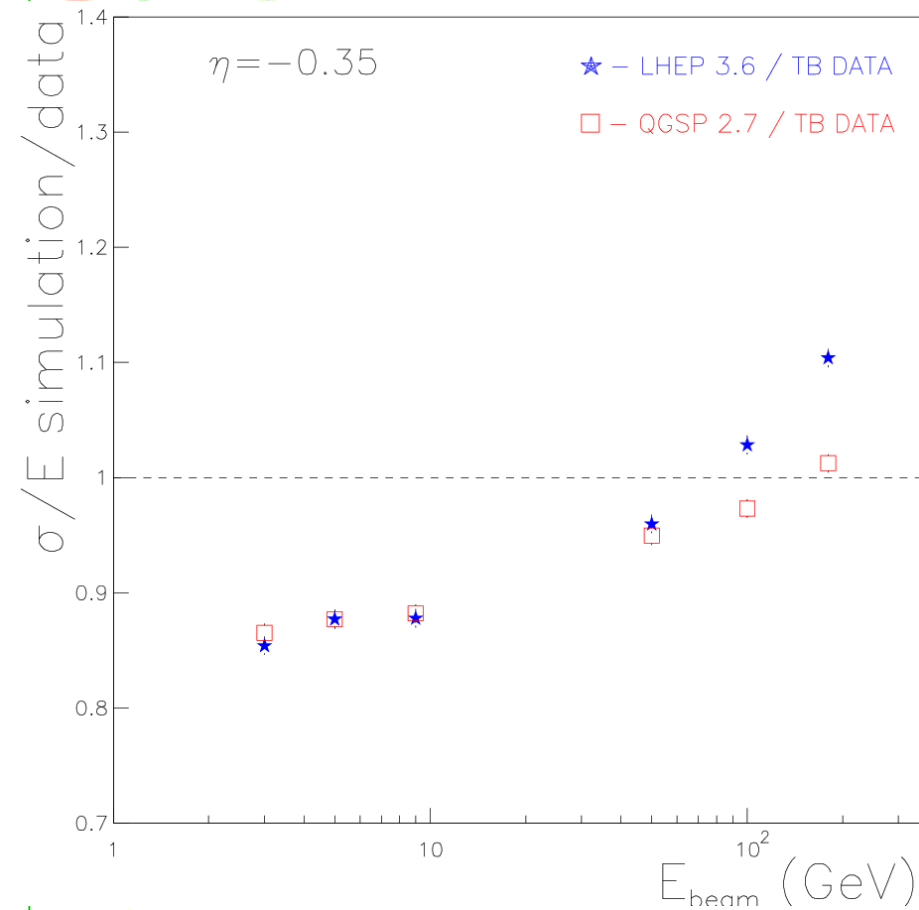
- Energia ricostruita
 - dà la scala assoluta di calibrazione
- Risoluzione energetica
- Separazione adroni/elettroni
- Profilo degli sciami
 - Utilizzabile per identificazione di particelle

ATLAS TileCAL



- Calorimetro acciaio/fibre scintillanti
- Messi su fascio
 - 2 moduli extended barrel
 - 1 modulo barrel di produzione
 - 1 modulo barrel zero
- Pioni, elettroni protoni da SPS (1 ÷ 300 GeV)



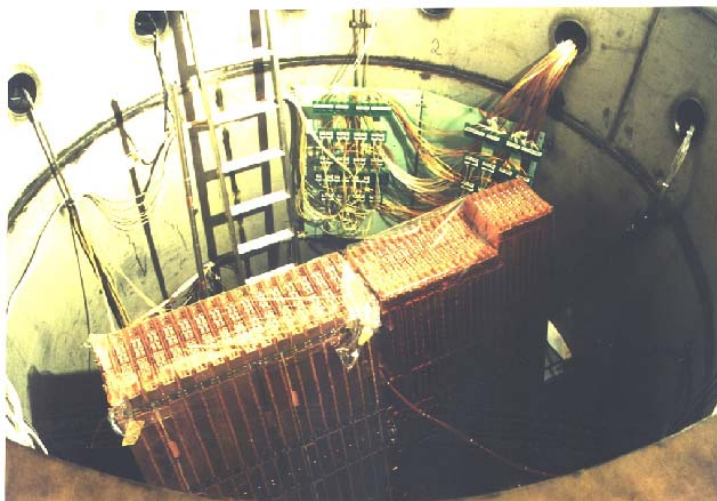


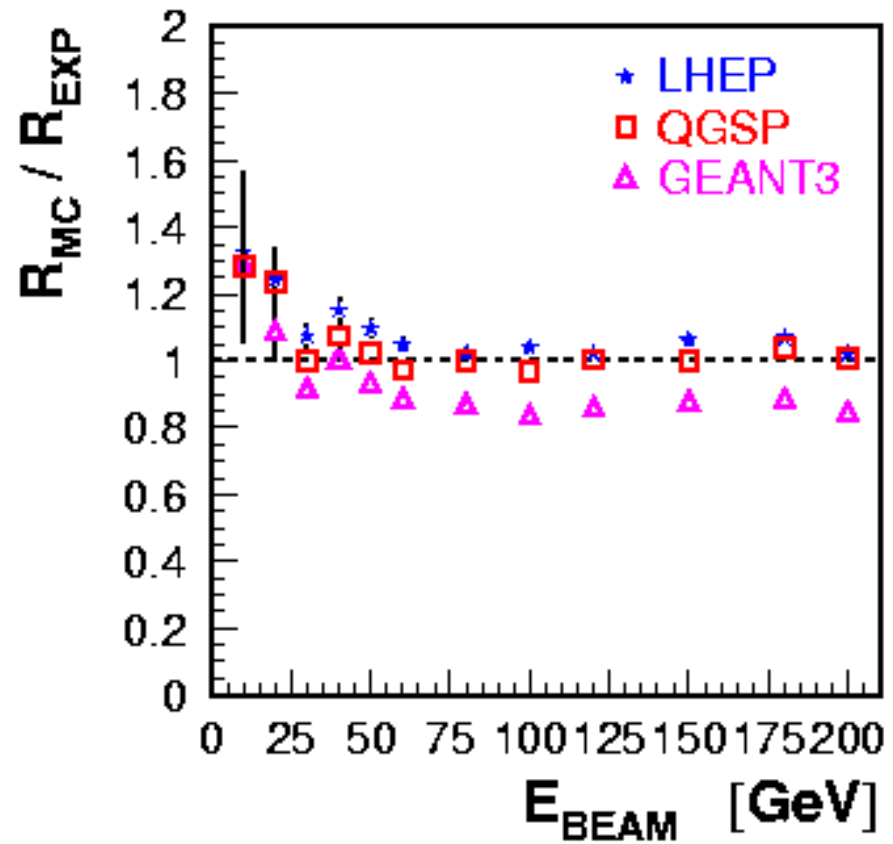
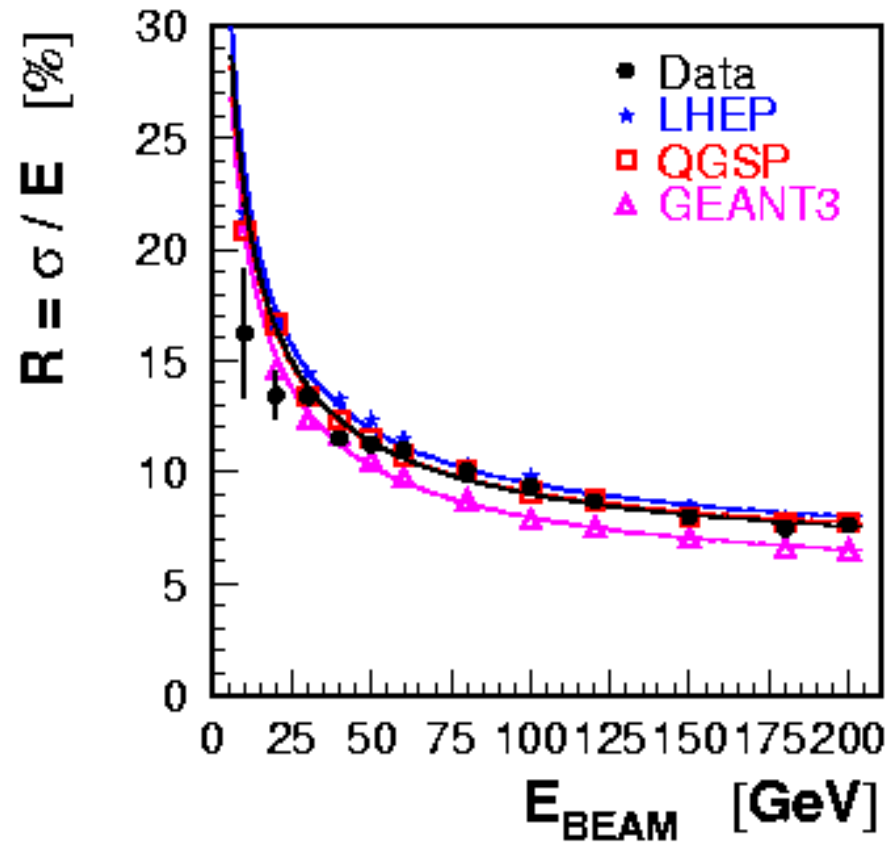
Risoluzione in energia

e/π



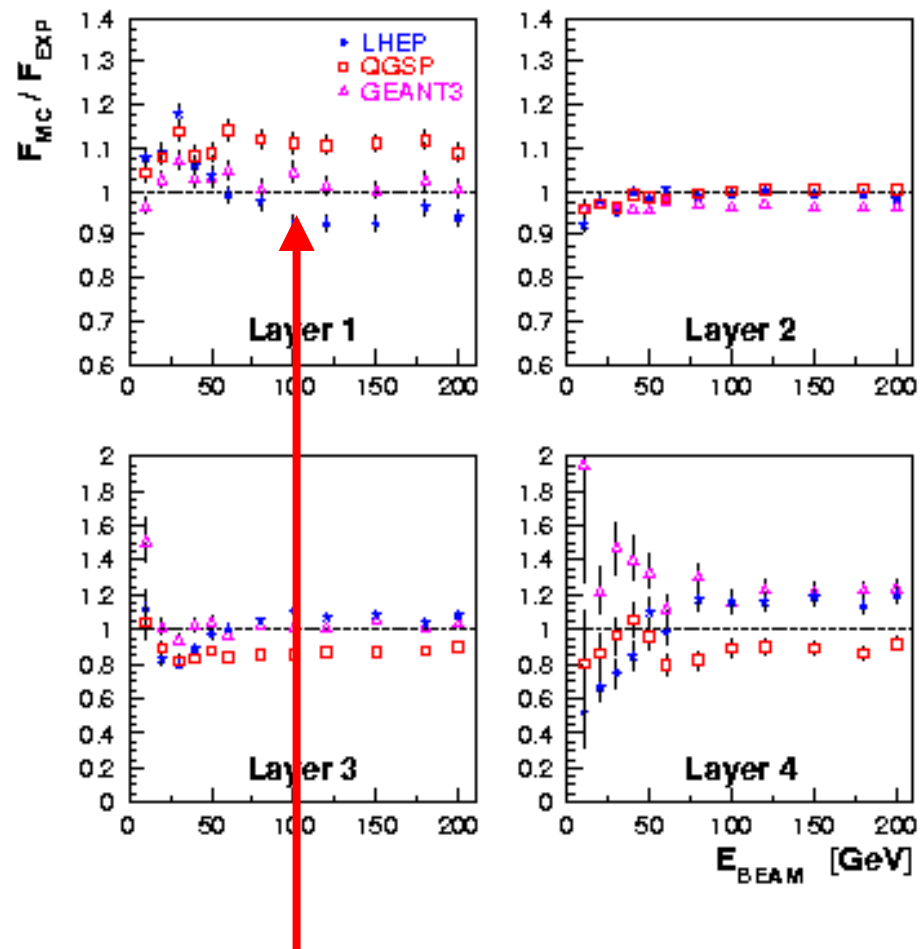
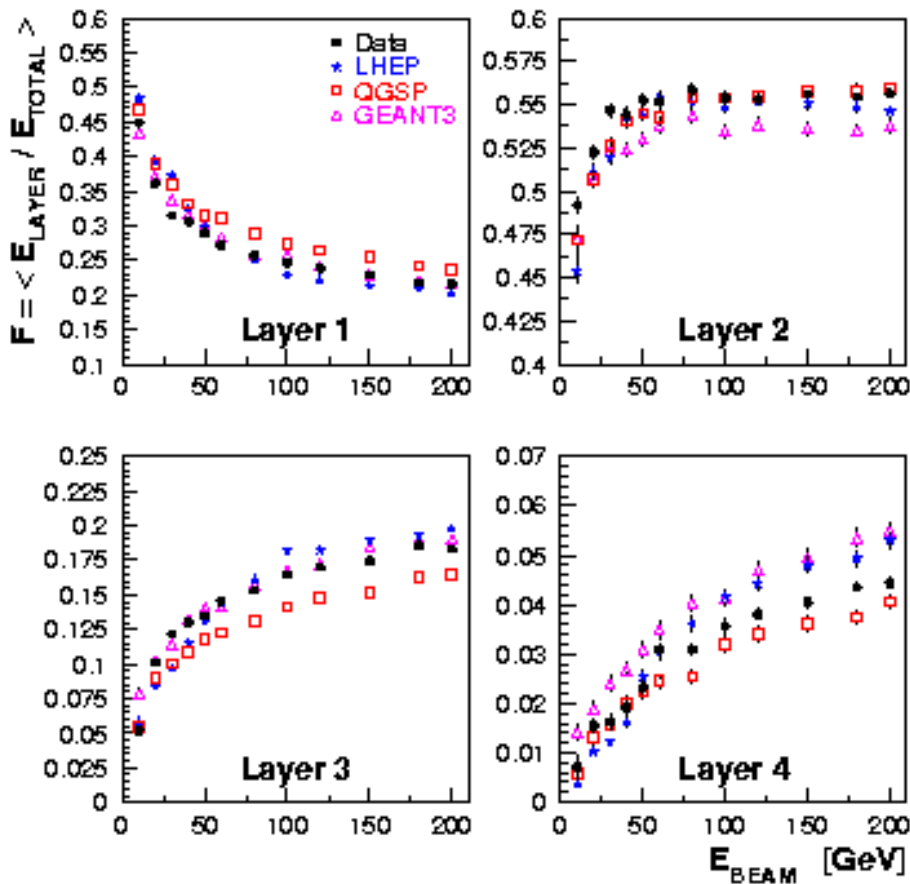
- Hadronic EndCap
 - 2000-2001: moduli HEC
 - 2002: moduli HEC + EMEC (em)
- Calorimetro a sampling rame-LiAr





Risoluzione in energia

Forma degli shower



Forma longitudinale degli shower

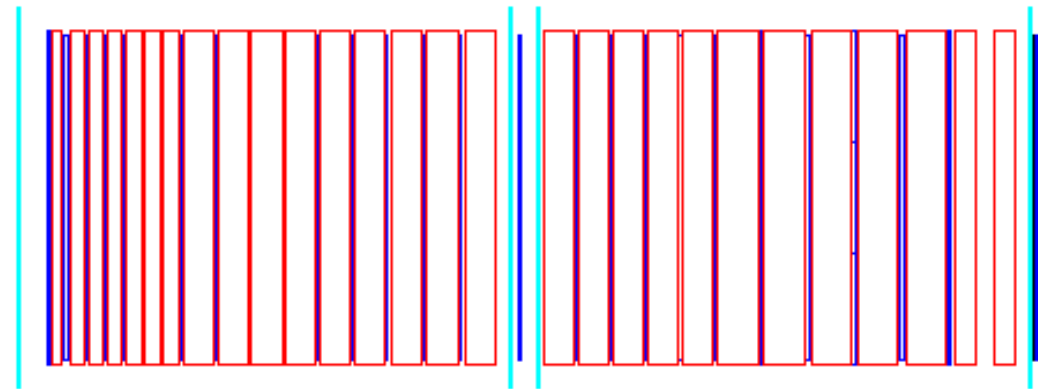
G3 meglio di G4



- CMS ha avuto due test beam combinati HCAL+ECAL
- HCAL: scintillatore plastico + ottone

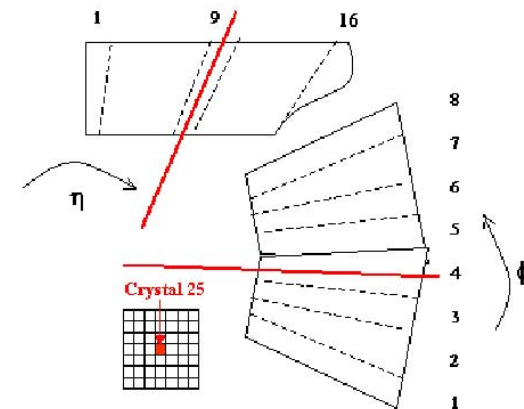
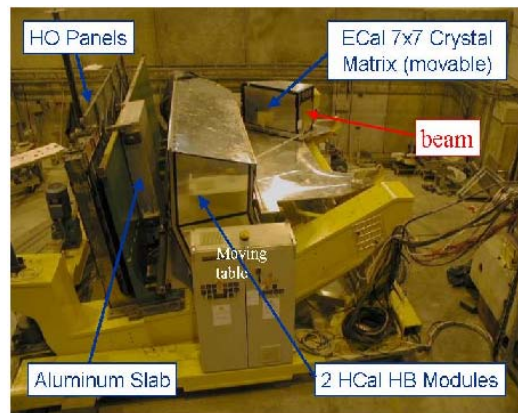
- 1996:

- HCAL barrel
- ECAL prototipo



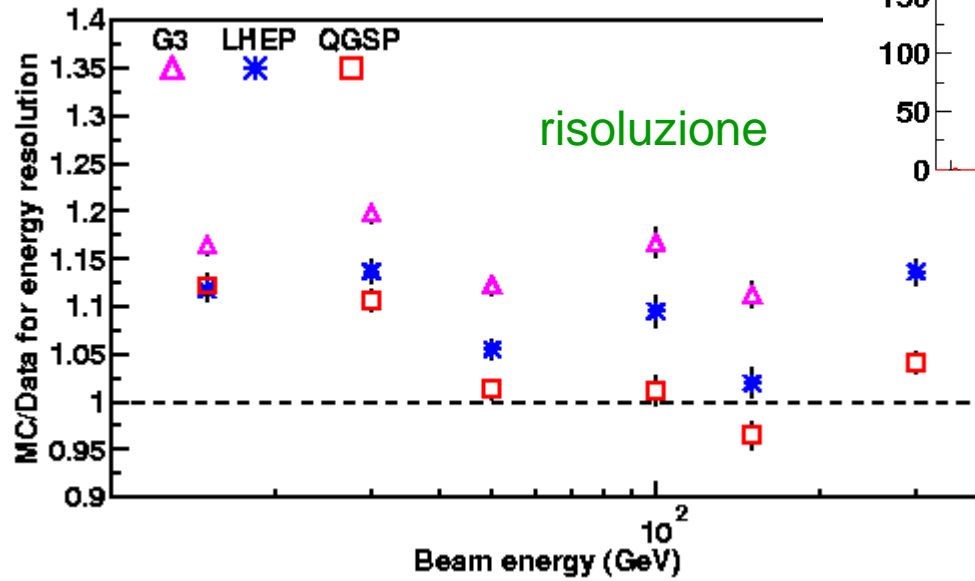
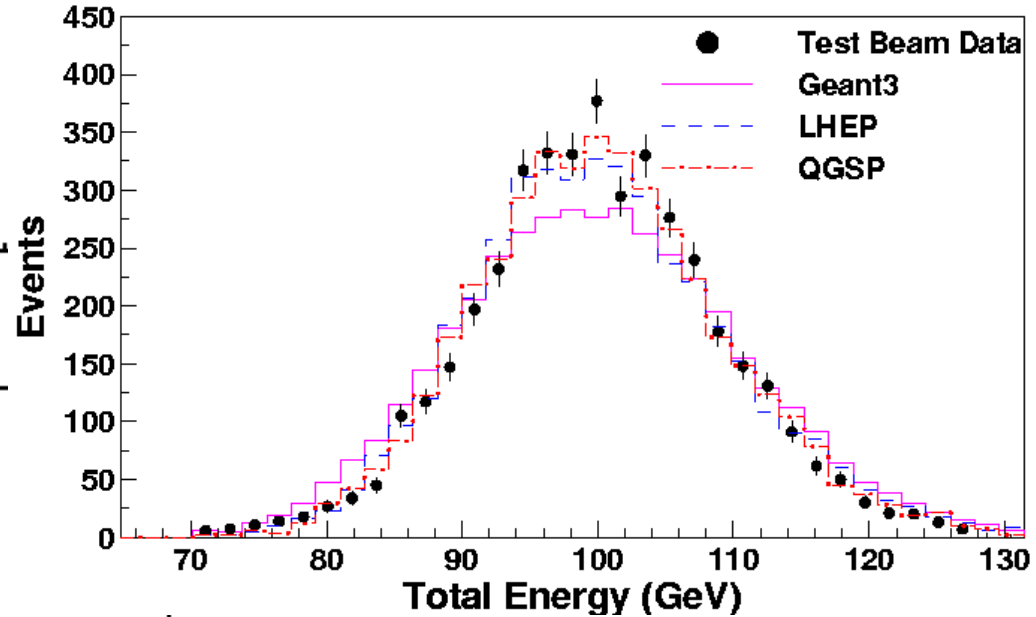
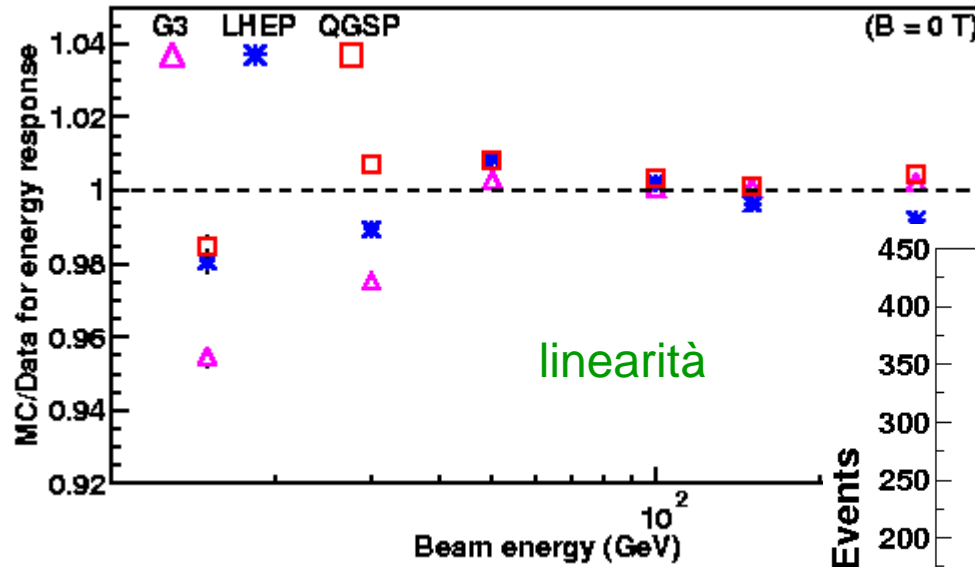
- 2002:

- HCAL barrel + outer
- ECAL mock-up





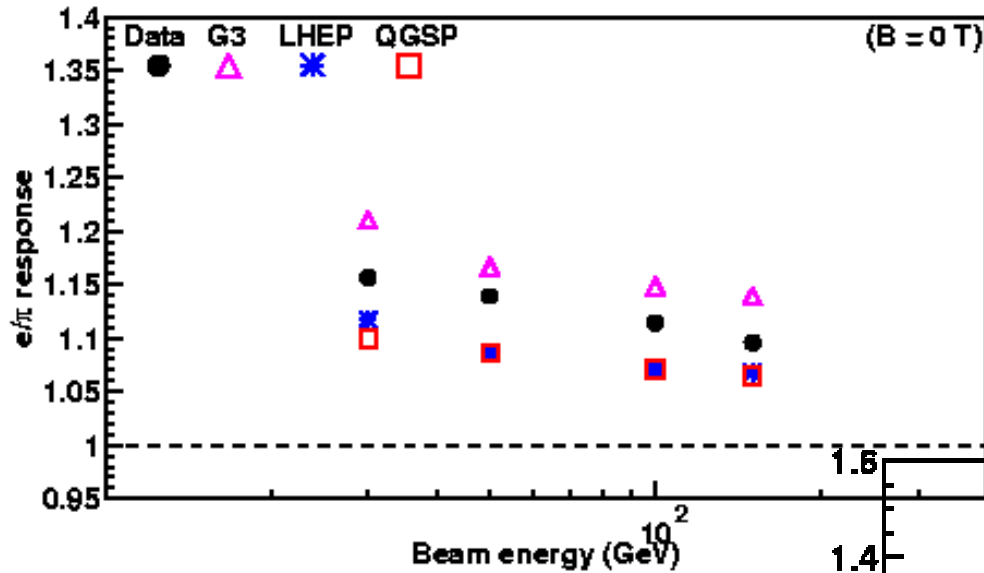
Risultati



G4 meglio di G3
QGSP meglio di LHEP

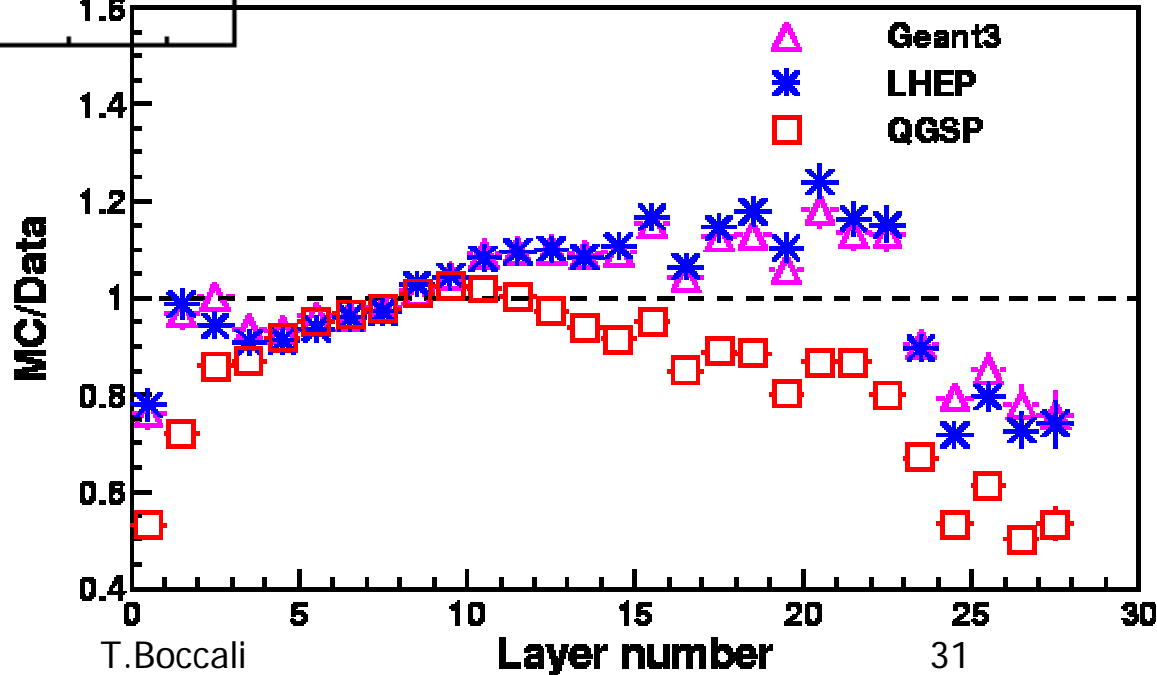


e/π - sciame longitudinale



Sciame longitudinale

Risposta adroni/elettroni





Conclusioni fisica adronica?



- Generalmente:
 - Geant 4 meglio di Geant3
 - In Geant4, la physics list + complessa QGSP meglio delle parametrizzazioni
- ... purtroppo con eccezioni!
- Risoluzione in energia: 5% QGSP, peggio (30%) a energie sotto i 30 GeV
- Separazione e/π : 5% con QGSP
- Shower profiles: QGSP dà sciame più compatti; LHEP/G3 più larghi
 - Almeno nel caso di HEC, Geant3 meglio di Geant4



Tracking detectors



■ È facile:

- si tratta principalmente di fisica elettromagnetica (ionizzazione); fisica facile e capita “da decenni”
 - dati disponibili da LEP, PHOBOS ...
- Geant4 ha un modello di default senza dover cercare troppe soluzioni alternative
 - Possibilità di variare la precisione tramite i Production Cuts

■ È un po' meno facile:

- I detector di tracciamento sono tanti, immersi in un ambiente con alta molteplicità adronica, e sono **molto** precisi
 - Pixel: la risoluzione arriva a $\sim 10 \mu\text{m}$
 - fisica adronica può avere importanza



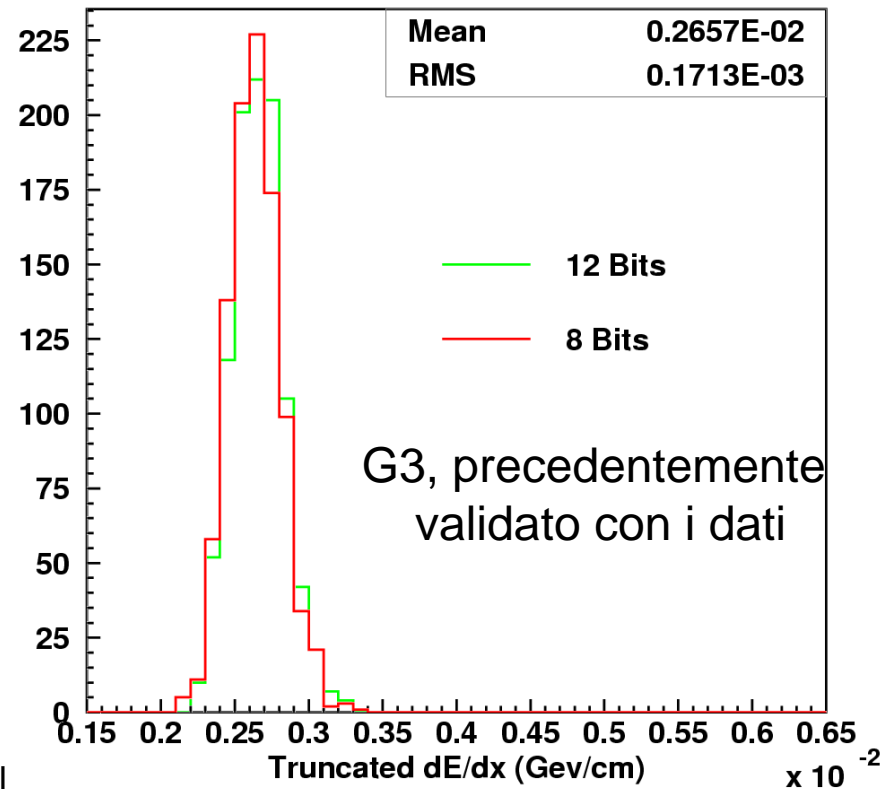
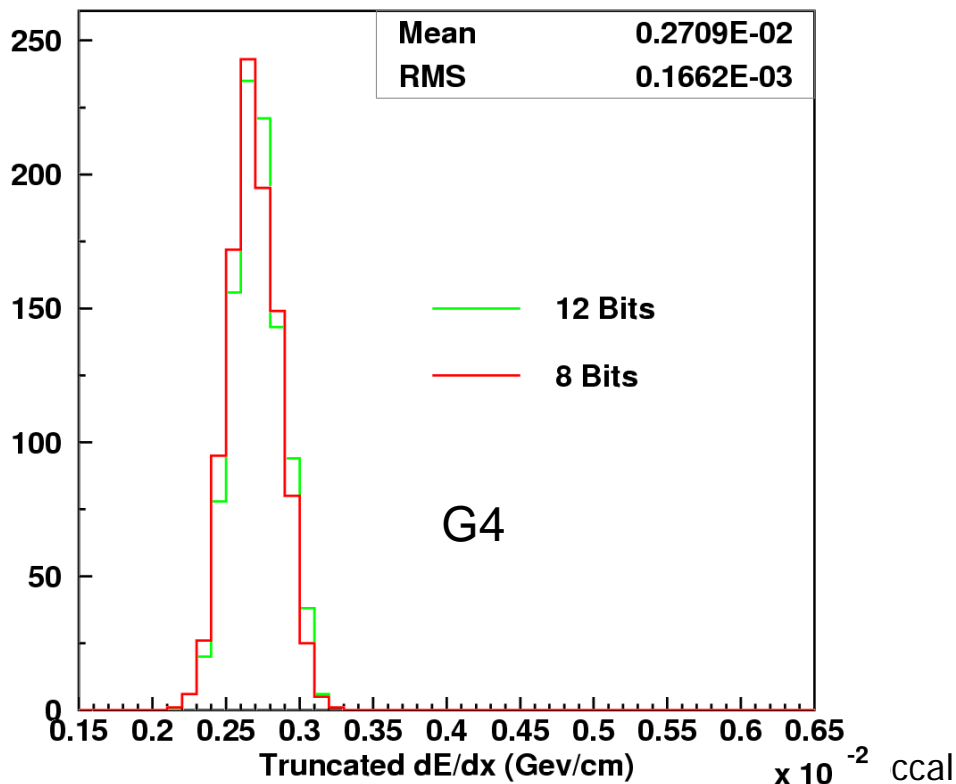
- Ogni particella con un range comparabile con $10 \mu\text{m}$ deve essere correttamente creata e tracciata
 - $10 \mu\text{m}$ per un elettrone nel silicio = 30 keV
- L'elettronica è sensibile: 1 MIP in $300 \mu\text{m}$ di silicio $\sim 150 \text{ keV}$, con $S/N \sim 20$ (CMS); quindi
 - non possono essere uccise tracce a basso impulso
 - anche una particella con 5 keV può contribuire ad un segnale rivelato
 - ATLAS TRT: $O(\text{eV})$
- Anche se rare, le interazioni adroniche sono importanti; non tanto per il segnale che lasciano, ma per il fatto che depositano $O(100 \text{ MIP})$ e possono saturare l'elettronica
- Tanto materiale in giro: simulare correttamente l'assorbimento di adroni da parte del materiale non sensibile



Energy loss nel silicio



- CMS ha confrontato l'energy loss nel silicio fra dati (ALEPH+PHOBOS) con la risposta di Geant 3 e Geant 4, per studi sul dE/dx – accordo $\sim 2\%$



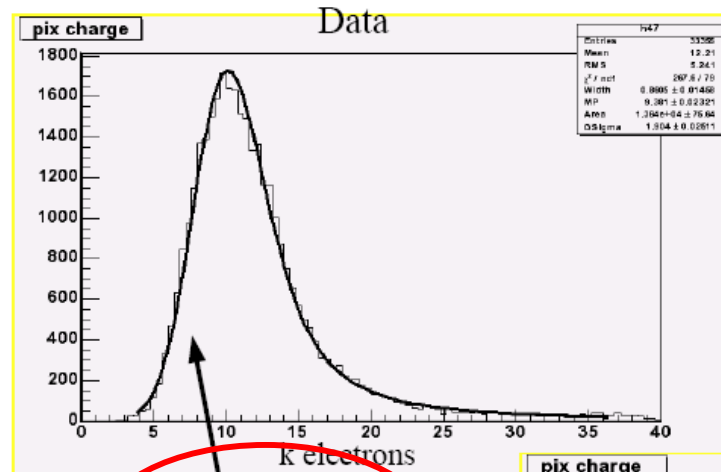


Nei pixel ...



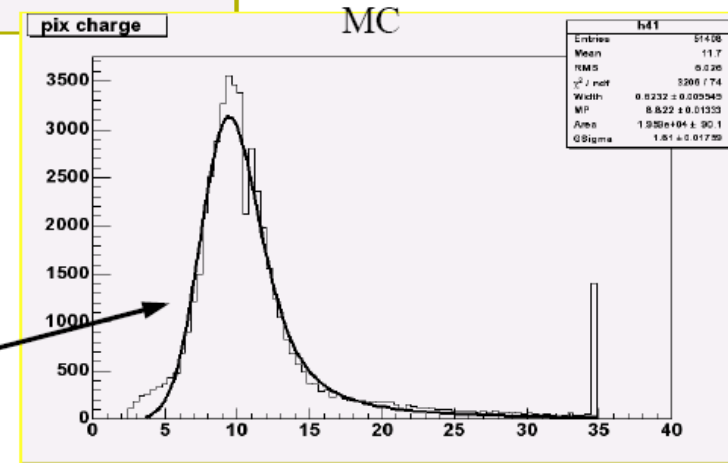
■ CMS:

- 2003 test beam: telescopio (SiStrip) + singolo pixel detector
- Confront con em di Geant4



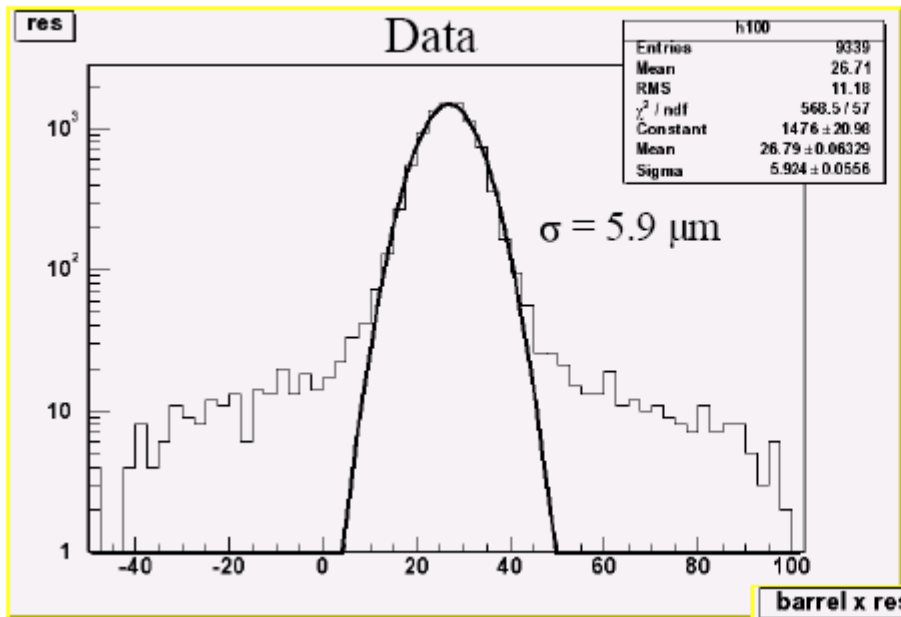
Pixel charge

- “inside” pixels only (no edge pixels)
- landau+gaus fit

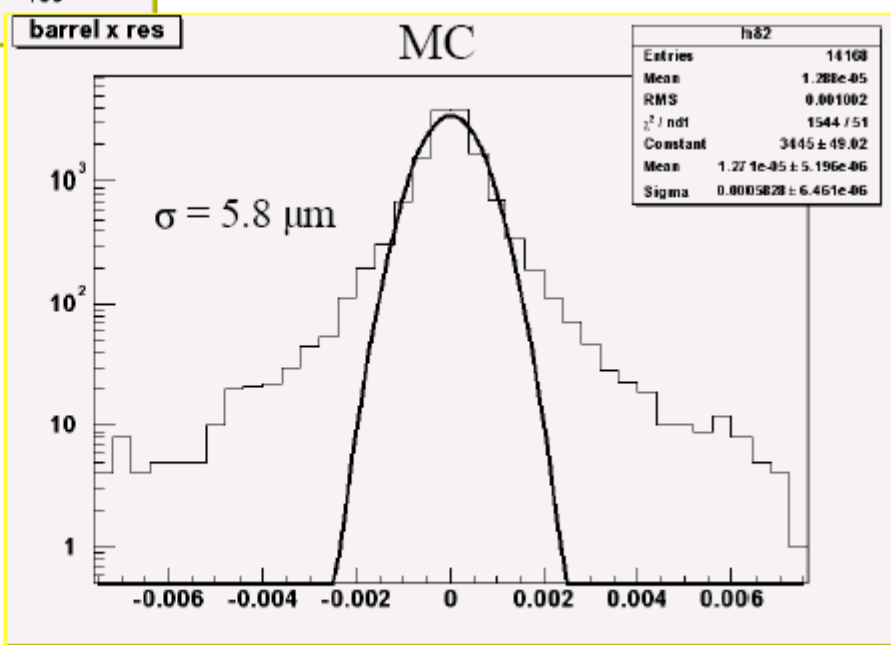
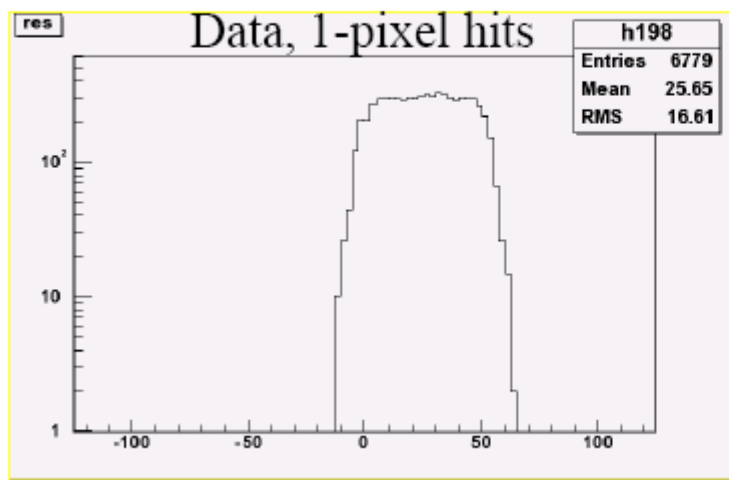




X position resolution

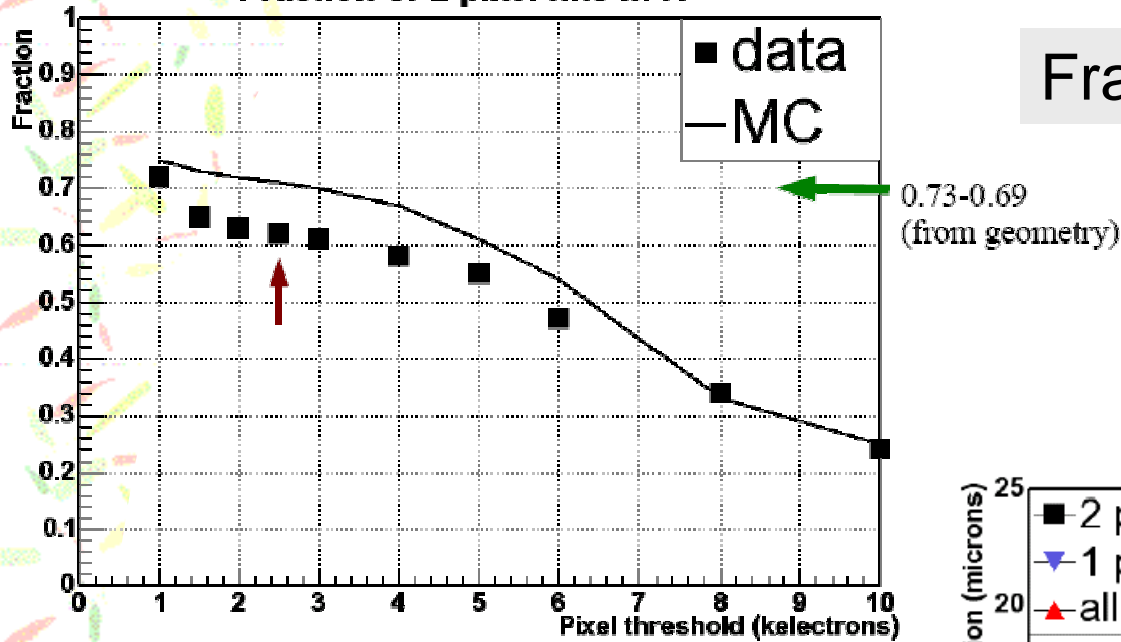


2-pixel hits



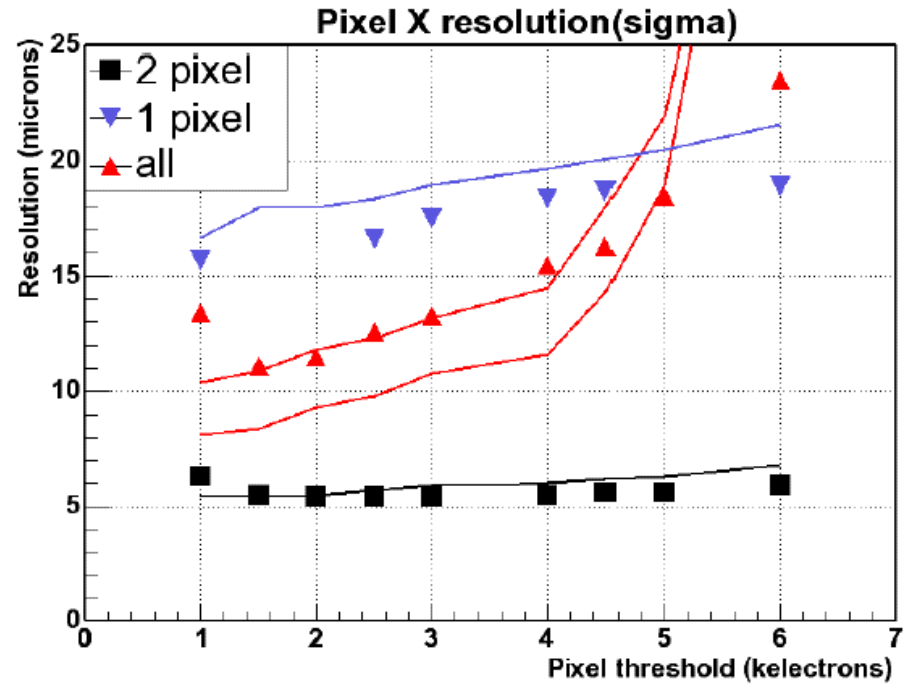


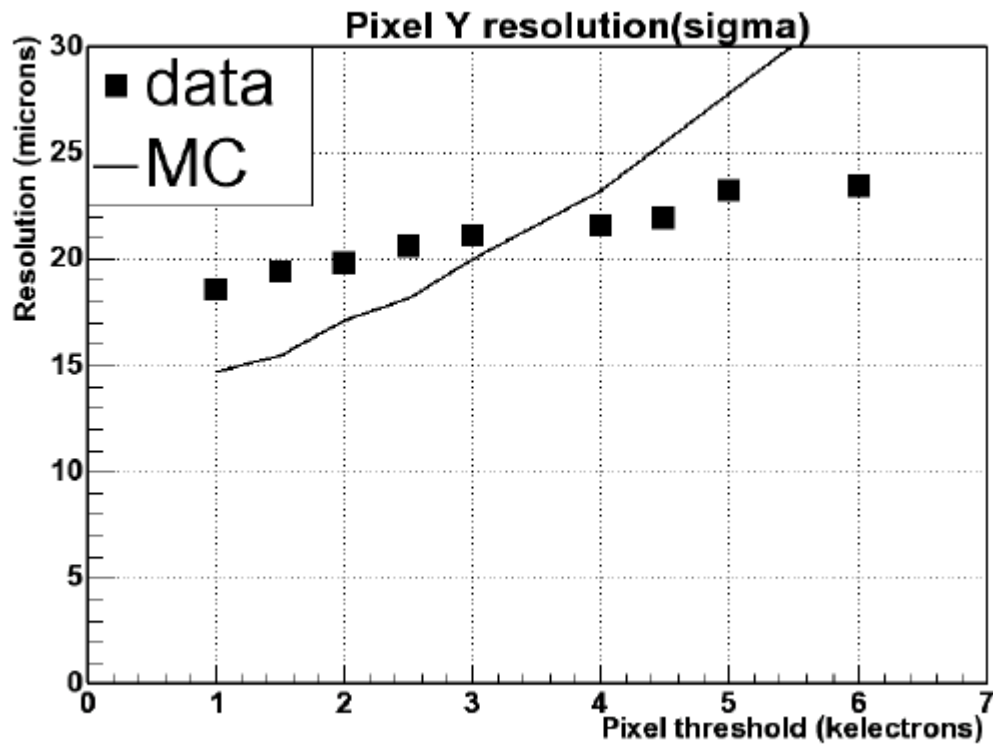
Fraction of 2 pixel hits in X



Frazioni di Hit con 2 pixel

Risoluzioni in funzione della soglia





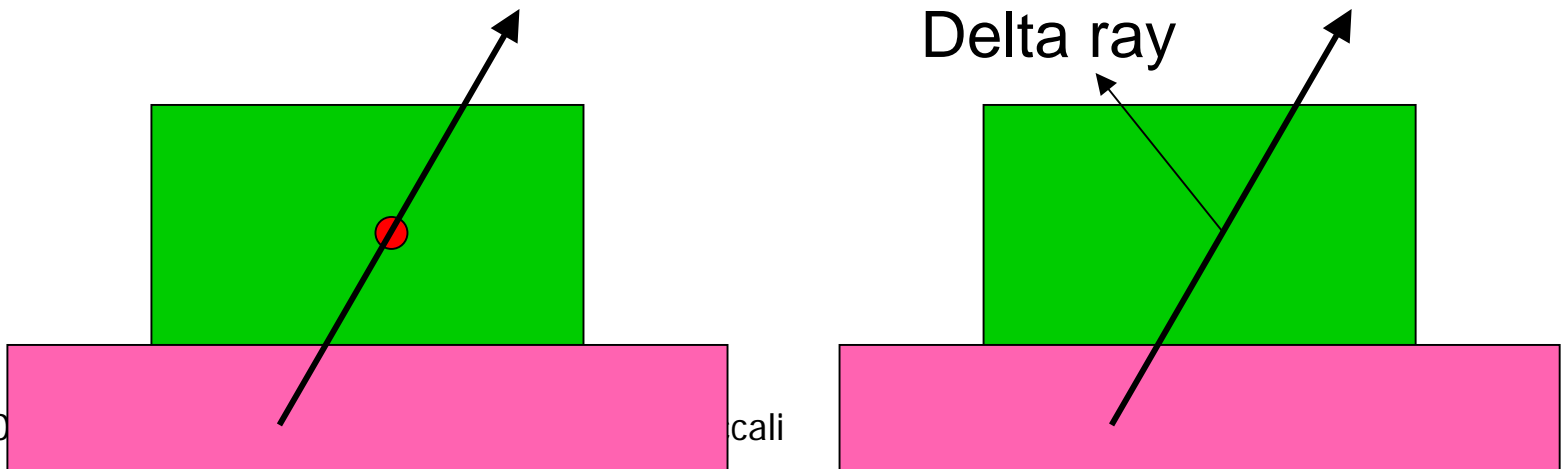
Risoluzioni in rz
un po' peggio



Variazione della precisione



- Nella fisica em, l'utente può cambiare la precisione della simulazione con i production cuts
- Caso dei delta rays:
 - Se l'energia dell'elettrone è sotto la soglia, nessun elettrone viene generato, ma la particella primaria perde energia
 - Se l'energia è sopra soglia, un vero elettrone è generato e propagato
- **Thumb rule: creare tutti i delta rays con range comparabile con la risoluzione**

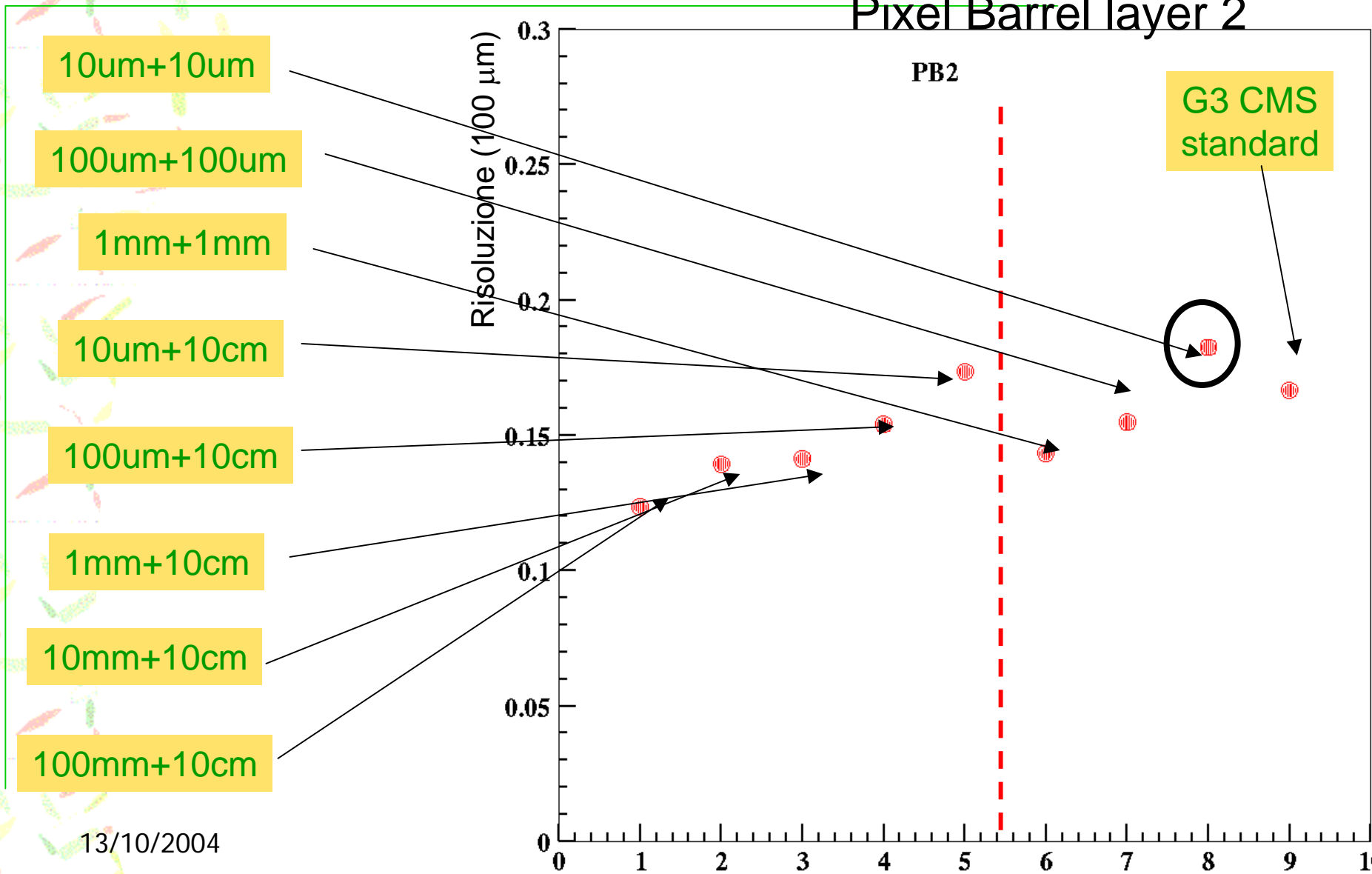




Risoluzioni in funzione della precisione della simulazione



Pixel Barrel layer 2

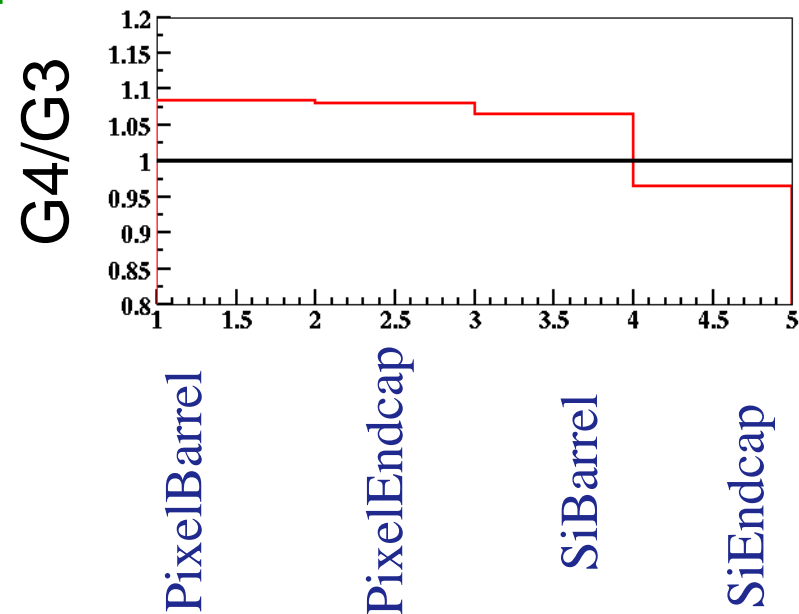
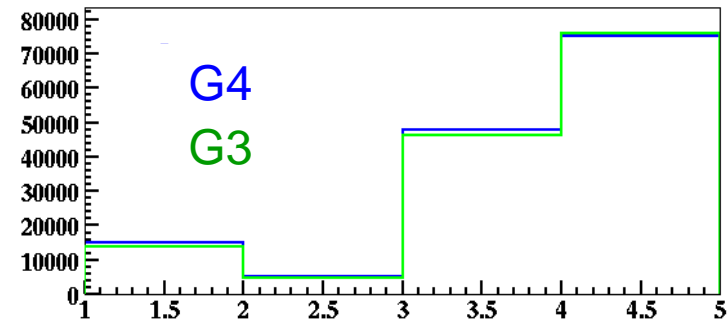




Effetti sul data rate



- Numero di strip/pixel attivi dopo la zero suppression
- CMS:
 - Geant 3 default alti (~mm)
 - Geant4 10 μm per i pixel, 100 μm per le striip
- Effetto netto: pixel ~10% maggiore occupancy di quanto precedentemente stimato



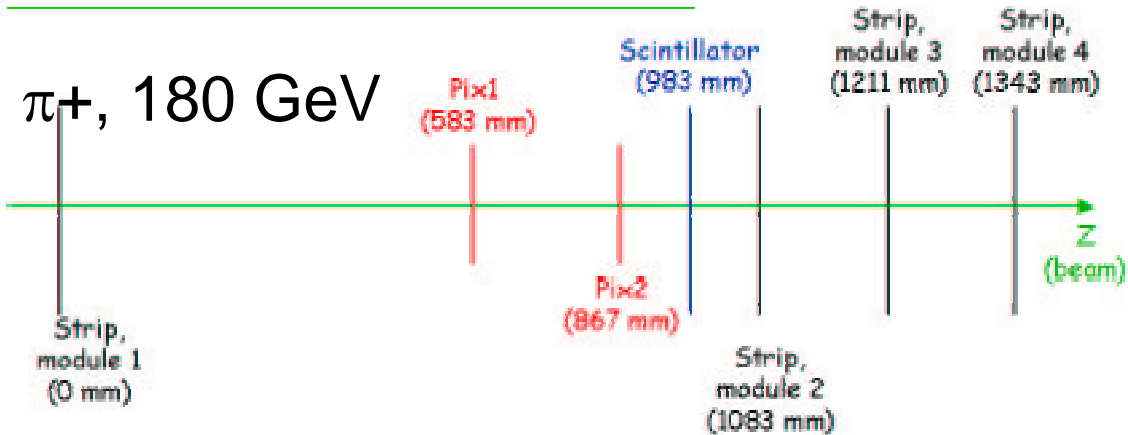


ATLAS/Pixel

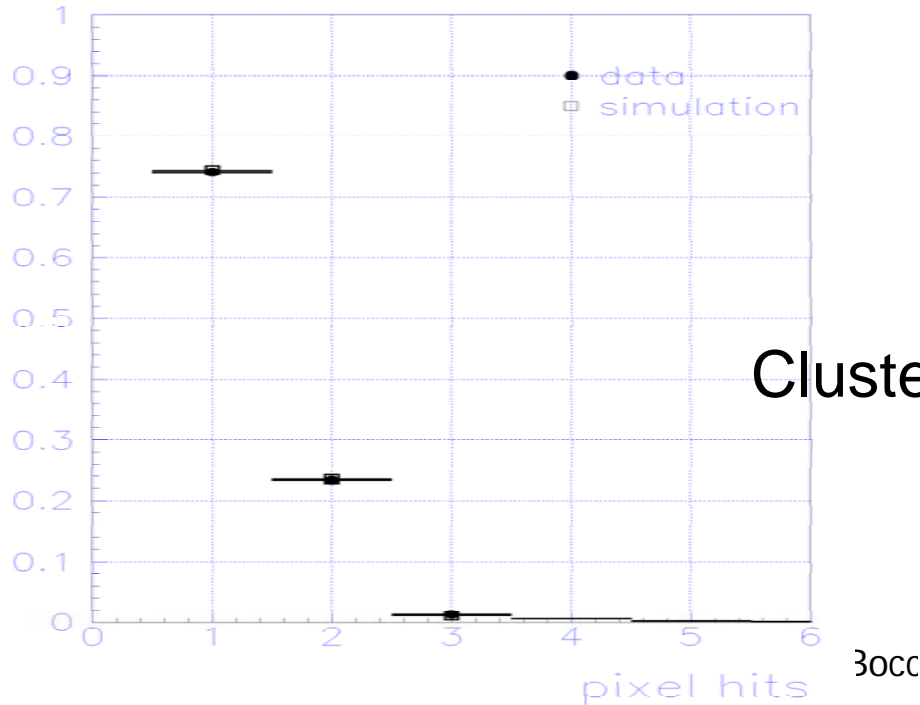


Test Beam 2002

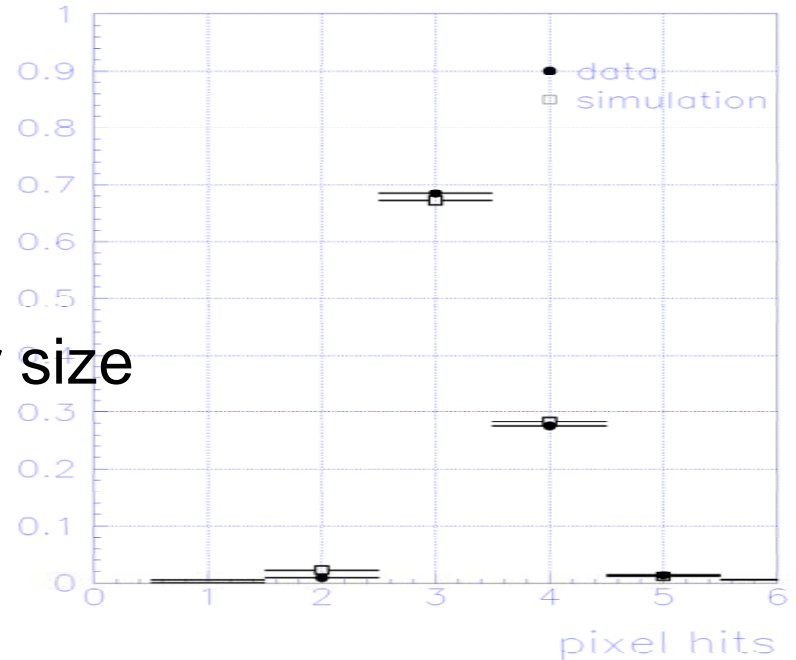
Controllate quantità come cluster size, energia persa...



normal incidence



$\varphi = 30^\circ$





Interazioni adroniche nei tracker



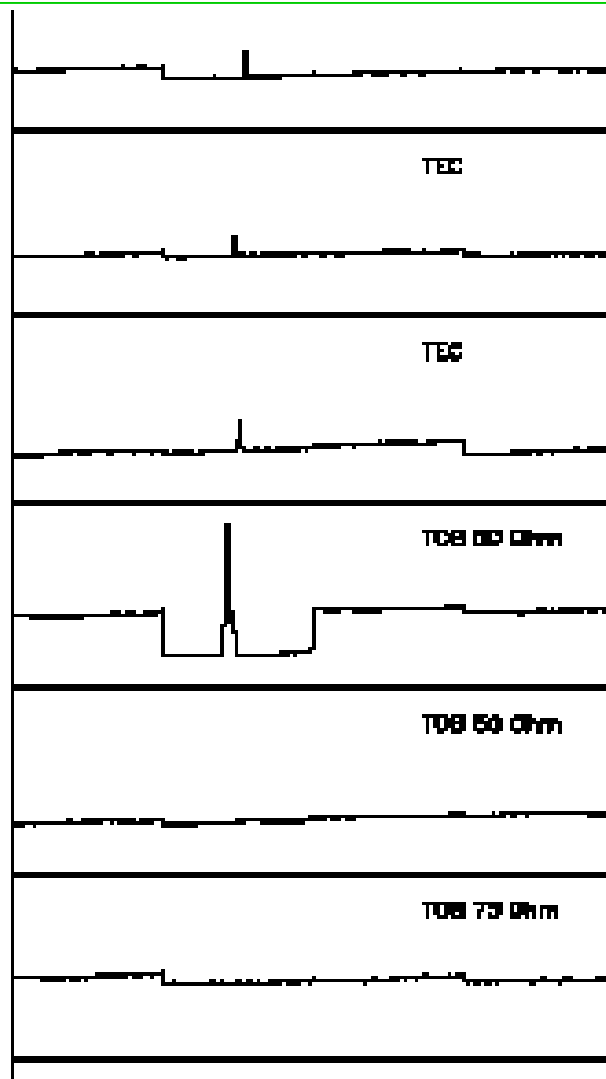
- Quindi tutto ~ok per le interazioni em...
- Le adroniche?
- Sono molto rare (10^{-3}) ma:
 - Possono saturare l'elettronica di readout
 - Depositano molte MIP equivalenti $O(100)$
 - Aiutano a studiare le interazioni adroniche
 - Bersaglio è una targhetta sottile, è possibile applicare un'approssimazione di interazione singola da contrapporre ai calorimetri a grande λ
 - (Possono avere un effetto tangibile sull'occupancy)

Esempio (triste...)



400 ADC counts

- CMS: **HIP effect**, manda in saturazione il chip di readout
- Nulla di grave, ma purtroppo il recovery è lento ($\sim 1 \mu\text{s}$)
- È necessaria una simulazione accurata del rate di interazioni adroniche per stimare il tempo morto

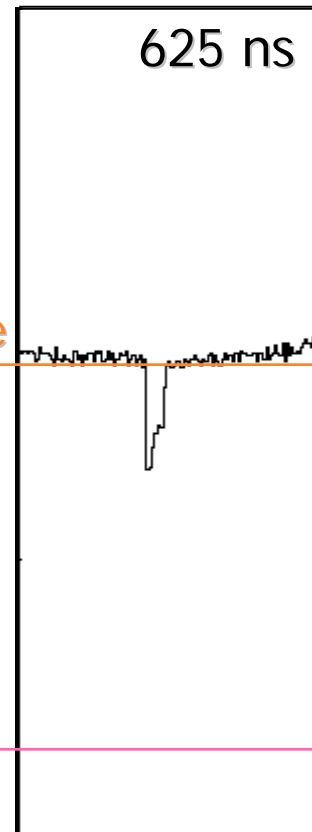


Nominal baseline

Digital zero

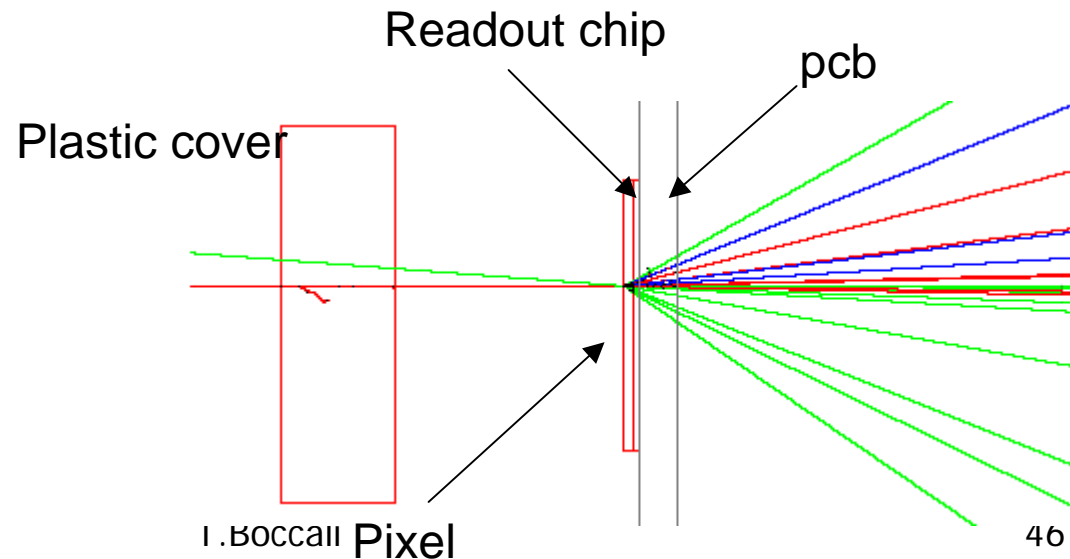
100 ADC counts

625 ns



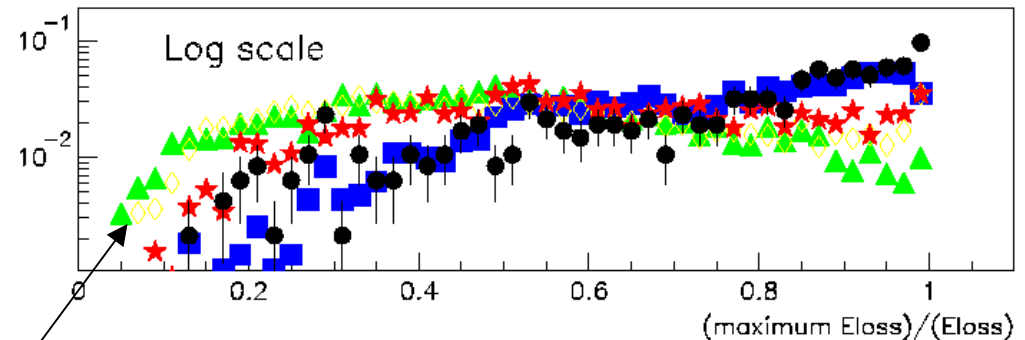
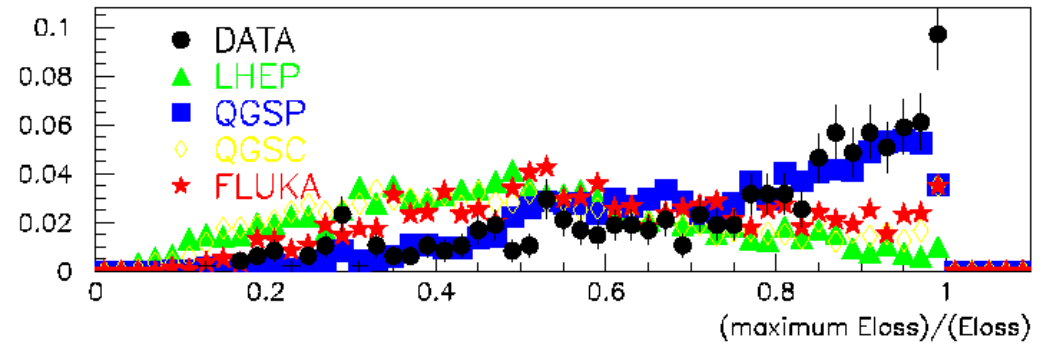


- CMS ha stimato che la probabilità di interazioni che rilascino ~ 10 MeV (energia sufficiente per generare la HIP) è riprodotta da G4 entro un fattore 2
- ATLAS ha utilizzato il test beam di pixel per studi adronici





- Non guardare quantità direttamente dipendenti dagli elettroni raccolti
 - Problemi di calibrazione
- Ma solamente quantità come numero di tracce uscenti; QGSP per la forma del cluster
- Fluka/Geant 4 simili e ~ok!
- LHEP meglio per il numero di tracce uscenti; QGSP per la forma del cluster



Energia del pixel più energetico
divisa per l'energia totale del cluster



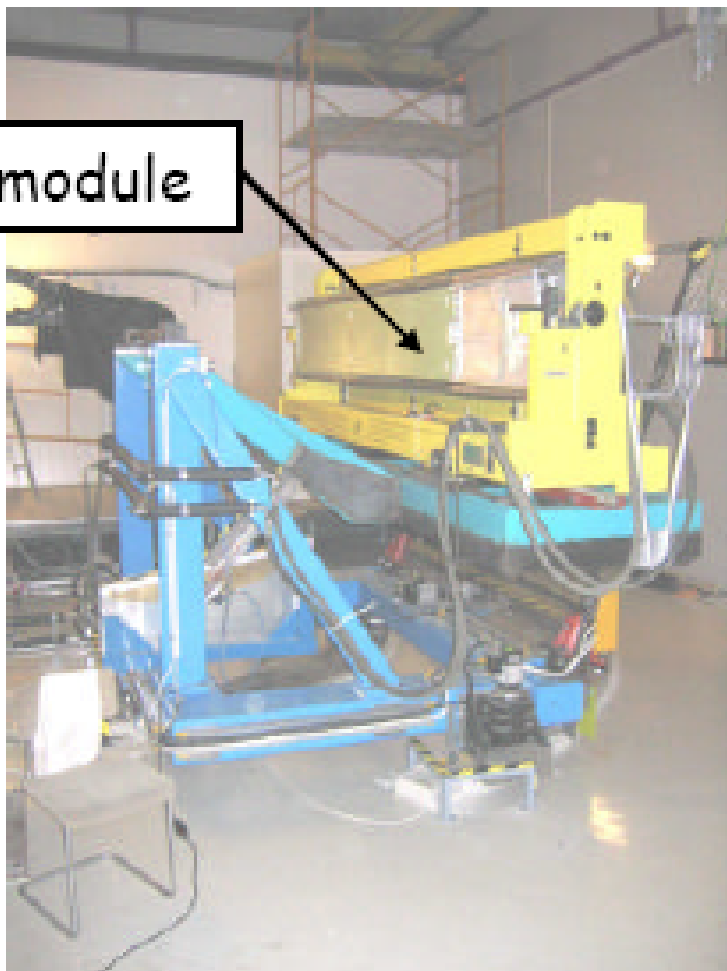
Calorimetri EM



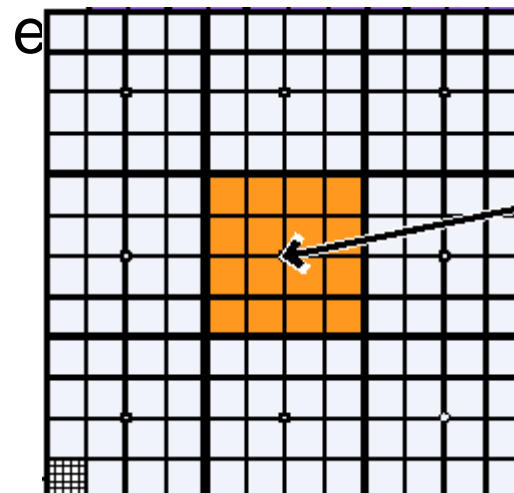
- La simulazione deve essere realistica per scale 100 MeV (jet da pile-up) alla scala del TeV
- Sono importanti non solo risoluzione energetica e la linearità, ma anche la forma dello shower e la risoluzione in posizione
 - particle-id, selezione del vertice primario di interazione
- Sono investiti da una altissima molteplicità adronica
- Benchmark?
 - per non essere il fattore limitante nell'analisi "importante" $H \rightarrow \gamma\gamma$, la risoluzione energetica $\sim 1\%$ (ATLAS)



supermodule



Cristalli di 2
supermoduli di
CMS ECAL
Fascio di elettroni
20-180 GeV
Simulazione con
SOLAMENTE
interazioni

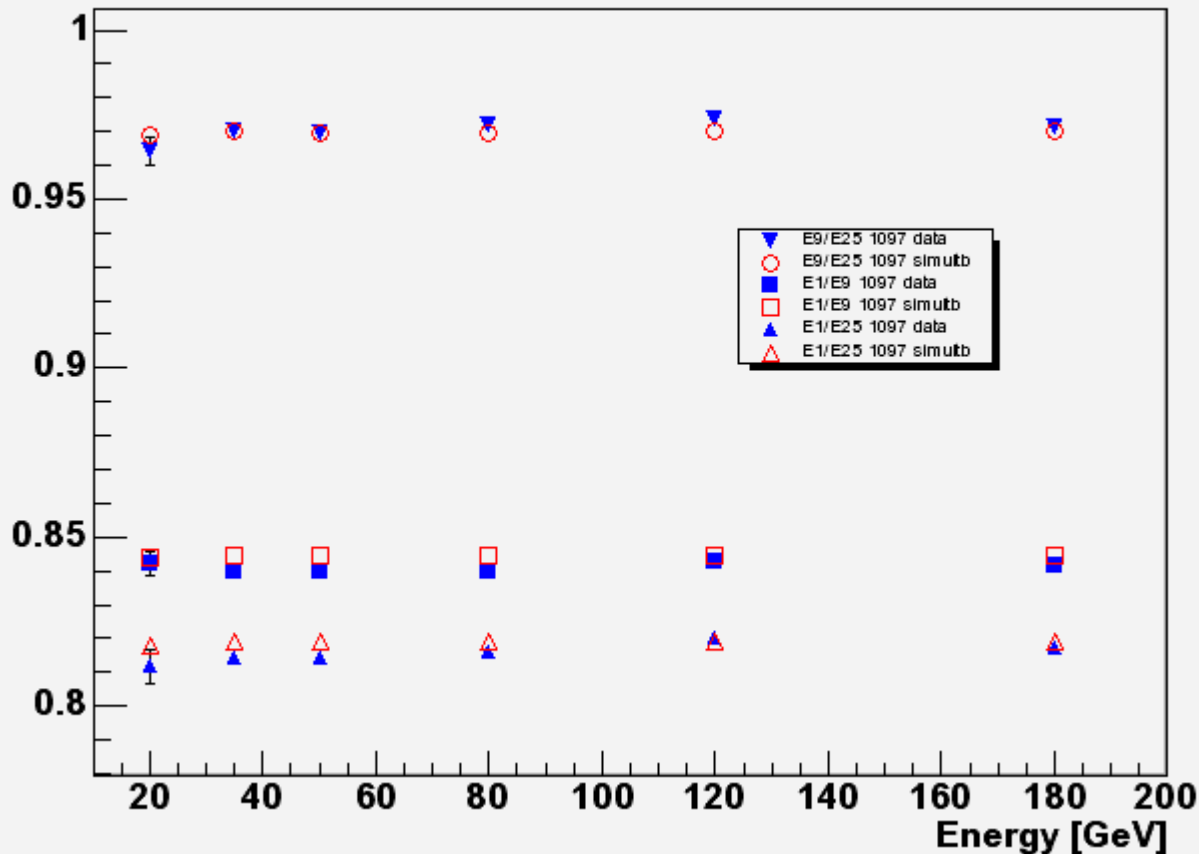




Misure di contenimento laterale



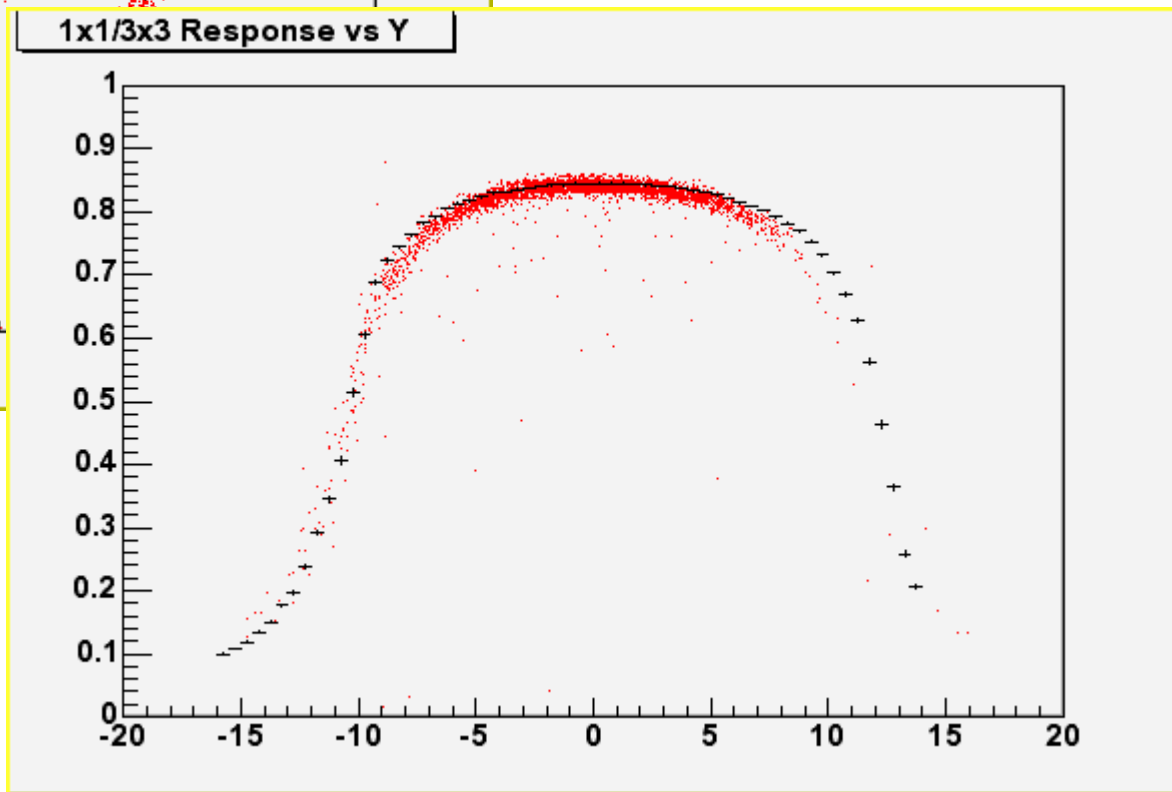
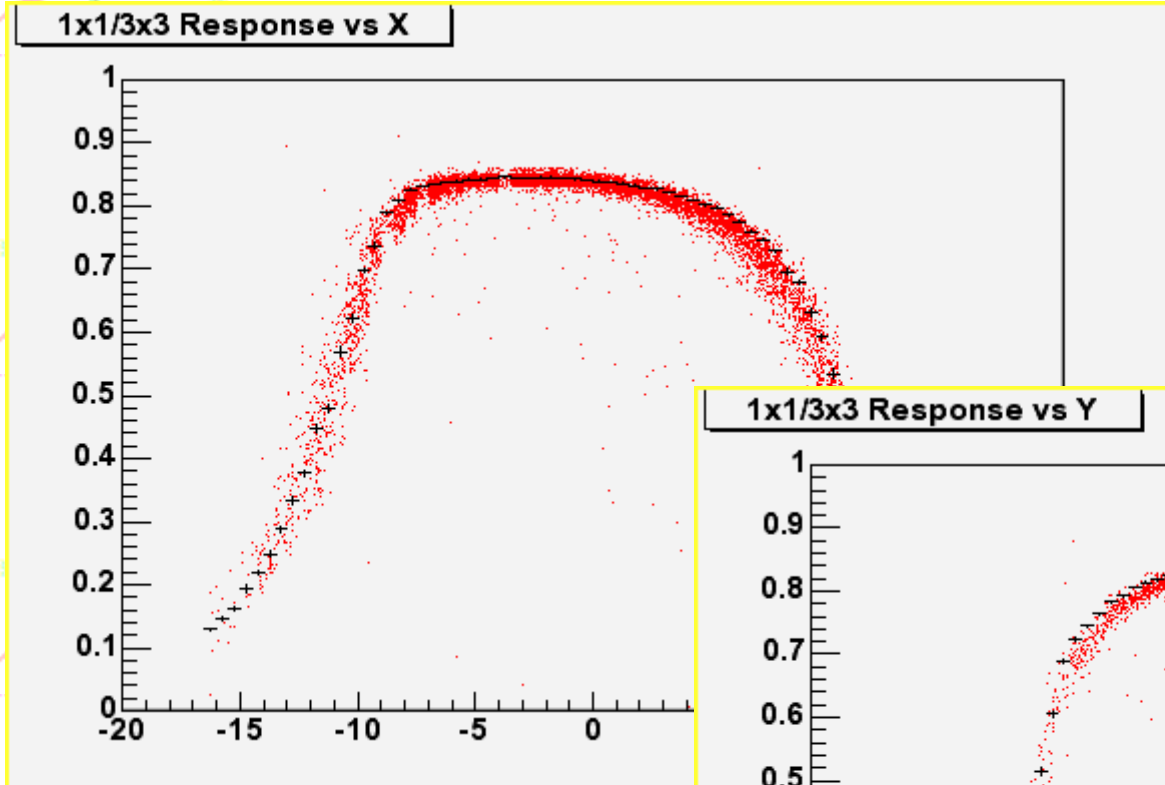
- Confrontare l'energia nel cristallo centrale rispetto a quelli vicini



E1x1/E3x3,
E1x1/E5x5 e
E3x3/E5x5

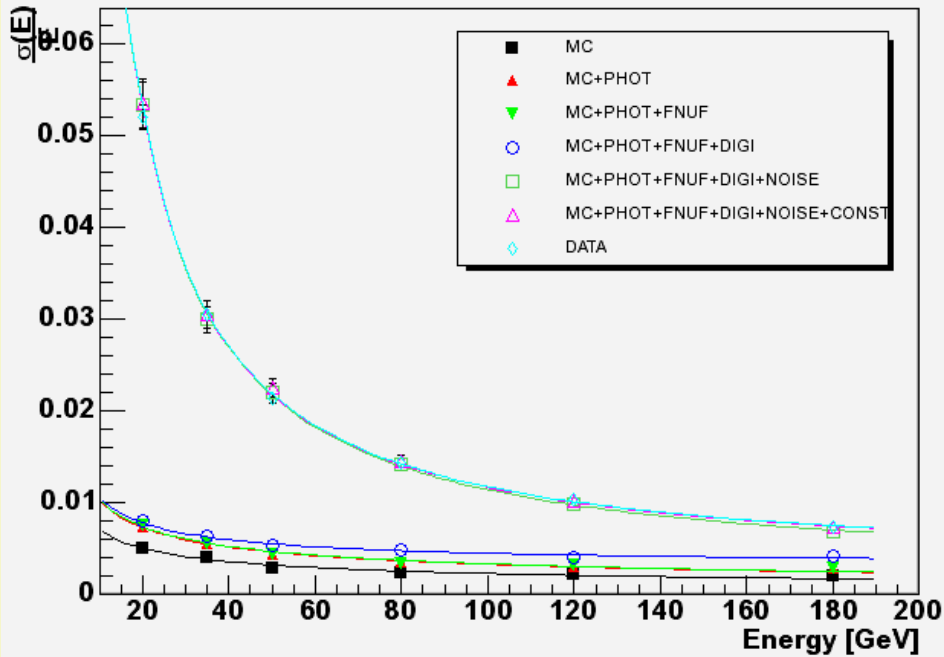


Contenimento in funzione della posizione del fascio

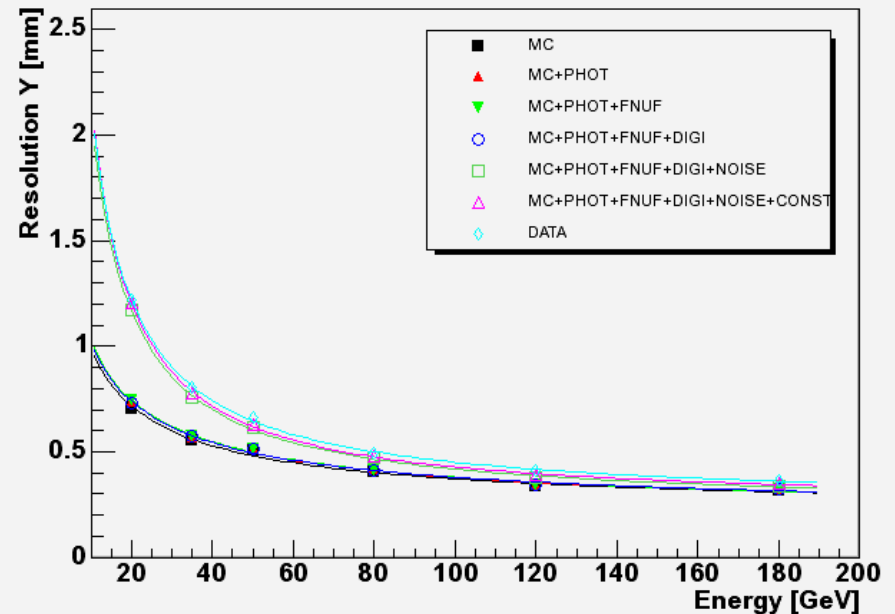




Risoluzioni energia/posizione



Risoluzione in posizione



Risoluzione in energia



ECAL ...



■ Conclusioni

- Accordo giudicato soddisfacente
 - Risoluzioni e contenimento ben simulati
-
- Adesso: test beam con un intero supermodulo (1700 cristalli) e nuova elettronica



Rivelatori di muoni



■ Anche qui in teoria le cose sono semplici:

■ Fisica em; unico parametro davvero libero è la scelta dei production cuts

■ ma

■ I rivelatori di muoni sono dopo i calorimetri, che nonostante abbiano $\sim 10 \lambda$ possono lasciar passare particelle

■ e qui è importante di nuovo la fisica adronica

■ In generale:

■ ATLAS + complicato (camera in aria)

■ non c'è assorbimento delle particelle che possono arrivare al sistema dei muoni

■ CMS ben protetto dal ferro

■ bisogna prestare attenzione al multiple scattering

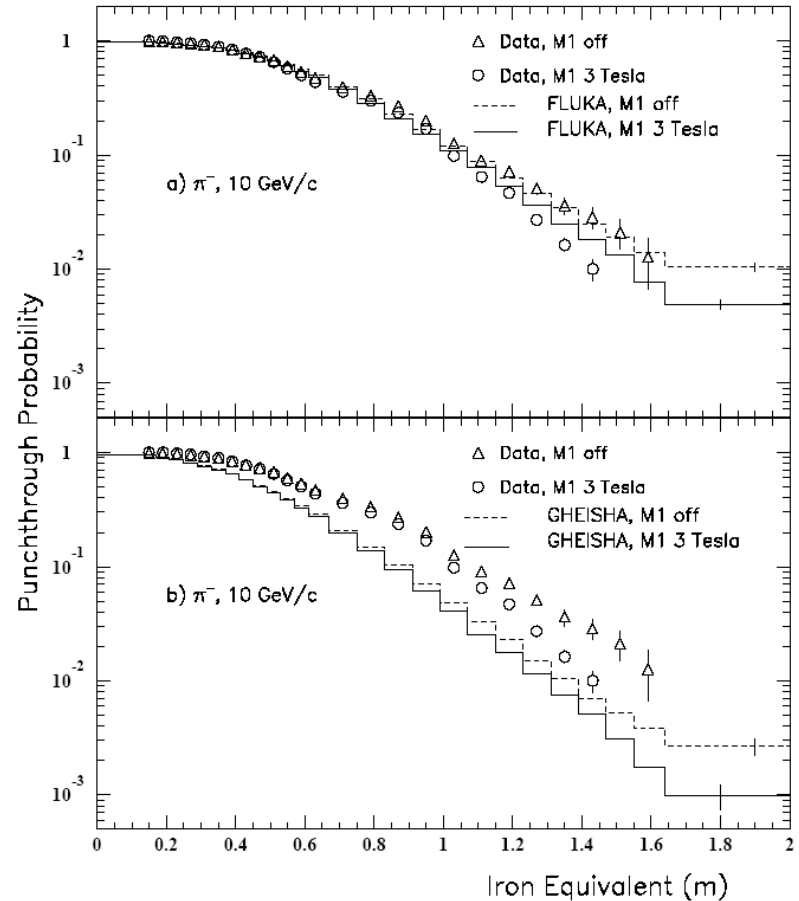


punch through

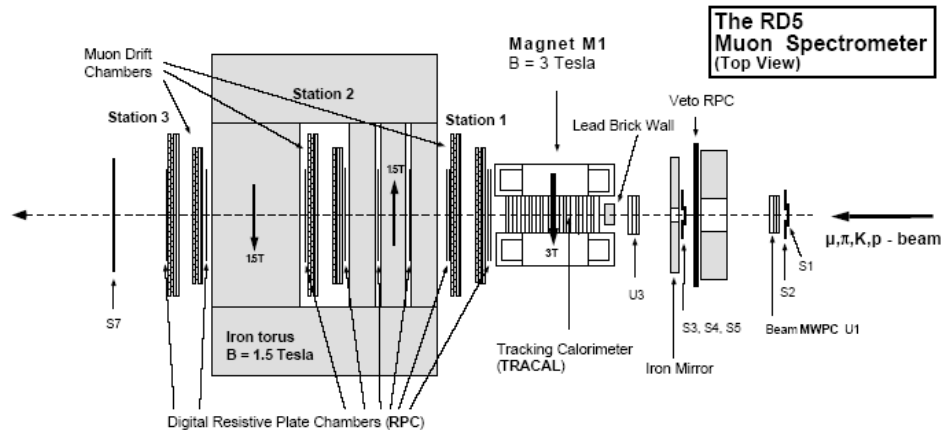


Probabilità di punch through per pioni in RD5 in funzione del ferro presente; sono pioni che

- Passano attraverso i calorimetri e non vengono fermati
- Sono una parte rimanente dello sciame adronico che non è stato completamente contenuto



accordo considerato sufficiente



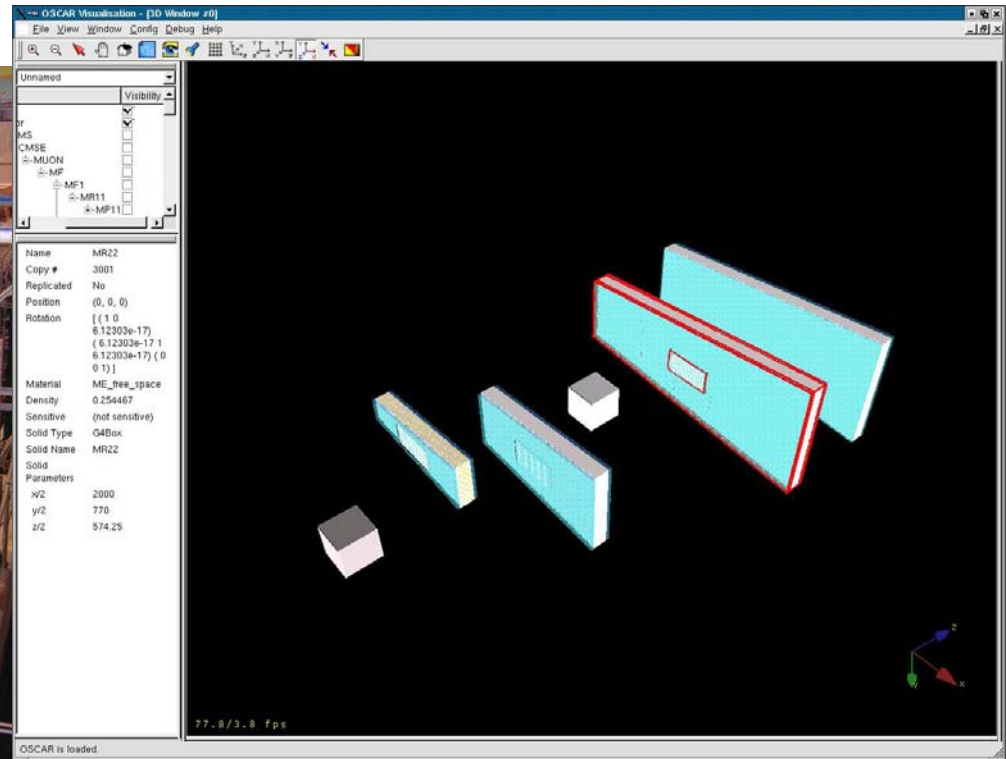


Anche qui Test Beam...



■ CMS:

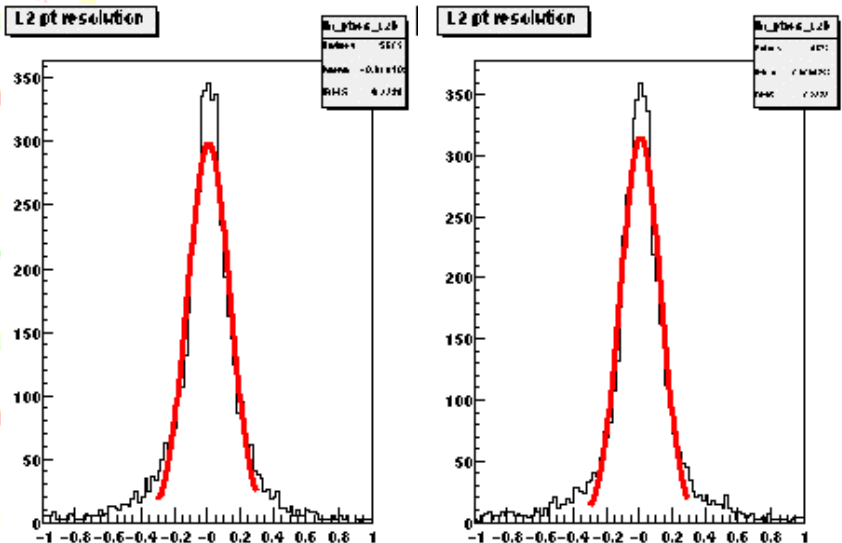
- Drift tube adesso
- Unici risultati "recenti" sono sulle CSC, ma la simulazione non è ancora completa





■ Confronti G3/G4 tutti ok

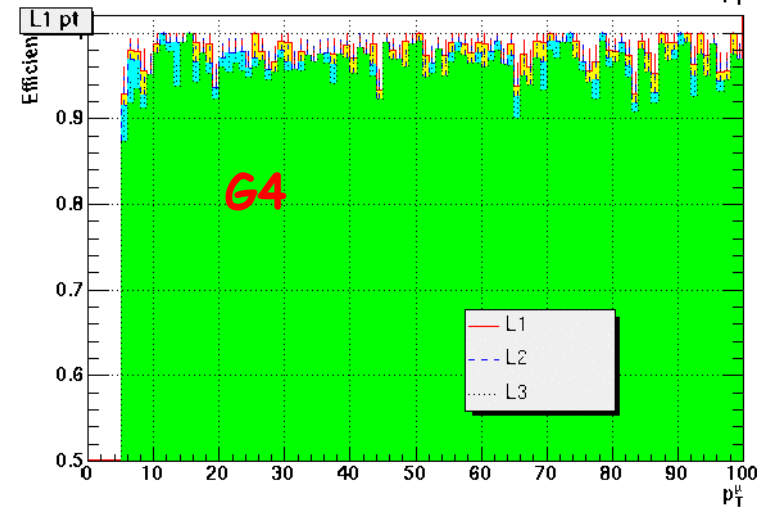
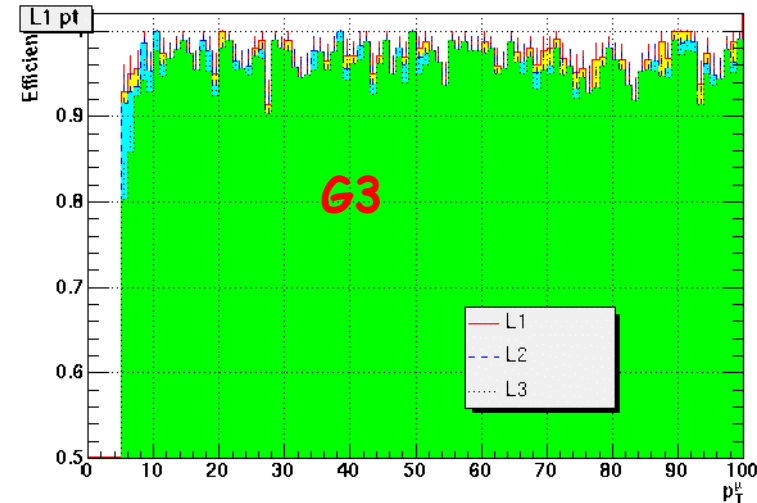
risoluzione in Pt a L2



15/10/2004

g. buccali

Efficienze di trigger

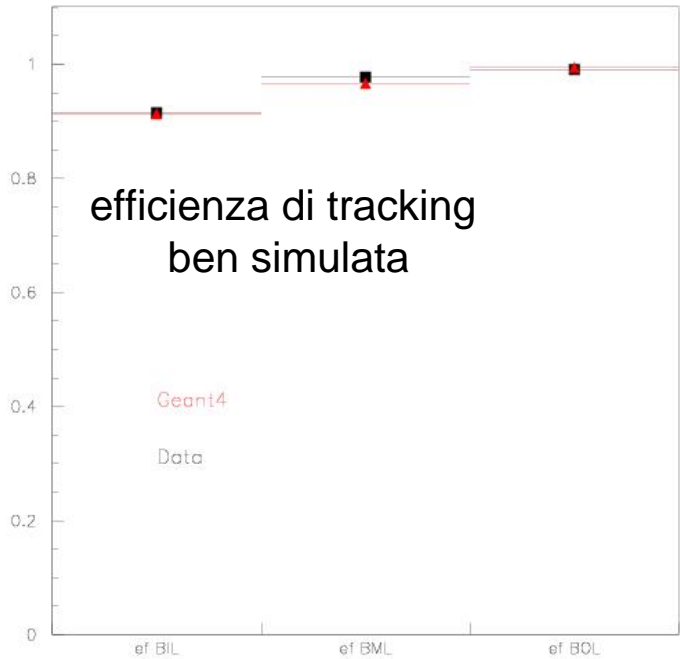
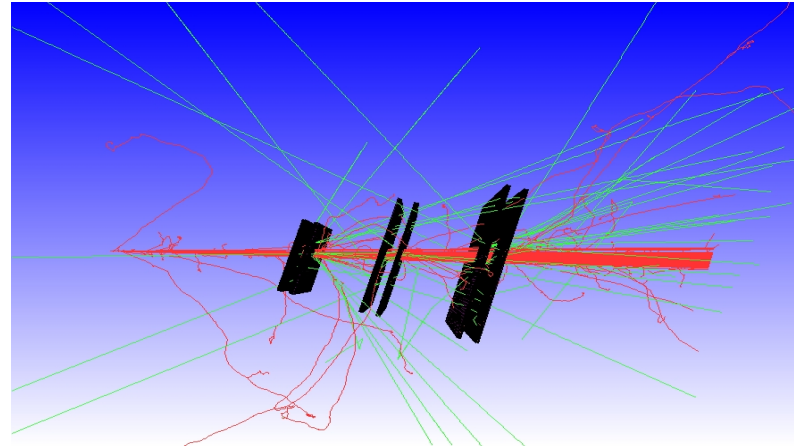




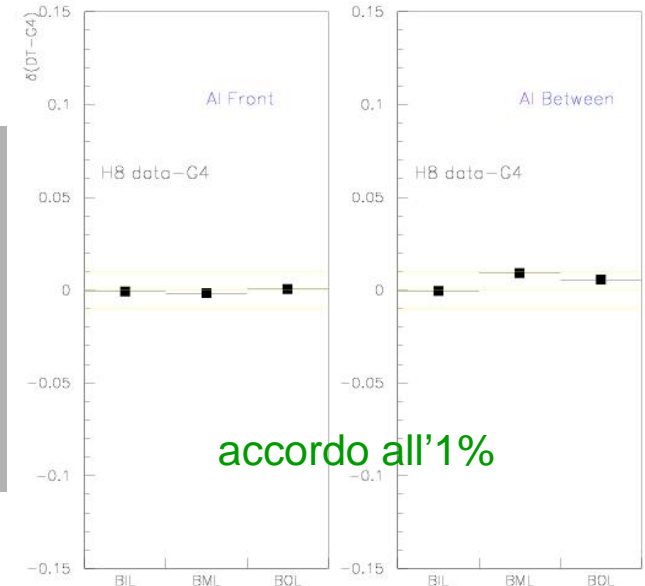
ATLAS



■ TestBeam a H8 confrontato con Geant4



studio sui δ rays:
andando a vedere il numero di volte che più di un segmento è ricostruito (delta ray ad alta energia)

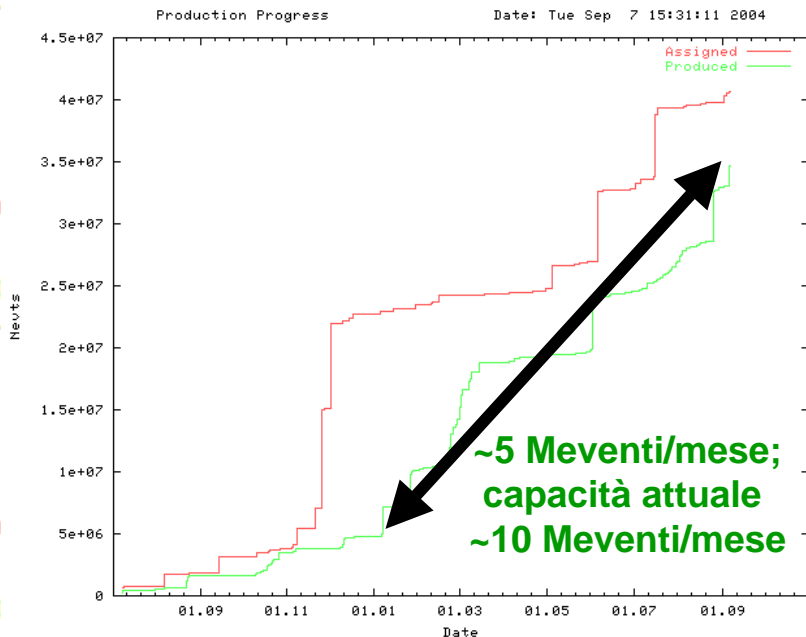




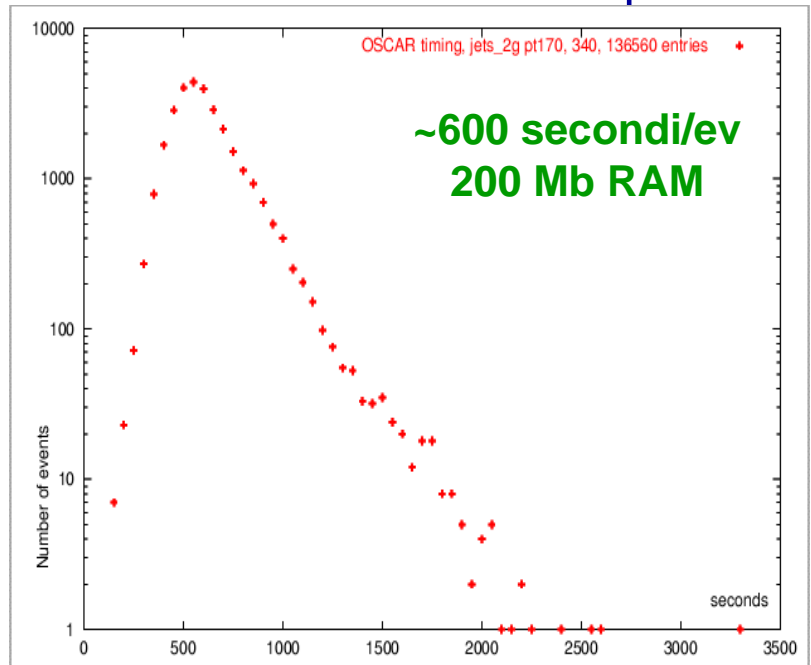
Esperienza di produzione



- CMS ha prodotto gran parte (~40 milioni) di eventi del DC04 con G4
 - almeno 10% su grid
 - crash rate ~ permille; gran parte dei crash dovuti alla fisica adronica di G4!
 - Indicativamente, 600 secondi a evento
 - L'ultima versione di OSCAR (G4) ha la stessa velocità di cmsim
 - pur avendo tagli di produzione MOLTO più bassi
- ATLAS: per eventi complessi conferma ~600 sec/ev e simili footprint



cali





Conclusioni



- Conclusioni? Non credo proprio, lavoro appena iniziato
- Notizie positive
 - fisica em sostanzialmente ok
 - fisica adronica sensibilmente migliore di quella di G3
 - ma a volte peggio di FLUKA
- Notizie negative
 - la fisica adronica non è del tutto a posto, e con segnali contrastanti fra i vari test beam
 - Ma solo nel limite in cui possiamo fidarci delle simulazioni del fascio e del readout
 - FLUKA ancora non è inserito nei framework standard, in attesa di un progetto di VMC
- Settembre 2004: ultimo run di SPS; praticamente tutti hanno preso dati
 - **VEDIAMOLI**