

Università degli Studi di Torino
Facoltà di Scienze M.F.N.
Corso di Laurea in Fisica

Studio delle prestazioni degli algoritmi di allineamento e ricostruzione delle tracce nell'esperimento CMS

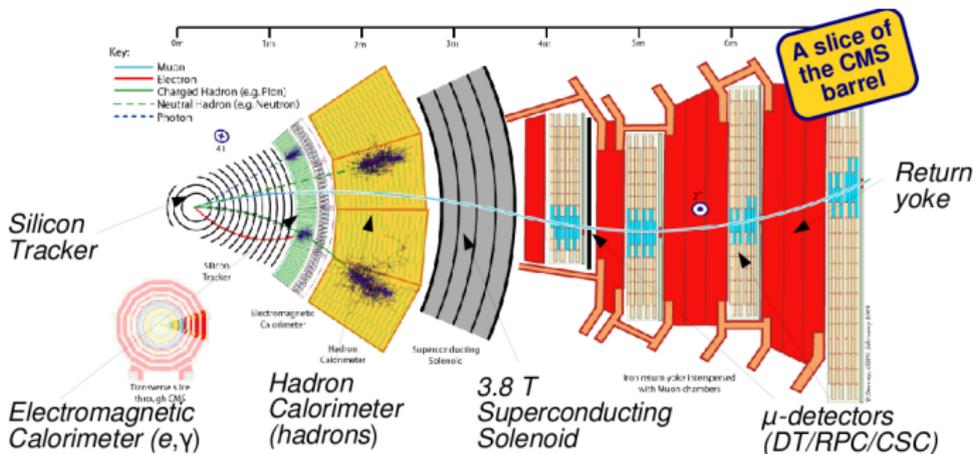
Federico Scozzi

Relatore **Prof. Ernesto Migliore**

Torino, 5 ottobre 2010

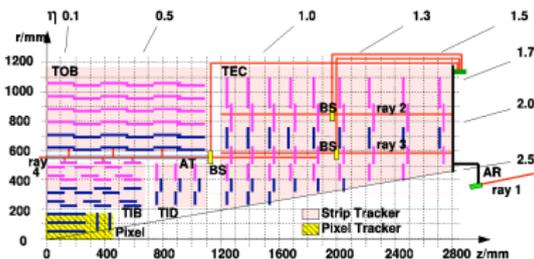
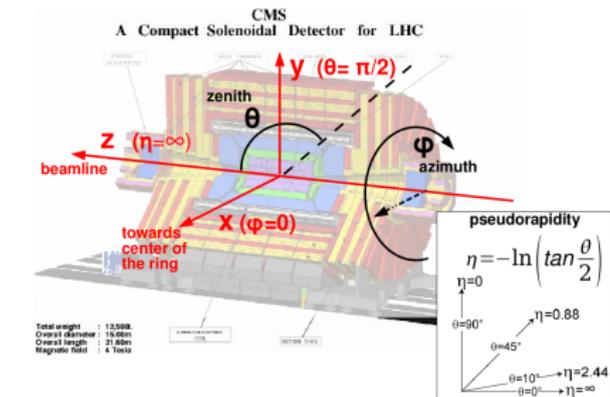
- Introduzione su CMS e sul tracciatore
- la problematica dell'allineamento ed in particolare degli errori sull'allineamento
- impatto degli errori sul χ^2 delle tracce, sia da collisioni, sia da cosmici

- L'esperimento CMS è uno dei 4 esperimenti all'acceleratore LHC
- E' in corso la presa dati con collisioni p-p aventi energia nel centro di massa di 7 TeV
- E' un esperimento con vari scopi (ricerca del bosone di Higgs, supersimmetria)
- Identificazione e misura del momento di muoni fino alla scala del TeV mediante l'uso di un campo magnetico solenoidale di 3.8 T.



CMS Tracker

- Occupa un volume di 24 m^3 e ha una superficie di 200 m^2
- Copre una regione $|z| < 270 \text{ cm}$, $|r| < 115 \text{ cm}$ e $|\eta| < 2.5$.
- Strip detector con circa 15000 moduli (risoluzione intrinseca di $20\text{-}50 \mu\text{m}$)
- Pixel detector con circa 1400 moduli (risoluzione intrinseca di $15\text{-}20 \mu\text{m}$)



Tracker Alignment

Scopo: conoscere con precisione di pochi μm la posizione dei circa 16500 ($\times 6$ dof) moduli.

Metodi:

- Survey (di tipo ottico, meccanico);
- LAS (Laser alignment system)
- Track Based Alignment

Si definisce una "funzione obiettivo" Ω :

$$\Omega(p, q) = \sum_{j=1}^{\text{tracks}} \sum_{i=1}^{\text{hits}} r_{ij}^T(p, q_j) V_{ij}^{-1} r_{ij}(p, q_j)$$

in cui V_{ij} è la matrice di covarianza; p : parametri di allineamento; q_j : parametri di traccia; $r_{ij}(p, q_j)$: residui, cioè la differenza tra la posizione misurata e quella estrapolata dal fit

Gli algoritmi utilizzati minimizzano questa funzione Ω , cioè minimizzano i residui pesati sugli errori.

Tracker Alignment 2

L'errore sui residui può essere scritto come $\sigma^2 = \sigma_{intr}^2 + \sigma_{estr}^2 + \sigma_{APE}^2$

- σ_{intr} identifica il contributo dovuto all'errore intrinseco sull'hit (limiti dell'elettronica, distribuzione di carica raccolta nel modulo)
- σ_{estr} identifica il contributo dovuto all'extrapolazione ($\theta_{MS} \propto \frac{1}{p}$)
- σ_{APE} ("APE" è l'*alignment position error*) identifica l'errore di ogni modulo dovuto ad effetti di disallineamento

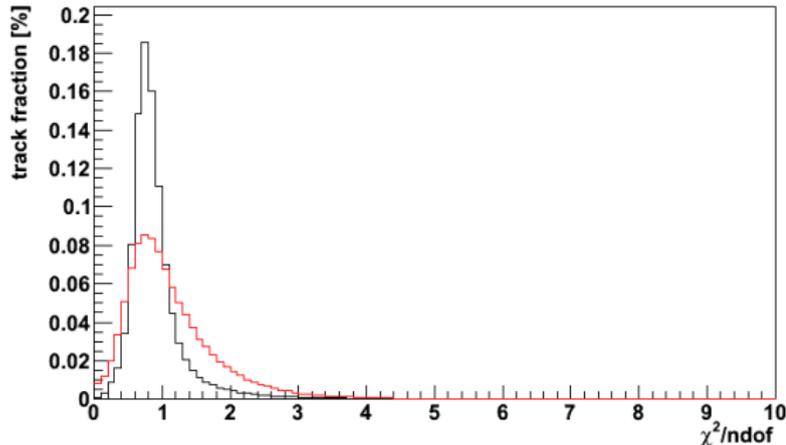
Una prima determinazione della geometria dei moduli e la relativa determinazione degli "APE" è stata realizzata con i raggi cosmici (2008); a causa della distribuzione in ϕ dei cosmici si ha che certe zone sono più illuminate mentre altre lo sono di meno.

L'incertezza sulla posizione dipende dal numero di hits. Di questo si è tenuto conto ponendo: $\sigma_{APE} = A\sqrt{\frac{N_0}{N_{hits}}}$ in cui A e N_0 dipendono dal tipo di modulo (strip/pixel, barrel/endcap, pitch).

Dopo la partenza di LHC sono disponibili anche tracce da collisione (minbias) e quindi si è determinata una nuova geometria mescolando tracce da cosmici con tracce da collisioni. Tale geometria viene poi usata separatamente nei due casi. Ci si chiede quindi come sia fatto il $\chi^2/ndof$ delle tracce nei due campioni.

$\chi^2/ndof$ of tracks

— MinBias	Entries	380997	Entries	279641
— Cosmics	Mean	0.9161	Mean	1.149
	RMS	0.4901	RMS	0.7518



$p > 3 \text{ GeV}$

$$n_{hits} > 7$$

$$n_{hits}^{2D} \geq 2$$

$$\frac{S}{N} > 8$$

Black = minbias

Red = cosmics

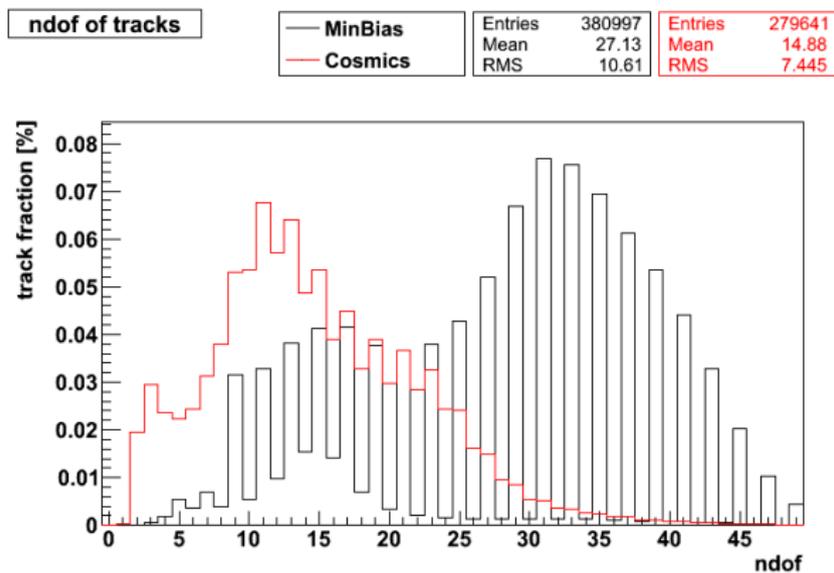
$$(\chi^2/ndof)_{minbias} \neq (\chi^2/ndof)_{cosmics}$$

N.B. residui minbias \approx residui cosmici

Ipotesi: la differenza è causata dal differente numero di *ndof*.

N.B. La RMS della distribuzione di $\chi^2/ndof$:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2}{n}}$$

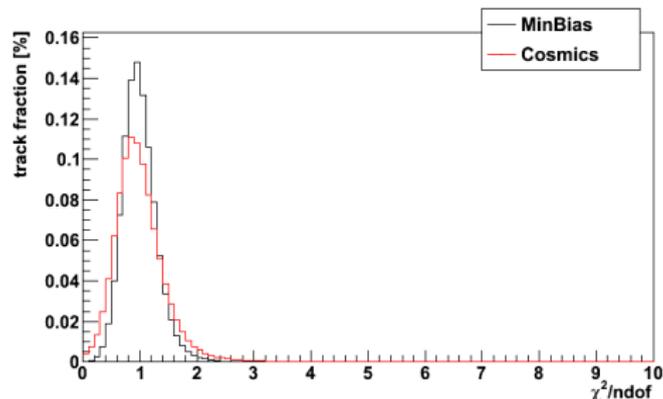


Realizzazione di un ToyMC:

- Si prendono le distribuzioni di $ndof$ dai dati
- Per ogni $ndof$ si generano numeri casuali distribuiti secondo $\chi^2/ndof$ con i quali si riempie un istogramma.
- Si sommano gli istogrammi pesandoli per la frazione di tracce con corrispondente $ndof$.

Toy $\chi^2/ndof$ of tracks

Entries	10000	Entries	9998
Mean	0.9996	Mean	1
RMS	0.3049	RMS	0.4409

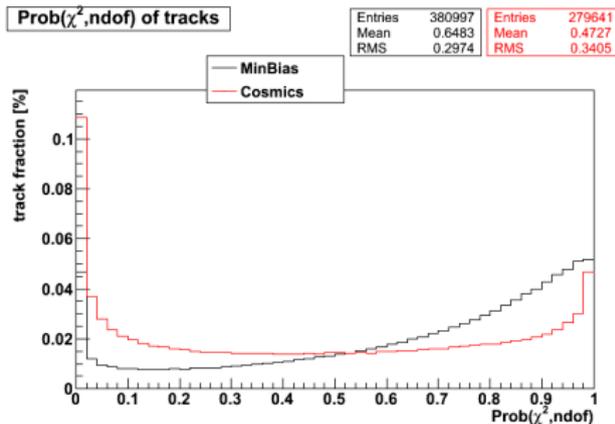
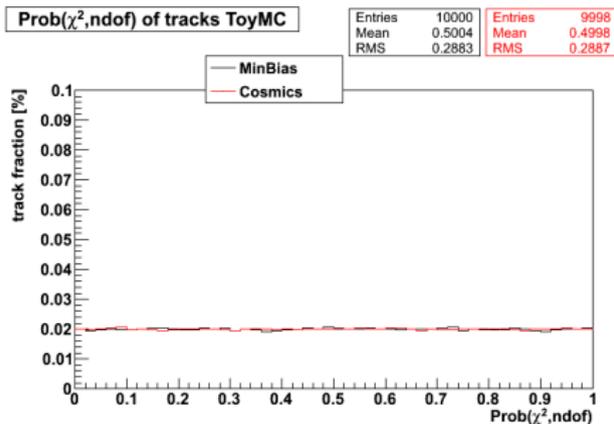


RMS		
	Dati	MC
Cosmics	0.75	0.44
MinBias	0.49	0.30

→ Le differenze dipendono solo in parte dai gradi di libertà.

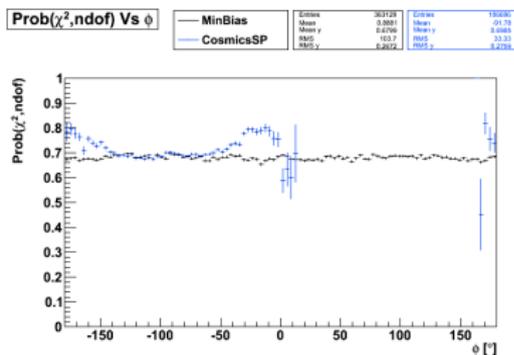
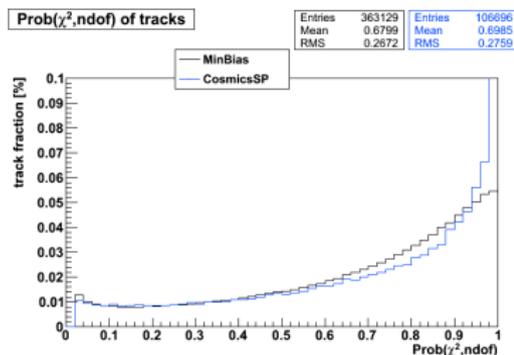
Si è quindi deciso di confrontare le distribuzioni di $\chi^2/ndof$ in funzione delle variabili che caratterizzano le tracce: p , η , ϕ . Per evitare il problema della dipendenza dal numero di ndof si passa a considerare le probabilità di χ^2 , cioè $\text{Prob}(\chi^2) = 1 - F(\chi^2)$

Si attende una distribuzione uniforme con $\text{RMS} = \frac{1}{\sqrt{12}}$ e $\mu = \frac{1}{2}$



N.B. D'ora in poi il primo bin viene rimosso.

Per paragonare tracce simili si è quindi deciso di confrontare le tracce minbias con quelle di cosmici passanti in un cilindro di raggio 10 cm e altezza 100 cm.(cosmici SuperPointing)

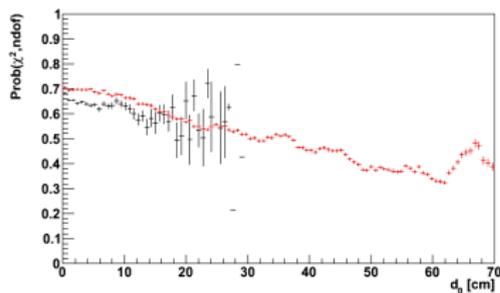
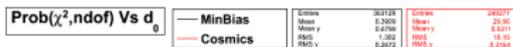
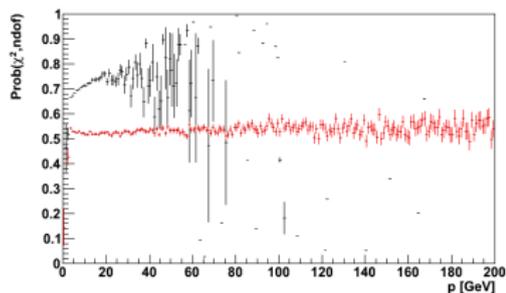
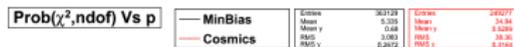
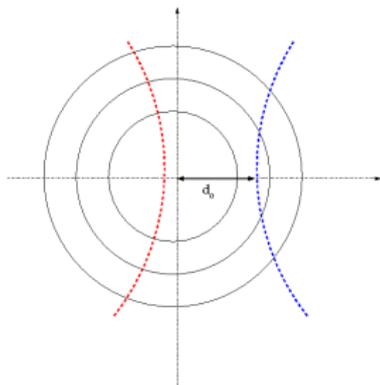


→ $Prob(\chi^2)_{minbias} \sim Prob(\chi^2)_{CosmicsSP}$

→ $Prob(\chi^2)_{minbias} Vs \phi \sim Prob(\chi^2)_{CosmicsSP} Vs \phi$ nella regione in cui i cosmici hanno un nHits alto

→ $Prob(\chi^2)_{minbias} Vs \phi \neq Prob(\chi^2)_{CosmicsSP} Vs \phi$ nella regione in cui i cosmici hanno un nHits basso

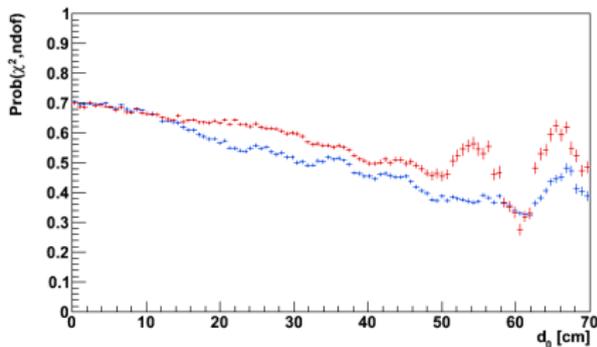
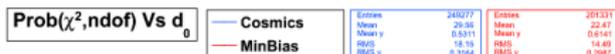
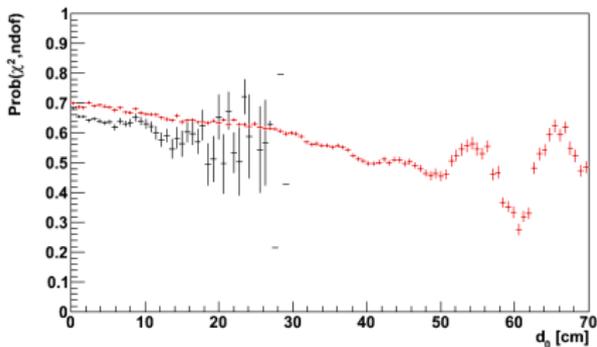
La calibrazione degli APE è stata realizzata con tutte le tracce provenienti da cosmici. Consideriamo quindi le probabilità di χ^2 vs p e di χ^2 vs d_0 (con tutti i cosmici). d_0 è il parametro d'impatto trasverso definito come la distanza minima nel piano trasverso tra il vertice e la traccia.



→ $Prob(\chi^2)_{Cosmics}$ Vs p ha un andamento costante con $\mu \approx \frac{1}{2}$

→ $Prob(\chi^2)_{MinBias}$ Vs p ha un andamento non costante con $prob > \frac{1}{2}$

Dato che le tracce da collisioni colpiscono la maggioranza dei moduli in direzione più o meno normale si è scelto di effettuare un taglio sull'angolo di incidenza delle tracce di cosmici, scartando tutte quelle con angolo minore di 45° rispetto all'orizzontale.



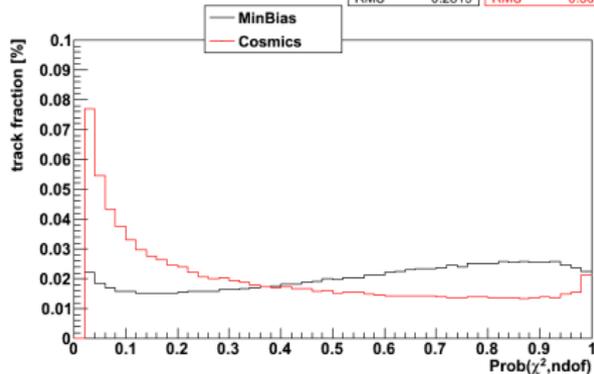
Con il taglio distribuzione più piatta.

Per d_0 grandi andamento decrescente della probabilità di $\chi^2 \rightarrow$ i moduli in realtà sono curvi.

Si cerca quindi di comprendere perché soprattutto il valore medio delle $\text{prob}(\chi^2)$ delle collisioni sia decisamente maggiore di 0.5. Ciò è indice di una sovrastima dell'errore: essendo $\sigma^2 = \sigma_{intr}^2 + \sigma_{APE}^2 + \sigma_{estr}^2$. Per prima cosa si riportano i profili con $\sigma_{APE} = 0$.

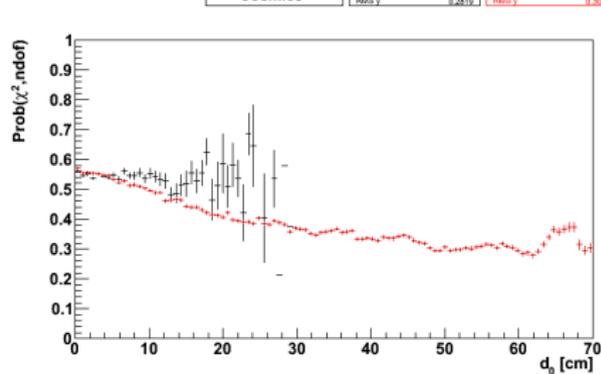
Prob(χ^2 ,ndof) of tracks

Entries	352307	Entries	212912
Mean	0.5561	Mean	0.402
RMS	0.2819	RMS	0.3022



Prob(χ^2 ,ndof) Vs d_0

Entries	352307	Entries	212912
Mean	0.3917	Mean	29.57
Mean y	0.5667	Mean y	0.401
RMS	1.303	RMS	18.32
RMS y	0.2819	RMS y	0.3022



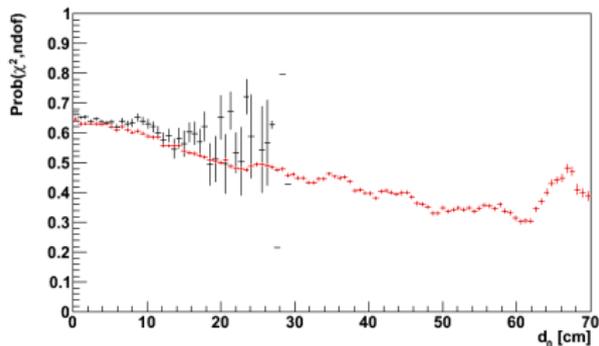
→ Per i cosmici si hanno χ^2 "cattivi" per la non planarità dei sensori → Gli APE per i cosmici compensano questo problema

Si è visto che l'assenza di APE migliora le distribuzioni di probabilità delle collisioni ma peggiora quelle dei cosmici. Pertanto si cambiano "APE" assumendoli costante per moduli dello stesso tipo. Si sottolinea che ciò è stato realizzato solo per i moduli appartenenti al barrel.

Prob(χ^2 ,ndof) Vs d_0

— MinBias
— Cosmics

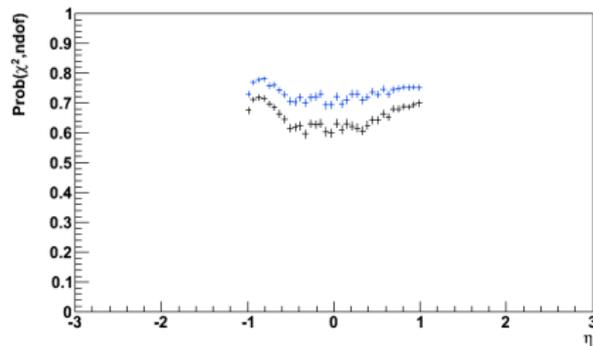
Entree	342137	Entree	236400
Mean	0.2817	Mean	29.18
Mean y	0.5677	Mean y	0.4766
RMS	1.393	RMS	18.21
RMS y	0.2056	RMS y	0.2128



Prob(χ^2 ,ndof) Vs η

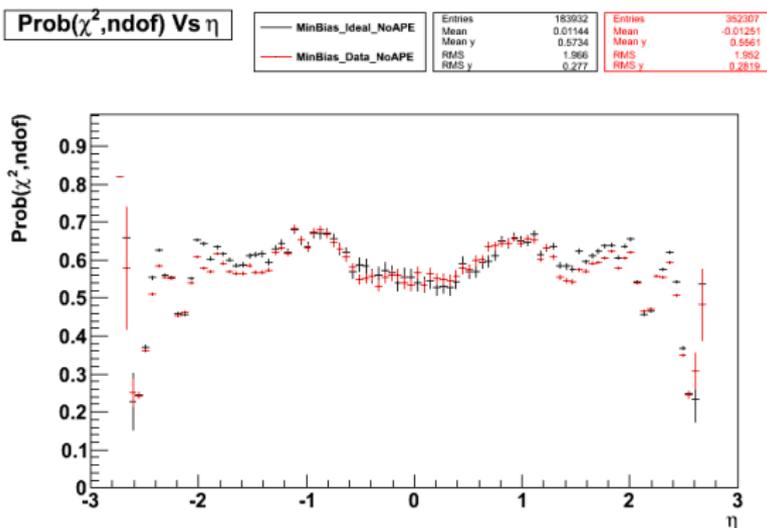
— MinBias_NewAPE
— MinBias_OldAPE

Entree	22877	Entree	24311
Mean	-0.05049	Mean	-0.05917
Mean y	0.6324	Mean y	0.7263
RMS	0.6745	RMS	0.6737
RMS y	0.2045	RMS y	0.2231



Le prob(χ^2) Vs d_0 per cosmici e collisioni si sovrappongono \rightarrow Stesse prestazioni per le due tipologie di tracce.

Si è cercato di comprendere le 2 risalite nella distribuzione vs η . Si è girato pertanto un idealMC (dati simulati senza disallineamenti) senza APE.



Continuano ad essere presenti → non dipendono dall'allineamento.

- Si è partiti da 2 distribuzioni di $\chi^2/ndof$ diverse
- Si è compreso la parziale dipendenza dai $ndof$
- Si è quindi passati alle distribuzioni di probabilità di χ^2
- Si sono osservati nelle tracce da collisioni $\mu > \frac{1}{2}$
- Si è quindi capito che la problematica era legata agli errori
- Si è visto che anche senza APE per le tracce da collisioni ci sono $\mu > \frac{1}{2}$
- Con errori isotropi in ϕ nel barrel si hanno miglioramenti

Alcune avvertenze sulla selezione delle tracce

- sono state usate tracce con minimo 7 hits di cui 2 bidimensionali;
- $\chi^2/ndof < 100$;
- tracce, sia da raggi cosmici, sia da minbias, $p > 3$ GeV in quanto: $\theta_{MS} \propto \frac{1}{p}$.

Se si guarda la distribuzione della larghezza dei residui in funzione dell'impulso si nota che tale larghezza può essere assunta pressoché costante all'incirca dopo che l'impulso supera i 3 GeV.

