



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BARI
ALDO MORO

Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Corso di Laurea in Fisica

**Ricostruzione del mesone
charmato D^0 nel canale di
decadimento in $K\pi\pi\pi$
con i dati del 2010
dell'esperimento CMS ad LHC**

Laureando

Leonardo Antonio Demelio

Relatore

Dr. Alexis Pompili

Il mesone D^0

È un mesone charmato neutro ($c\bar{u}$) scoperto nel 1975 (MARK-I).

Con i dati del 2010 di CMS è stato ricostruito nel suo decadimento adronico $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^- \pi^+$

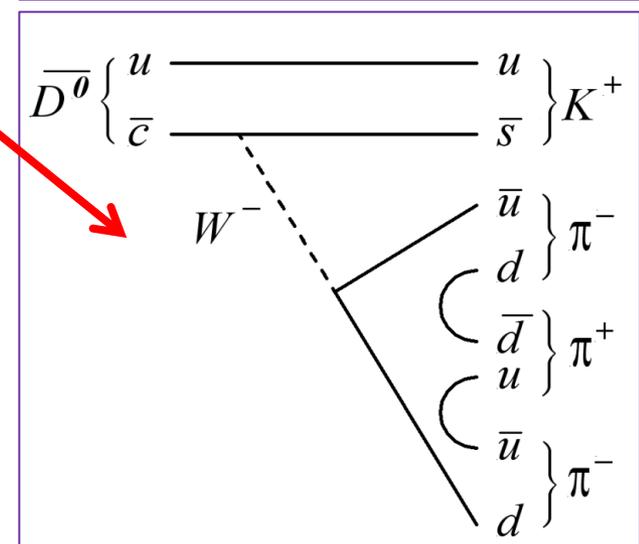
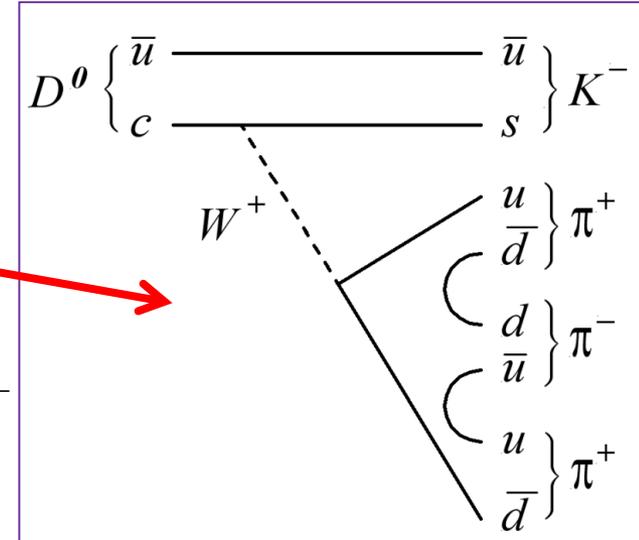
La sua antiparticella è il \bar{D}^0 ($\bar{c}u$) ed il suo decadimento complesso coniugato è $\bar{D}^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$

Il modo di decadimento ha rapporto di diramazione (PDG) :

$$\frac{\Gamma(K^- \pi^+ \pi^- \pi^+)}{\Gamma_{total}} = (8.09 \pm 0.02) \cdot 10^{-2}$$

La Massa a riposo (PDG):

$$m(D^0) = 1864.83 \pm 0.14 \text{ MeV}/c^2$$



LHC / CMS

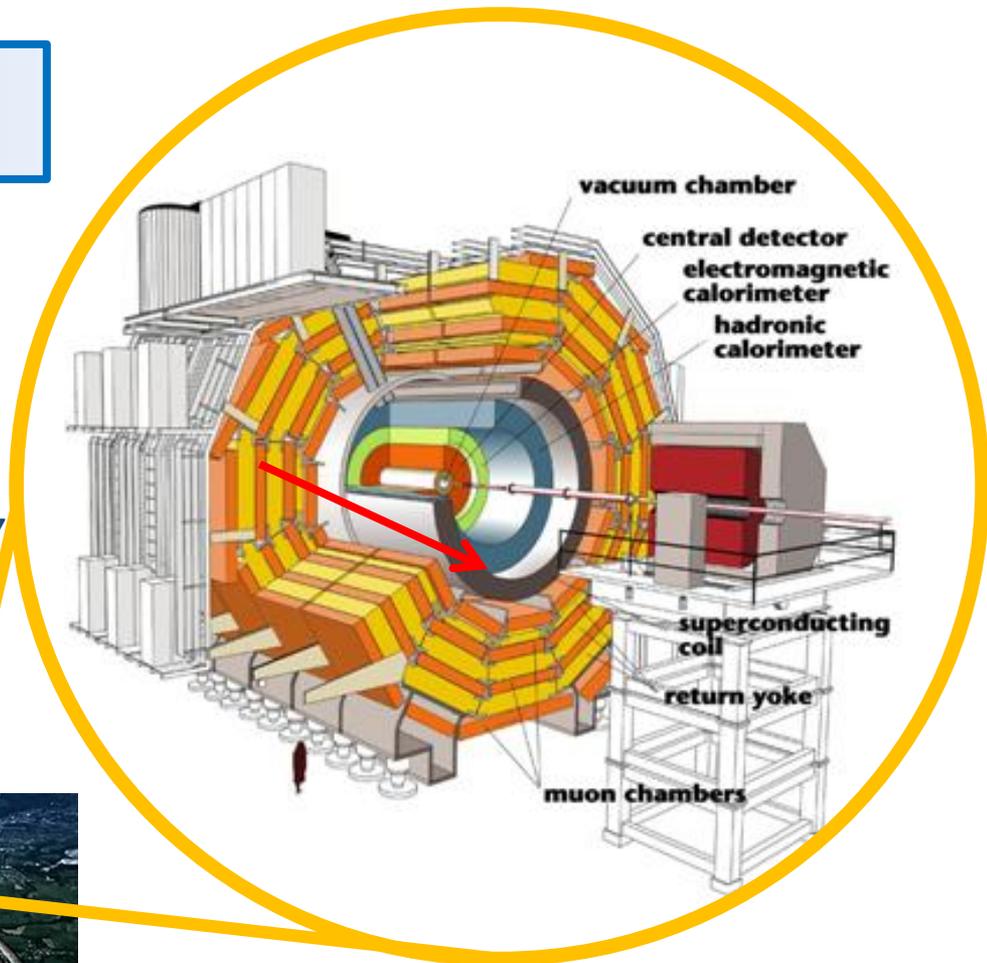
Large Hadron Collider

Situato presso il CERN

Lunghezza 27 km

Collisioni p-p all'energia del c.m. 7 TeV

Frequenza di collisione: 40MHz



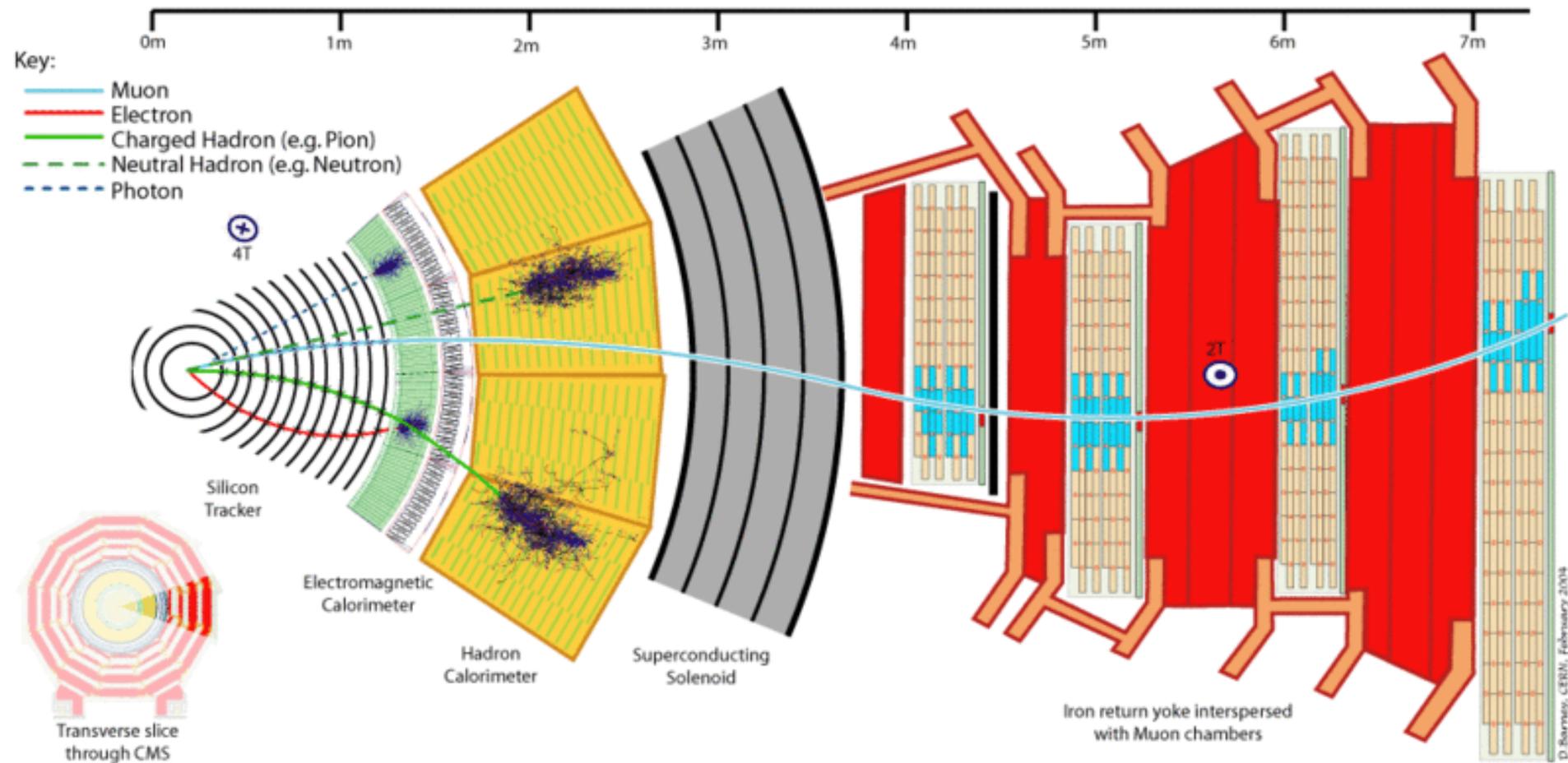
Compact Muon Solenoid

Verifica MS per $E > 2\text{TeV}$

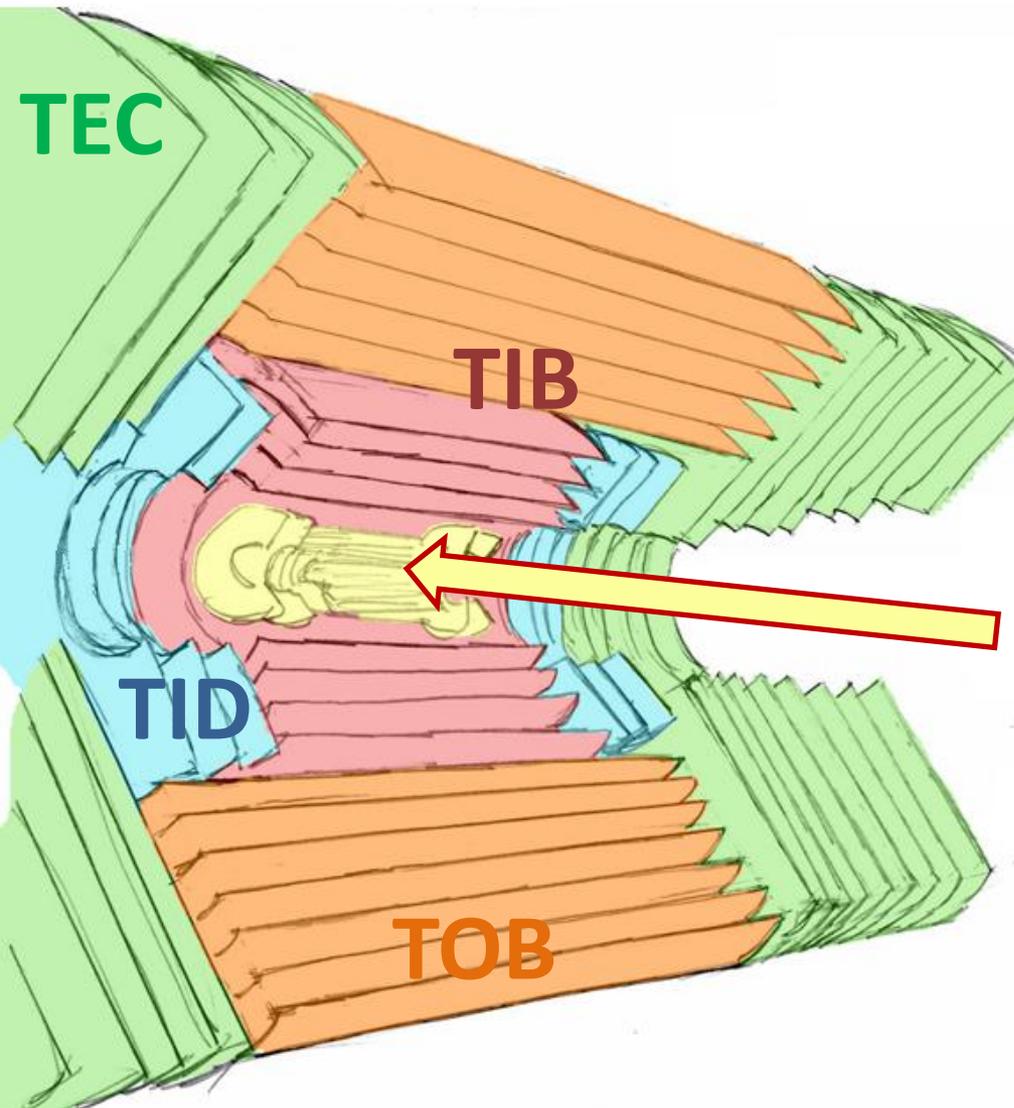
Bosone di Higgs

Nuova Fisica (Supersimmetria,...)

CMS (sezione)



CMS : Tracciatore



Il sistema tracciatore ha la funzione di *ricostruire in maniera efficiente e precisa* le traiettorie delle particelle cariche.

È composto da:

- rivelatore a pixel di silicio
- rivelatore a microstrisce di silicio

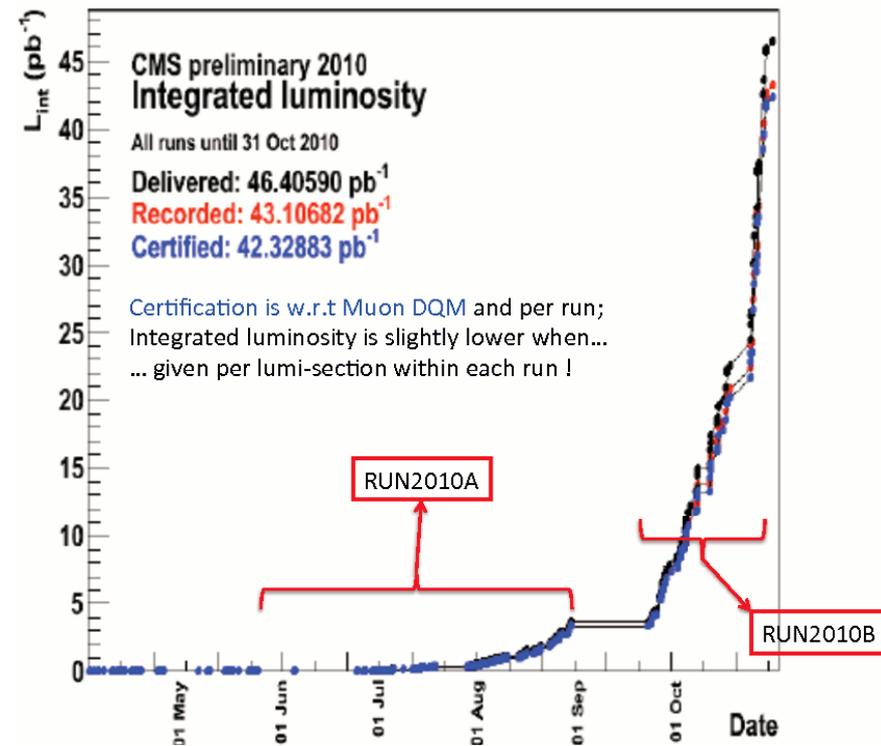
Campione di dati / Tipologia di eventi

Estrazione del segnale del D^0 : utilizzato il campione dati dell'intero *run* p - p del 2010, per una luminosità integrata corrispondente di **36 pb^{-1}** .

Selezionati eventi di *minimum bias* (fondo di QCD) in cui viene ricostruito almeno un muone (***Muon Primary Dataset***).

Requisiti (minimo p_T) di HLT sul muone ricostruito inizialmente blandi ed inclusivi e poi progressivamente sempre più stringenti, e conseguente aumento della frazione di eventi con *charm-jet* e *beauty-jet*:

$$pp \rightarrow c\bar{c}X, \quad pp \rightarrow b\bar{b}X \quad (\text{con } b \rightarrow D^0 X)$$



Workflow

Dati reali: *root-uple* "ufficiali"

Pre-selezione
Software di esperimento



***Root-uple "utente" con variabili
utili relative ai candidati D^0 e alle
tracce figlie***



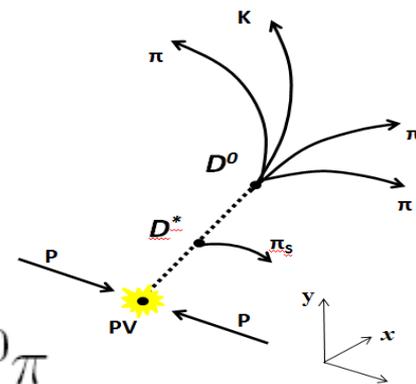
**Attività di tesi:
*Estrazione del segnale
del D^0***

Risultati

Pre-selezione degli eventi

La preselezione dei candidati D^0 prevede:

- selezione delle tracce con $p_T > 0.6 \text{ GeV}/c$ e $|\eta| < 2.5$
- creazione di una lista di candidati π^\pm ed una lista di candidati K^\pm (assegnazione alle tracce dell'ipotesi di massa)
- costruzione per combinazione delle tracce dalle 2 liste dei candidati D^0 . Vengono accettati solo i candidati con massa invariante in $[1.73, 2.0] \text{ GeV}/c^2$
- Applicazione del *Kalman Vertex Fitter* al fine di ottenere posizione e relativo errore del vertice "secondario" di decadimento
- immagazzinamento di tutte le informazioni per le tracce e per i candidati composti
- combinazione di un D^0 con un π_{soft} (di una lista di tracce appositamente costruita) e selezione del migliore candidato D^* associato ad ogni D^0 [D^* -tag non usato in questa analisi]



$$D^* \rightarrow D^0 \pi$$

PROOF-Lite (Parallel ROOT Facility)

ROOT-file utilizzati: 45,2 milioni di eventi 1,5 TB

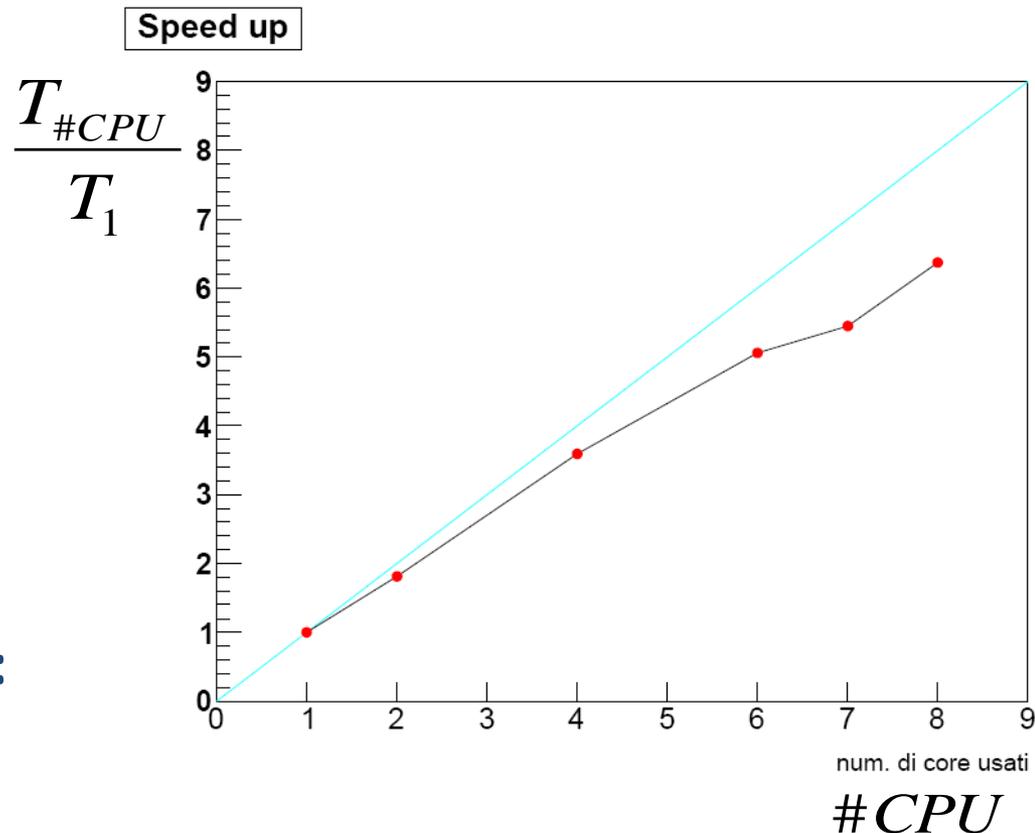
PROOF-Lite: estensione di ROOT che permette di eseguire analisi interattive in parallelo su una macchina *multi-core*.

Analisi in parallelo con 8 CPU:

- $T_8 \approx 3.5h$
- *processing rate 3700 ev/sec*

Analisi con ROOT (1 sola CPU):

- $T_1 \approx 21h$



Metodo di estrazione del segnale

Il segnale del D^0 è annegato in un oceano di fondo combinatorio derivante dalla combinazione casuale di 4 tracce di relativamente basso impulso.

Il segnale viene estratto implementando una **selezione a tagli** applicata ad un insieme di osservabili fisiche (cinematiche, geometriche,...) ed usata per discriminare il segnale dal fondo.

I criteri di selezione vengono ottimizzati con il metodo della massimizzazione della significatività statistica del segnale:

$$SS = \frac{S}{\sqrt{S + B}}$$

Significatività Statistica SS

$$SS = \frac{S}{\sqrt{S+B}}$$

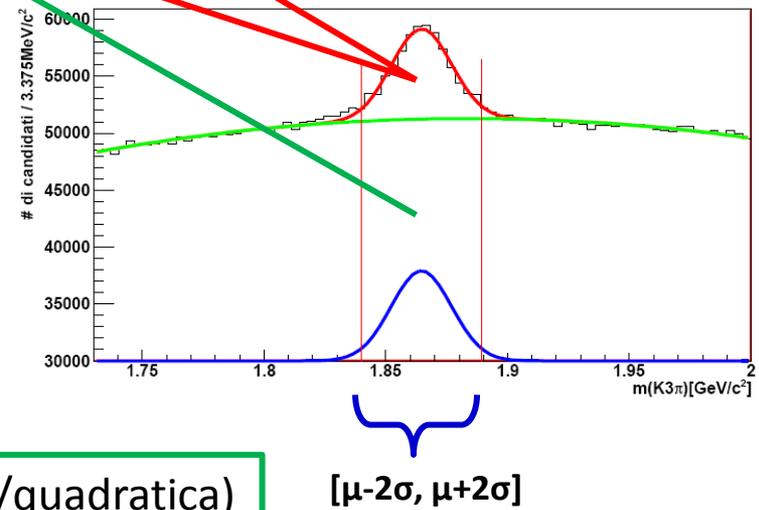
di candidati di Segnale (S) e di fondo combinatorio (B) ottenuti per interpolazione della distribuzione di massa invariante e calcolati in una finestra di $[\mu-2\sigma, \mu+2\sigma]$

Interpolazione mediante funzioni PDF (Probability Density Function):

$$f_{PDF}(m_{K3\pi}) = c_s \left[\frac{N_S}{N} \cdot G(m_{K3\pi}) + \left(1 - \frac{N_S}{N} \right) \cdot P(m_{K3\pi}) \right]$$

Gaussiana

Polinomiale (retta/quadratica)



Criteri di selezione

Individuato un insieme di osservabili fisiche utili per distinguere il segnale dal fondo.

Insieme dei criteri di selezione (per massimizzazione di SS):

$$n_{tracker-hit}(t) > 7 \quad t = K, \pi_1, \pi_2, \pi_3$$

$$p_T(t) > 1.0 \frac{GeV}{c} \quad t = K, \pi_1, \pi_2, \pi_3$$

$$P_{\chi^2}(D^0 vtx) > 0.02$$

$$p_T(D^0) > 5.5 \frac{GeV}{c}$$

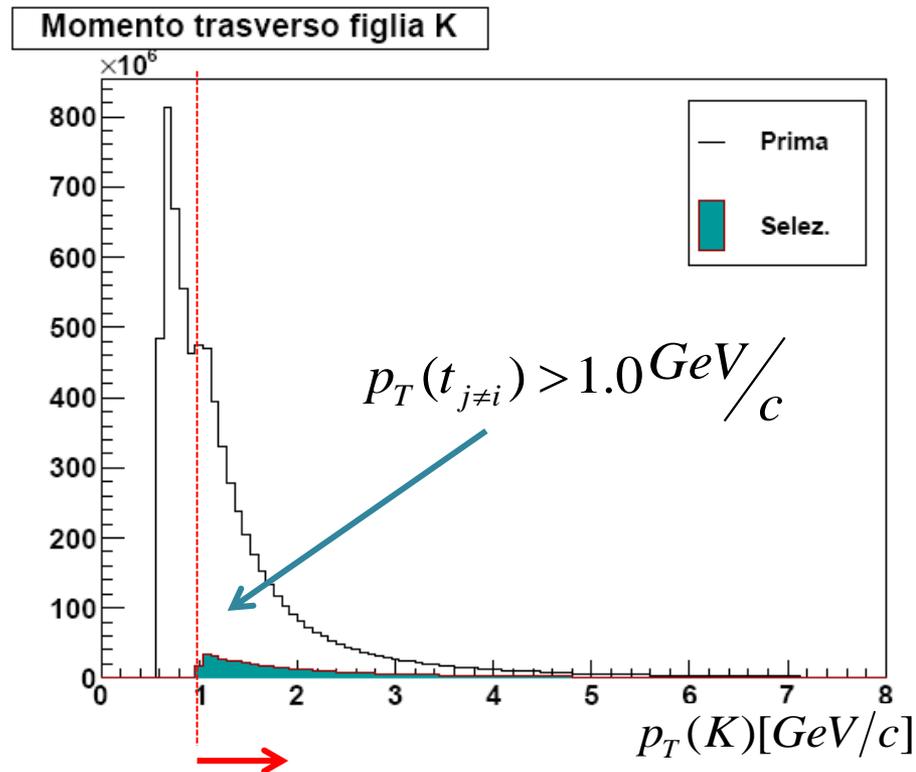
$$\delta_{XY}(D^0 vtx) > 3.5$$

$$\Delta R(t_i, t_j) < 1.1 \text{ rad} \quad t_i, t_j = K, \pi_1, \pi_2, \pi_3$$

$$\alpha_{3D}(D^0) < 0.2 \text{ rad}$$

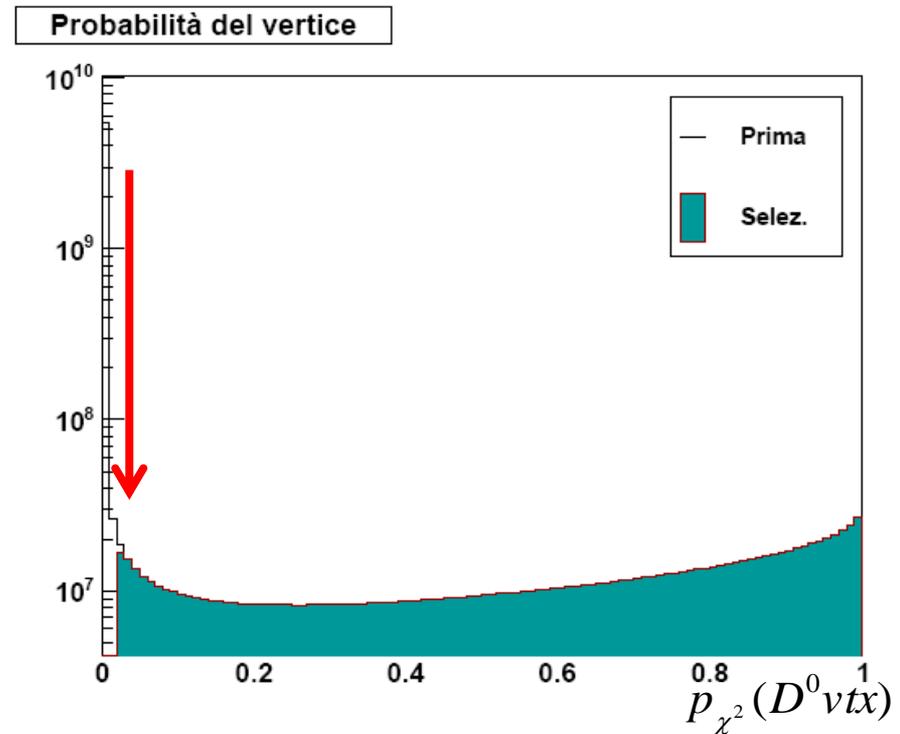
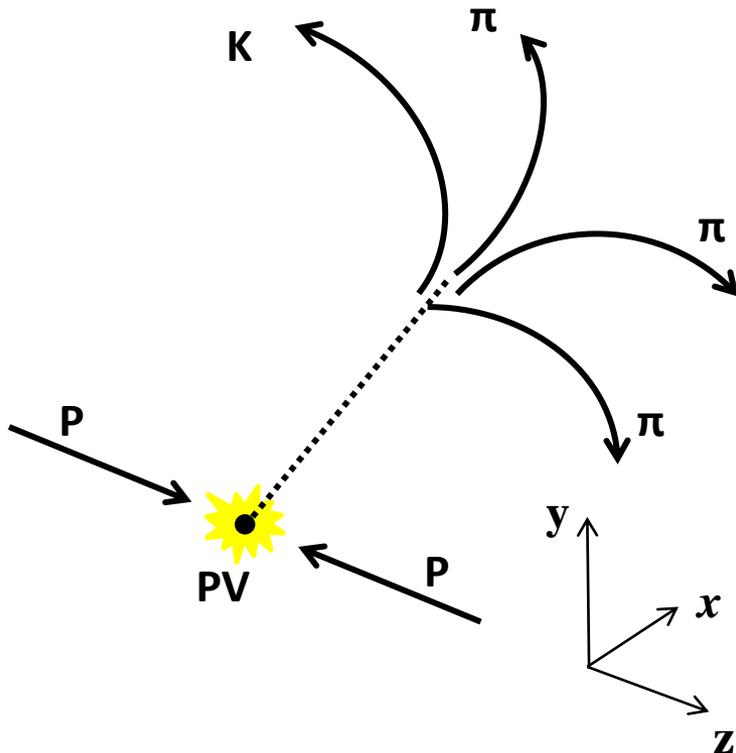
$$p_T(t_i) > 1.0 \text{ GeV}/c$$

Impulso trasverso (proiezione dell'impulso nel piano xy) della figlia t_i ($t_i = K, \pi_1, \pi_2, \pi_3$)



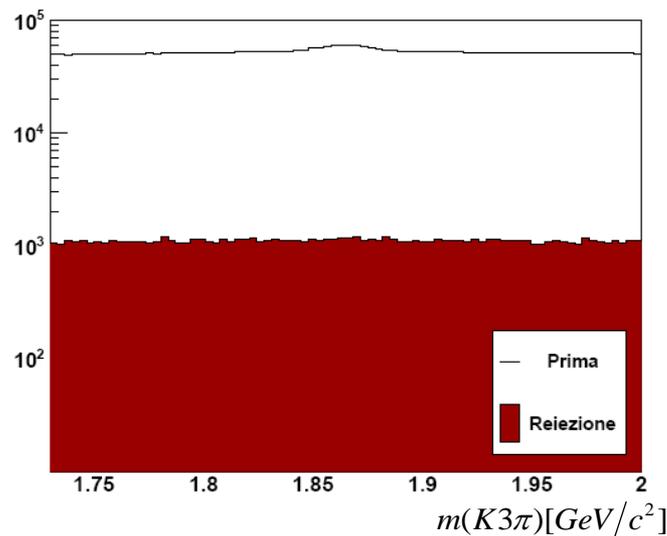
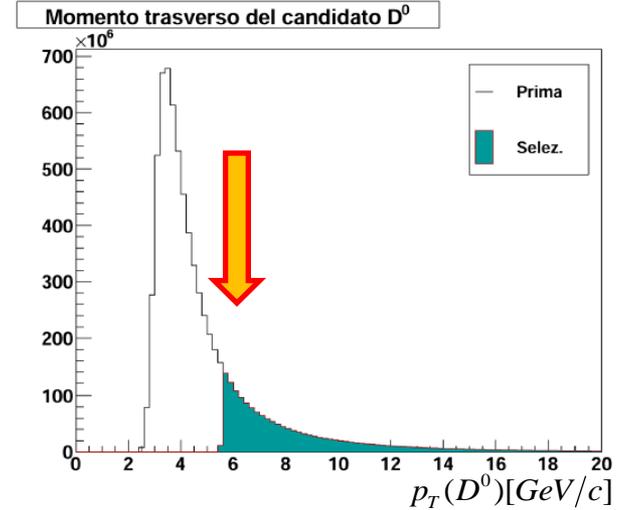
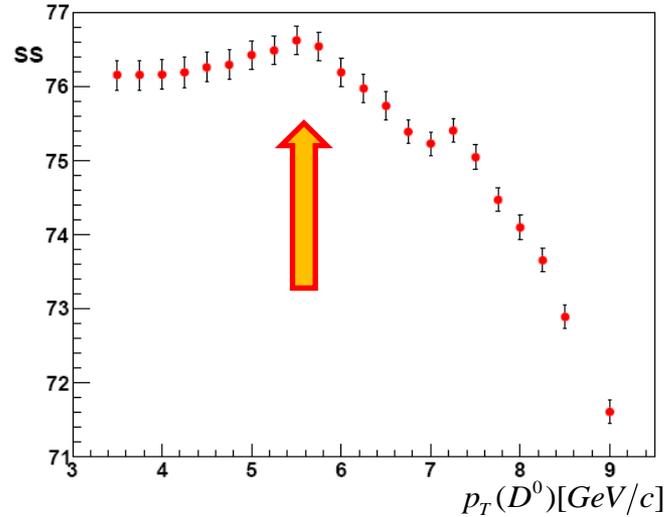
$$P_{\chi^2}(D^0 vtx) > 0.02$$

Probabilità associata al valore del χ^2 del fit del vertice di decadimento (con KVF)

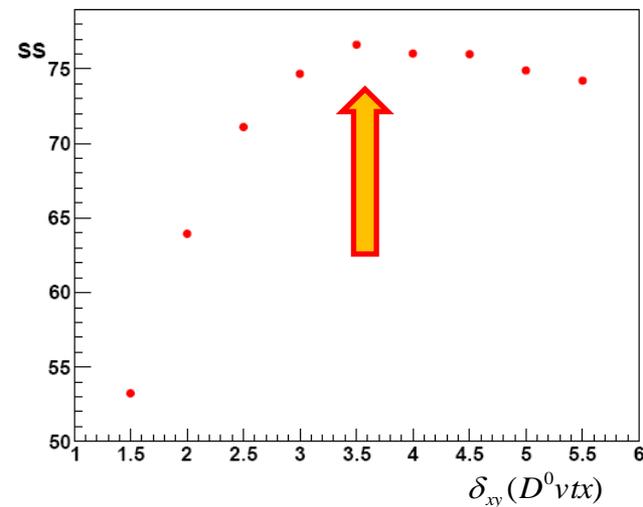
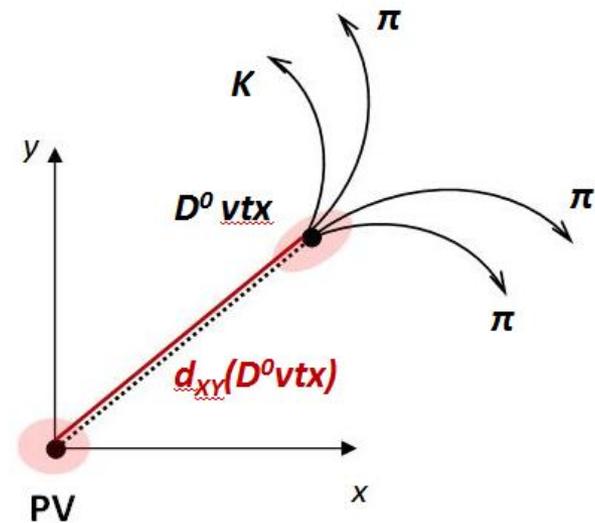


$$p_T(D^0) > 5.5 \text{ GeV}/c$$

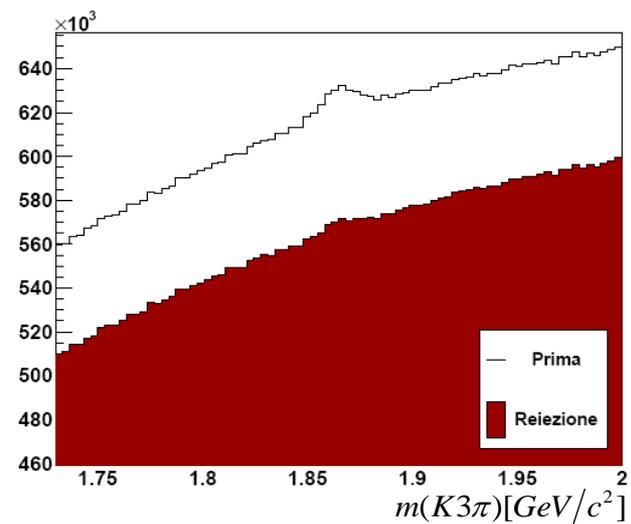
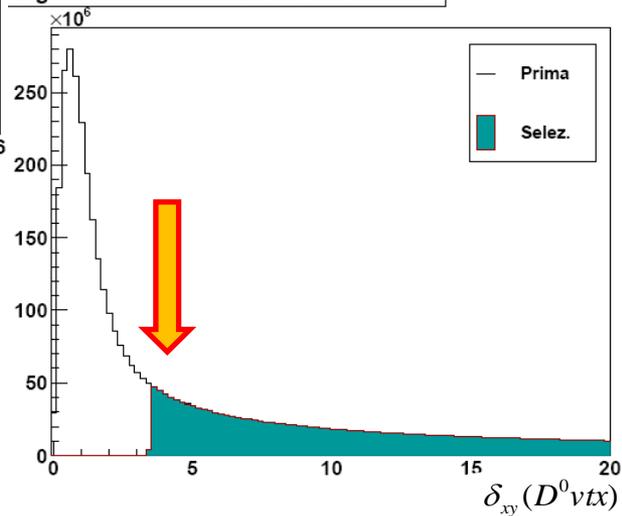
Impulso trasverso (proiezione dell' impulso nel piano xy) del candidato D^0



$$\delta_{XY}(D^0 vtx) = \frac{d_{XY}(D^0 vtx)}{\varepsilon_{XY}(D^0 vtx)} > 3.5$$



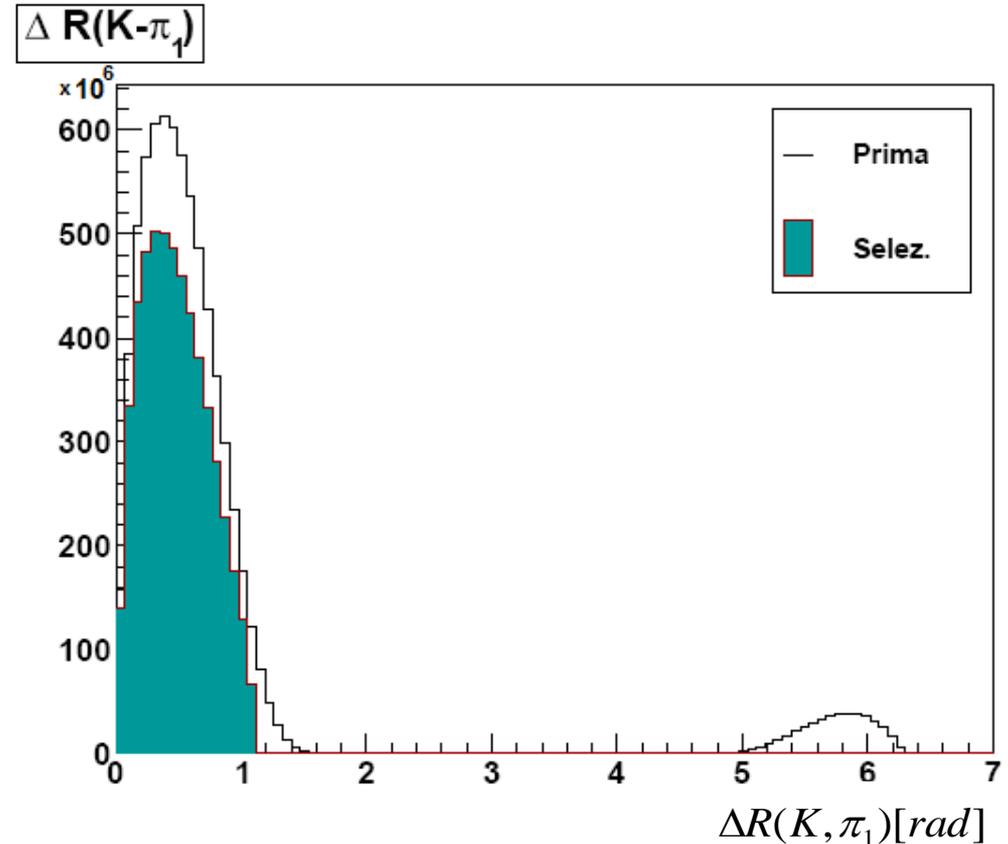
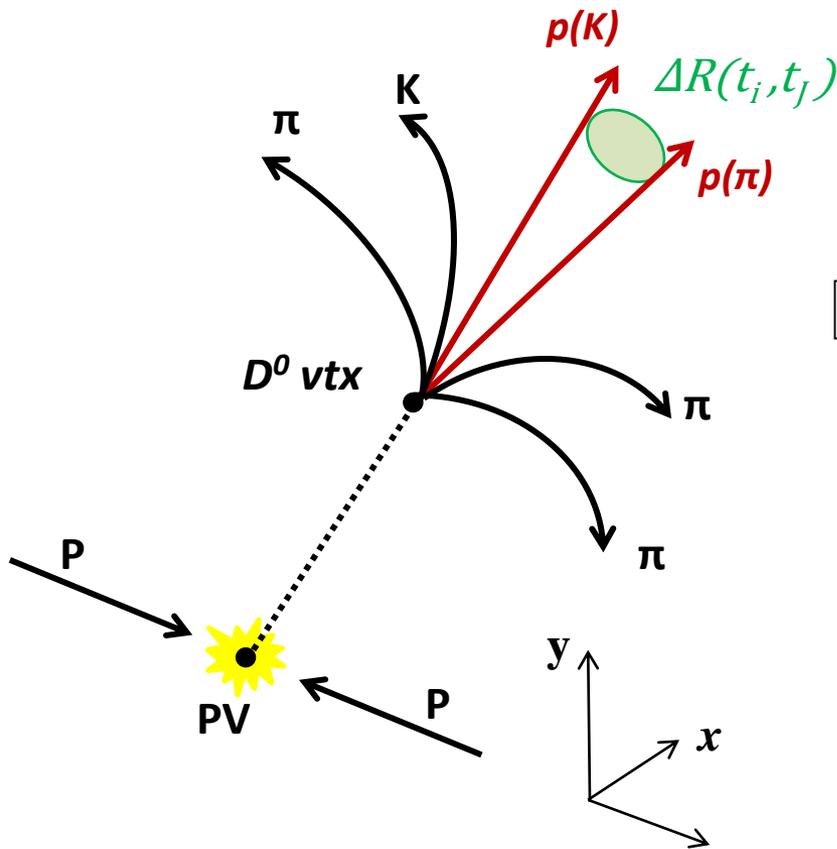
Significatività distanza XY del vertice



$$\Delta R(t_i, t_j) < 1.1 \text{ rad}$$

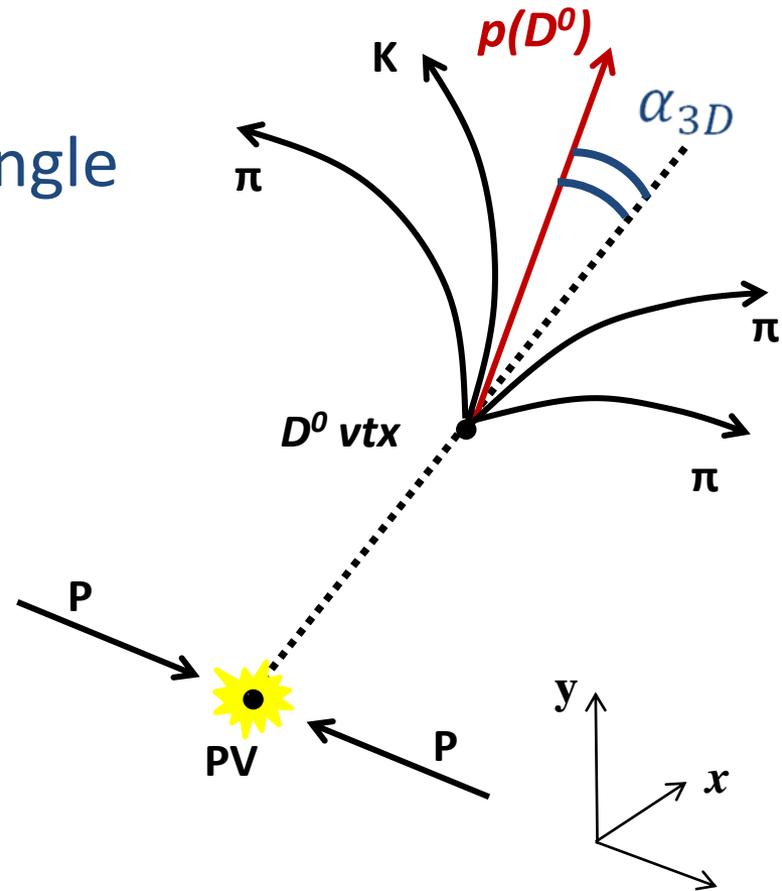
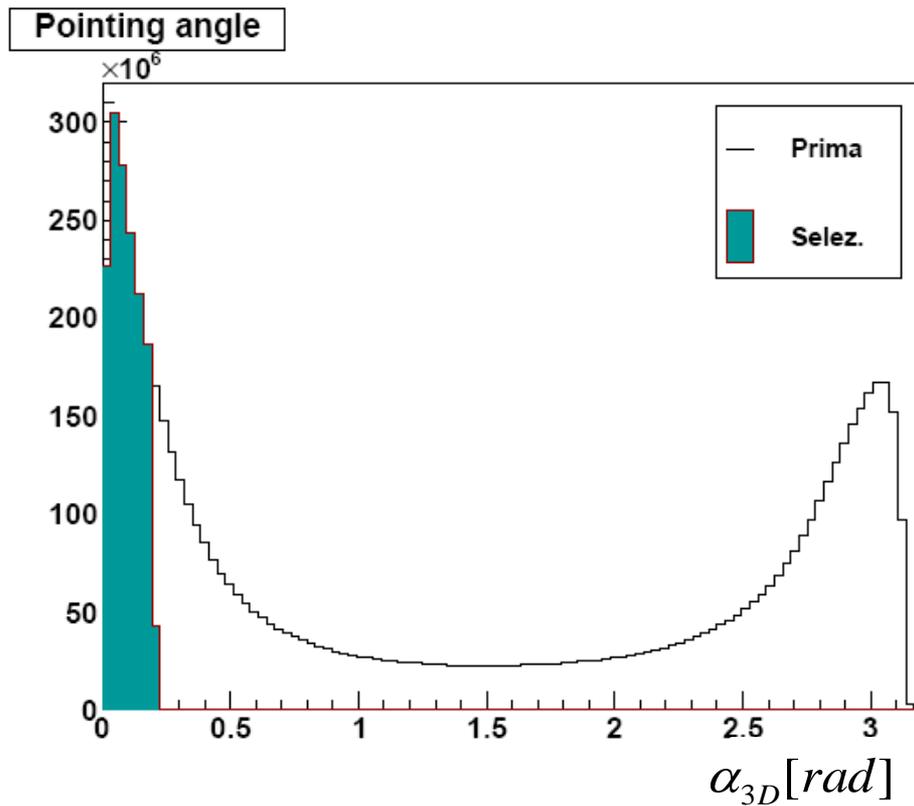
Separazione angolare di due vettori impulso delle tracce figlie definita come:

$$\sqrt{(\eta(t_i) - \eta(t_j))^2 + (\phi(t_i) - \phi(t_j))^2}$$

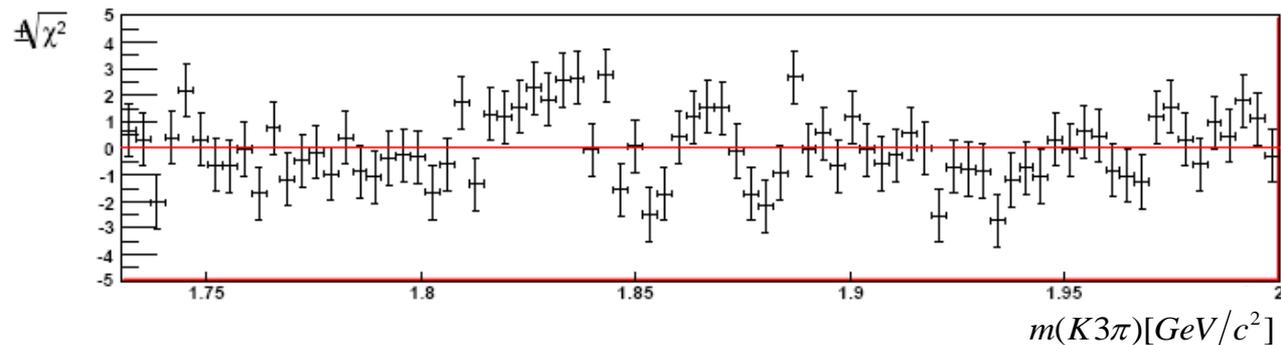
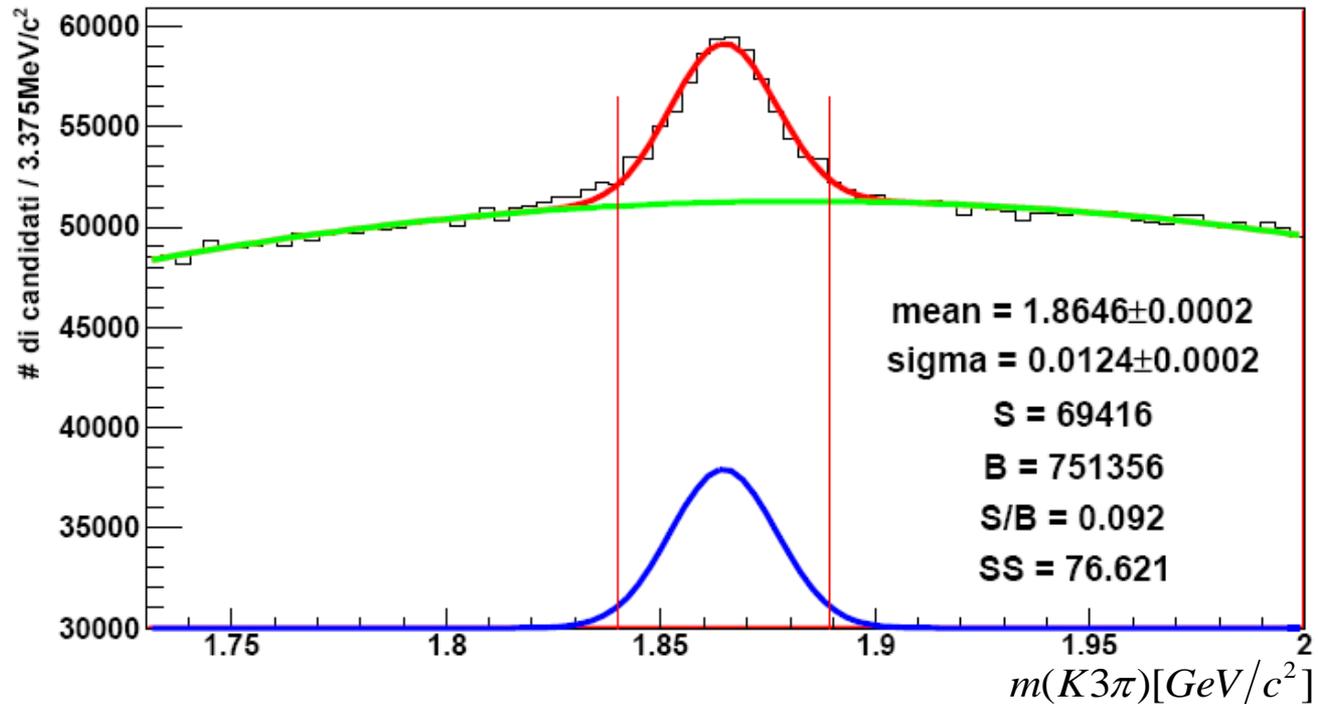


$$\alpha_{3D} < 0.2 \text{ rad}$$

Pointing angle

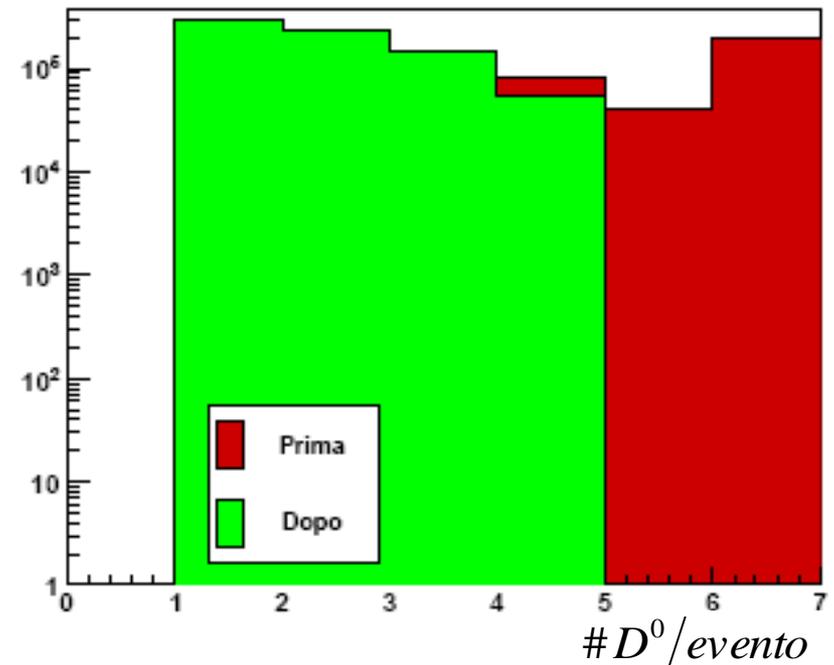
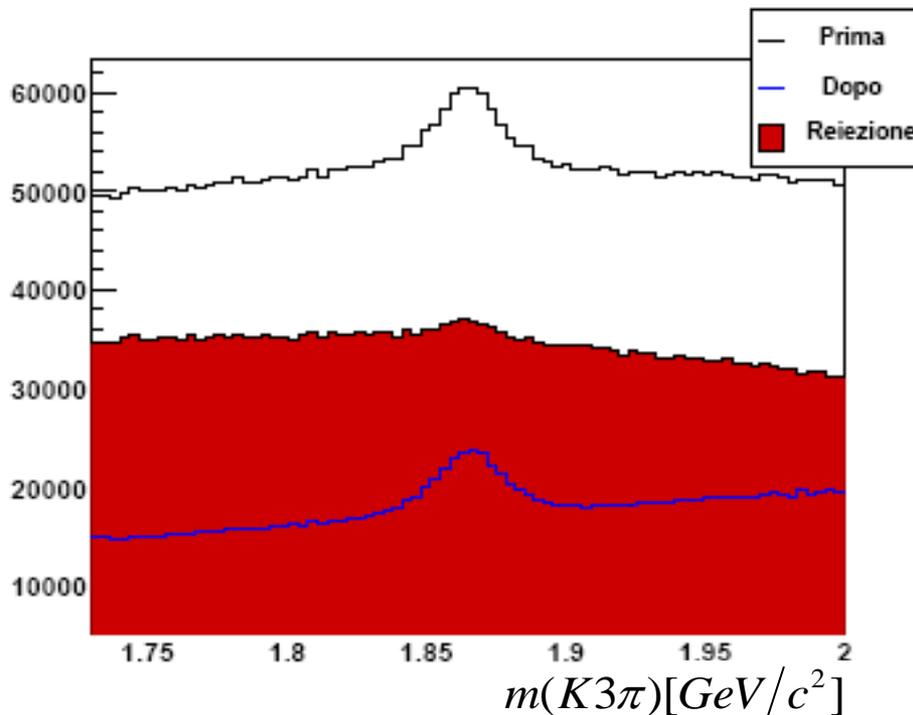


Istogramma della distribuzione di massa dopo l'applicazione di tutti i criteri di selezione

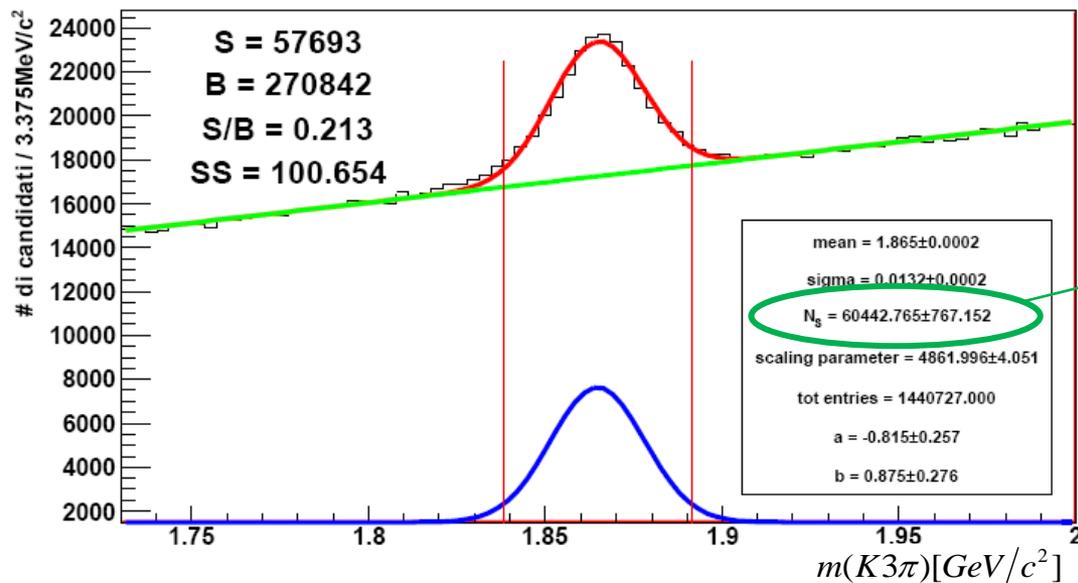


Riduzione della molteplicità

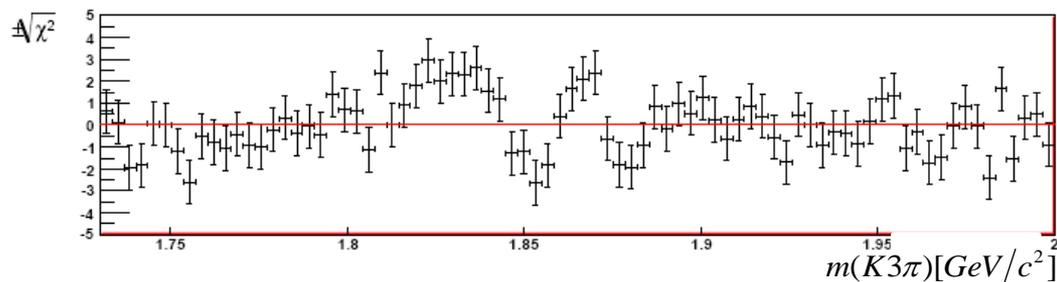
È ragionevole aspettarsi un solo vero candidato D^0 per evento. Ispezionata la **molteplicità** è quindi necessario applicare un criterio per scegliere il candidato più probabile. È stato scelto di mantenere solo i D^0 con p_T più elevato. Nel caso più candidati abbiano lo stesso p_T (ma massa inv. diversa) li si mantiene tutti (*molteplicità residua*).



Distribuzione finale in massa invariante dei candidati D^0



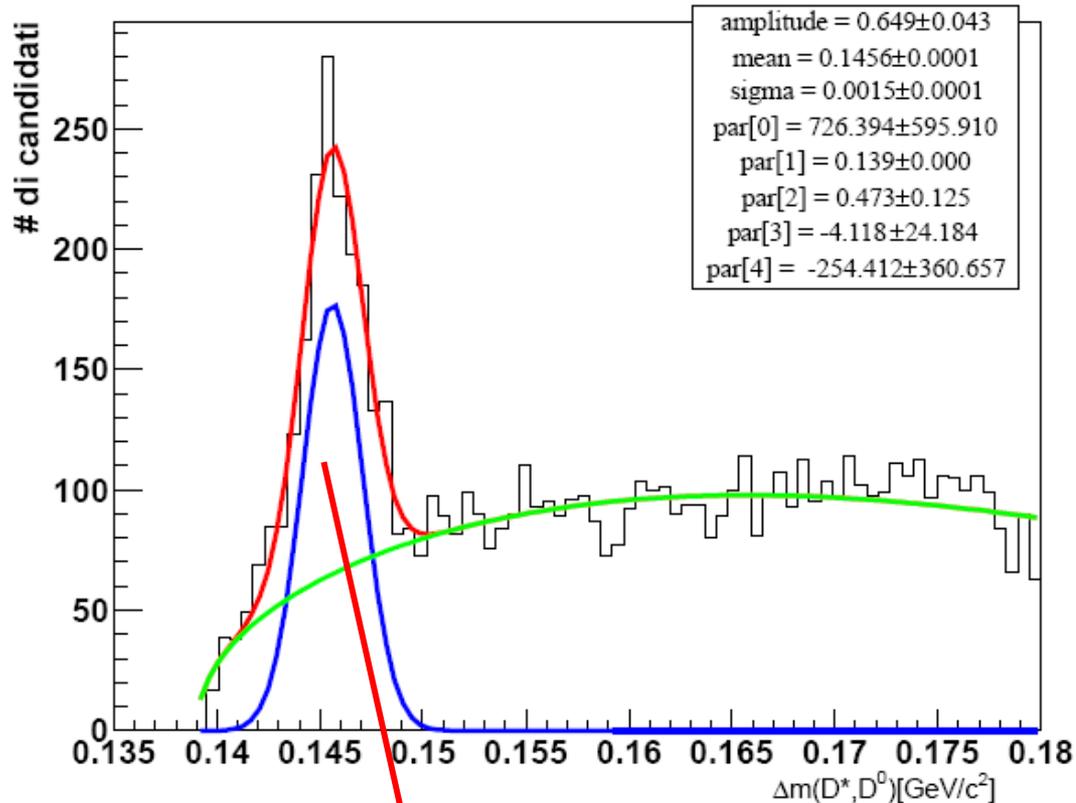
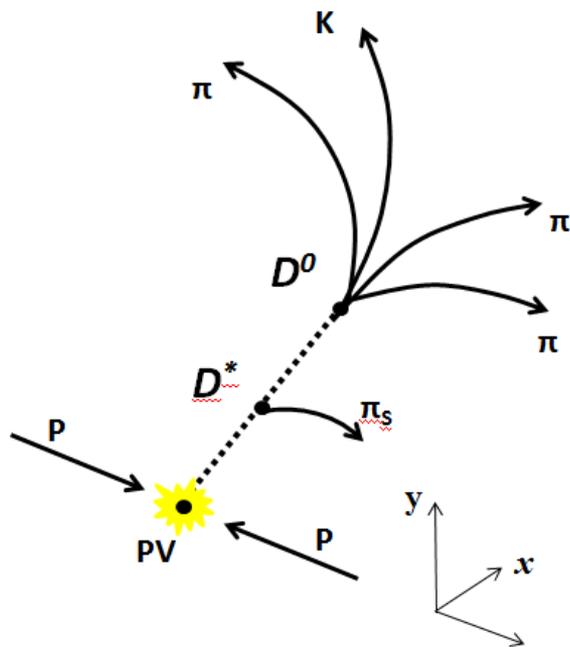
$\mu(\text{GeV}/c^2)$	1.8647 ± 0.0002
$\sigma(\text{MeV}/c^2)$	(13.3 ± 0.2)
S (fit) $\equiv N_S$	60443 ± 767
# tot. candidati	1440727
S (fit) $[\mu \pm 2\sigma]$	57963
B (fit) $[\mu \pm 2\sigma]$	270842
SS (fit) $[\mu \pm 2\sigma]$	100.65
S/B (fit) $[\mu \pm 2\sigma]$	0.21



Conclusioni:

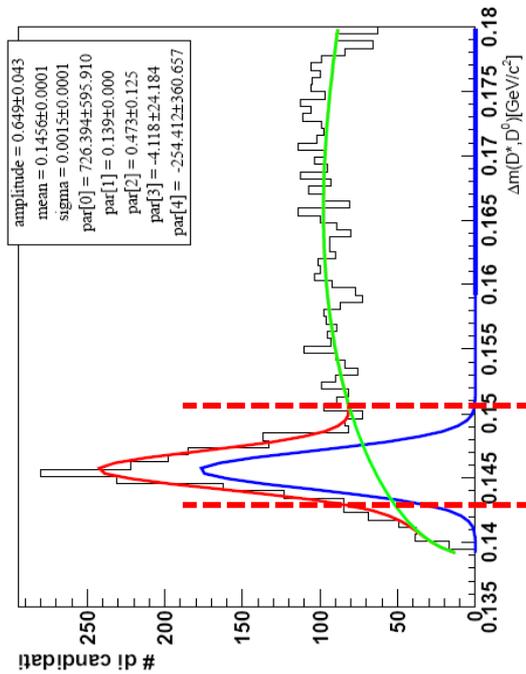
- stima della massa ricostruita in accordo col valore del PDG
- verifica del buon stato di allineamento del sistema di tracciamento

D⁰ provenienti dal decadimento di un D*

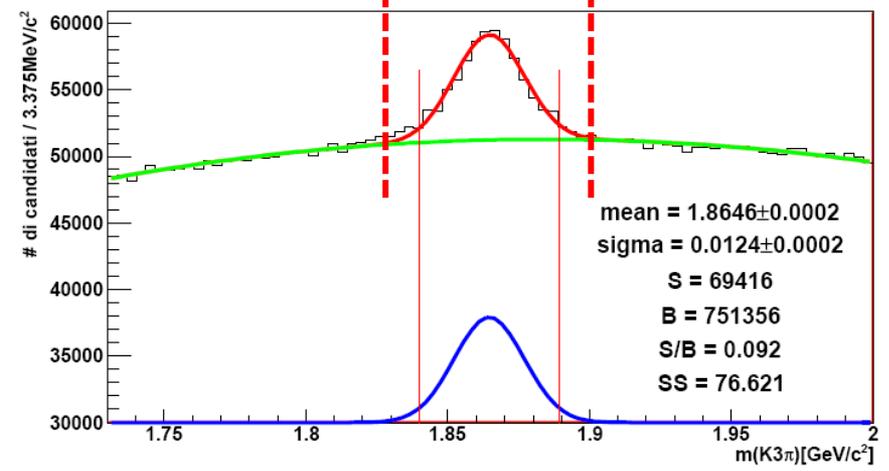
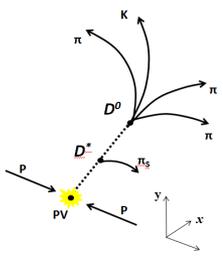
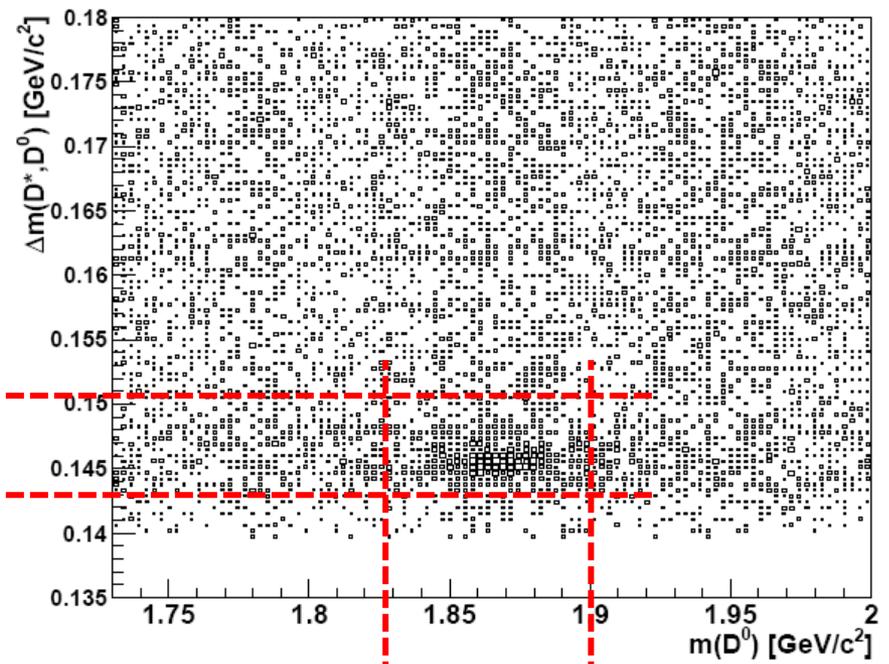


~ 900 candidati

D⁰ provenienti dal decadimento di un D*



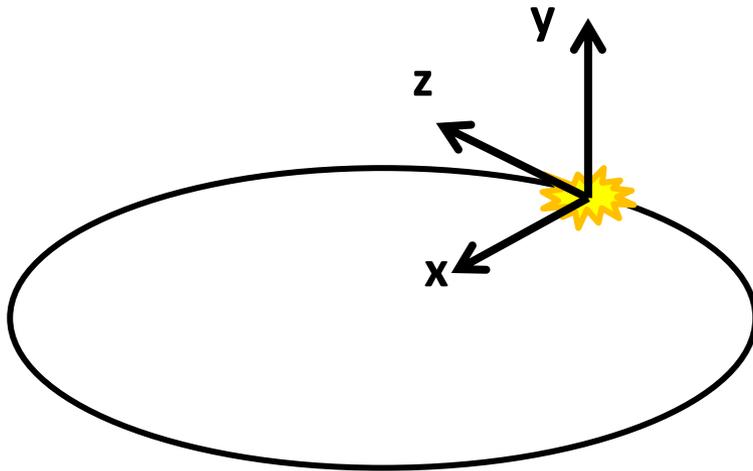
Correlazione tra $\Delta m(D^*, D^0)$ e $m(D^0)$



FINE PRESENTAZIONE

Inizio slide di back-up

Sistemi di riferimento in CMS



LHC

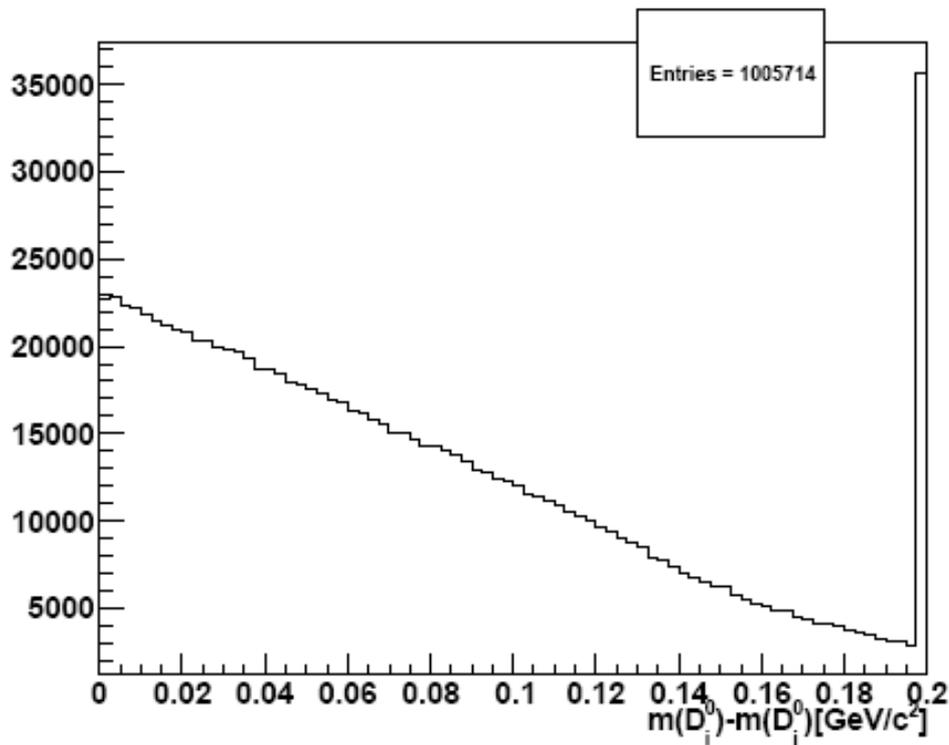
Sistema di riferimento con coordinate cilindriche:

- Coordinata radiale in xy : r
- coordinata polare in xy : Φ
- pseudo-rapidità η

$$\eta = -\ln \left(\tan \frac{\theta}{2} \right)$$

θ angolo tra vettore impulso lineare della particella e l'asse z .
Per particelle relativistiche la pseudo rapidità approssima la rapidità (invariante lungo z)

Δm dei candidati “gemelli”

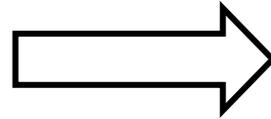


Controllare che il livello di molteplicità residua non aumenti artificialmente il segnale

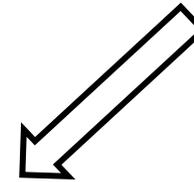
La maggior parte delle coppie ha Δm superiore a 2 semilarghezze del segnale. Se un candidato è nell'intervallo del segnale i candidati gemelli si trovano nelle fasce laterali

Qualità dell' interpolazione

Scarto definito in modo simile alla radice del χ^2



$$\pm \sqrt{\chi^2} = \frac{x_s - x_t}{\sigma}$$



$$\pm \sqrt{\chi^2(i)} = \frac{N(i) - F(i)}{\sqrt{N(i)}}$$

Errore associato allo scarto calcolato tramite la teoria di propagazione

$$\sigma_{\pm \sqrt{\chi^2}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{N + F}{N\sqrt{N}} \cdot \sigma_N = \frac{1}{2} \cdot \frac{N + F}{N}$$