

RICERCA DI
ANTIDEUTONI NELLO
SPAZIO E
DISCRIMINAZIONE DAL
FONDO DI ANTIPROTONI,
CON L'ESPERIMENTO
AMS 2

Candidata:

VALENTINA ZAMBRANO

Relatore:

Prof. BRUNO BORGIA

Correlatore:

Dott. MARIUSZ SAPINSKI

A.A: 2005-2006

SOMMARIO

- I Raggi Cosmici.
- La materia oscura.
- Antideutoni ed antiprotoni.
- L'esperimento AMS 2.
- Analisi.
- Risultati.
- Conclusioni.

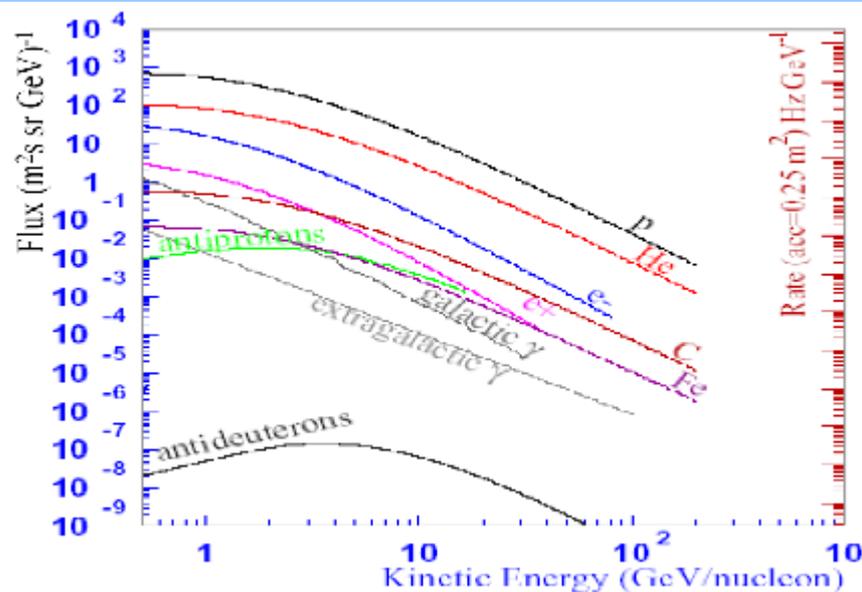
I RAGGI COSMICI

Produzione:

- RC Primari (sorgenti astrofisiche)
- RC Secondari (interazioni RC Primari - ISM)

Composizione:

- p: protoni e deutoni
- α : elio ed isotopi
- e^- , e^+ : elettroni e positroni
- ν : neutrini
- γ : fotoni
- L: elementi leggeri (Li, Be, B)
- M: elementi medi (C, N, O, F)
- H: elementi pesanti ($Z > 10$)



spettro:

- $E = 10^8 \div 10^9$ eV: effetti di modulazione solare e geomagnetici.
- $E = 10^{15} \div 10^{16}$ eV: "ginocchio".
- $E = 10^{19} \div 10^{20}$ eV: "caviglia".

MATERIA OSCURA

Il Calcolo della massa di una Galassia si può effettuare:

- sommando quella di tutte le stelle e della materia interstellare presenti al suo interno.
- tramite la misura della distanza e della velocità degli oggetti attorno al centro della Galassia:

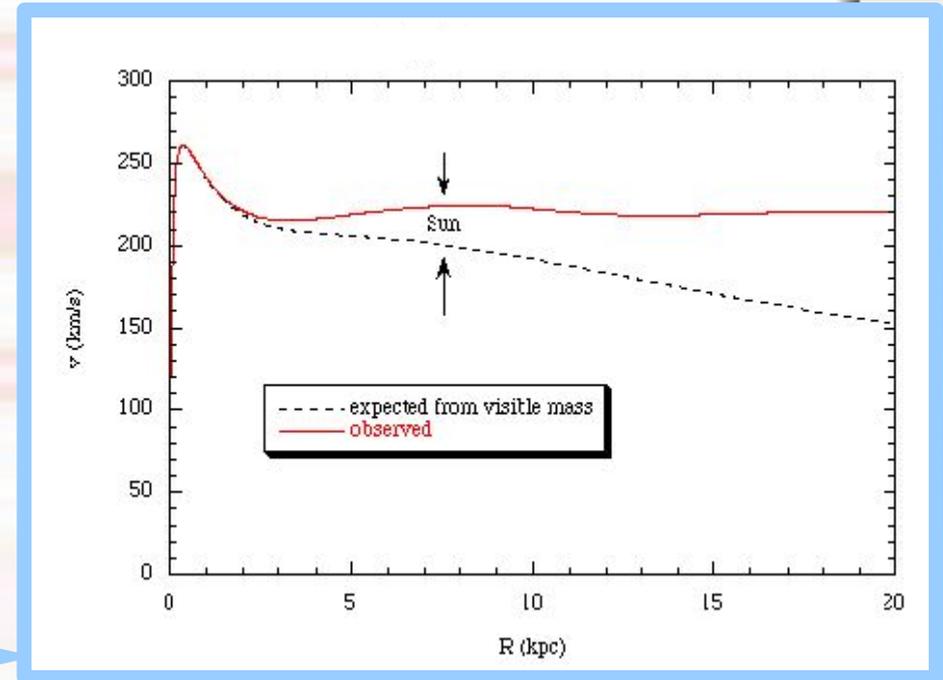
$$\frac{GM_G m}{R^2} = \frac{mv^2}{R}$$

curve di rotazione

m =massa oggetto.

R =distanza dal centro della Galassia.

La massa M_G calcolata è maggiore rispetto a quella valutata nel primo modo.



Alone di materia oscura.
Ipotesi: $\text{susy} \rightarrow \text{neutralino}$

$$\chi\chi \rightarrow b\bar{b}$$

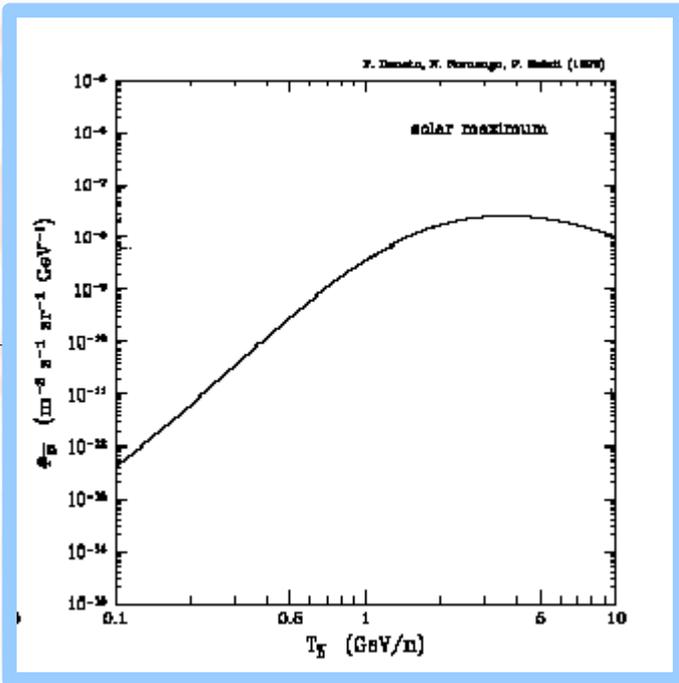
$$\chi\chi \rightarrow W^+ W^-$$

decadimento,
adronizzazione

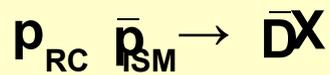
p, \bar{p}
 n, \bar{n}
 e^+, γ
...

Coalescenza: se $E_{k,p} + E_{k,n} < 2.24 \text{ MeV}$
si ha la formazione di deutoni o antideutoni.

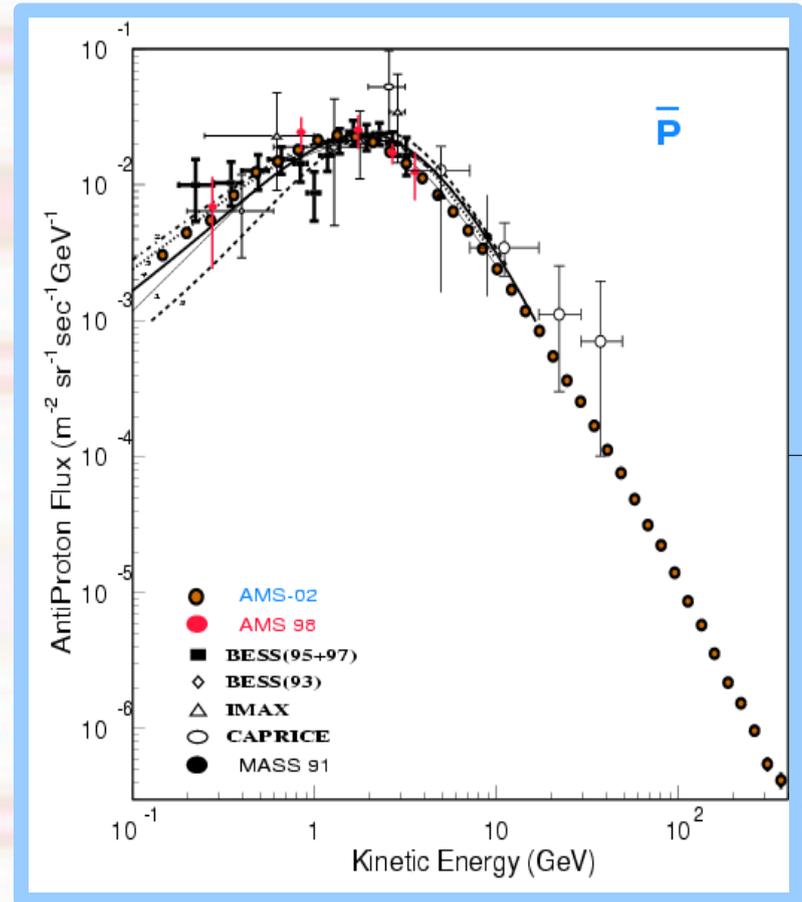
ANTIDEUTONI ED ANTIPROTONI



Gli antideutoni non sono mai stati rivelati. Produzione standard, diversa da quella esotica, con il neutralino:



Se il momento della particella dei RC è almeno 17 GeV/c nel riferimento in cui la particella del ISM è ferma



Produzione principale:



è il fondo più importante per gli antideutoni

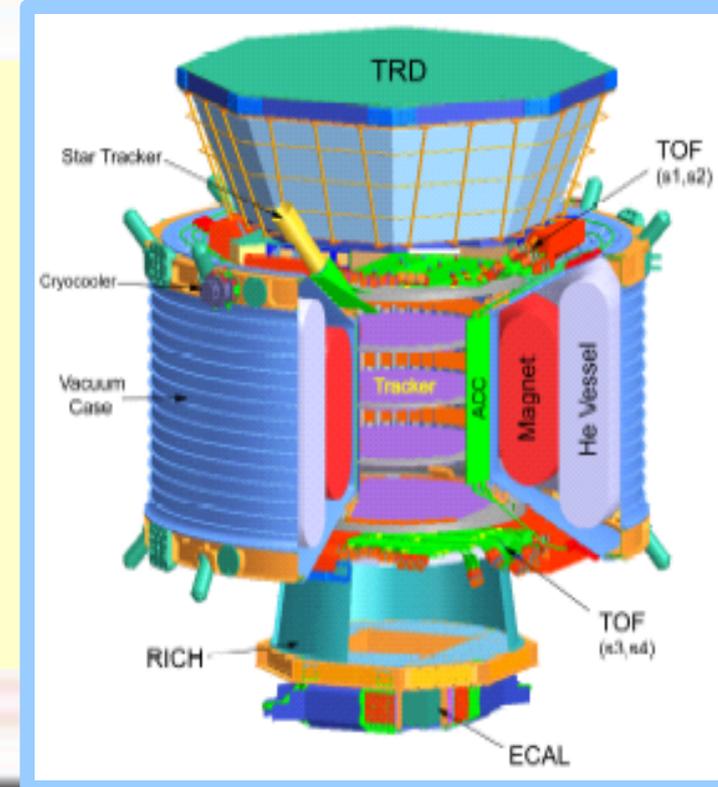
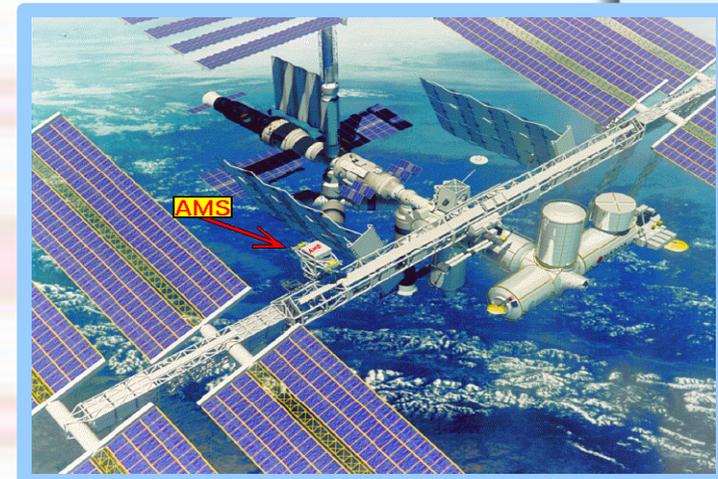
AMS 2

Sarà sulla Stazione Spaziale Internazionale nel 2008, per 3 anni.

Obiettivi:

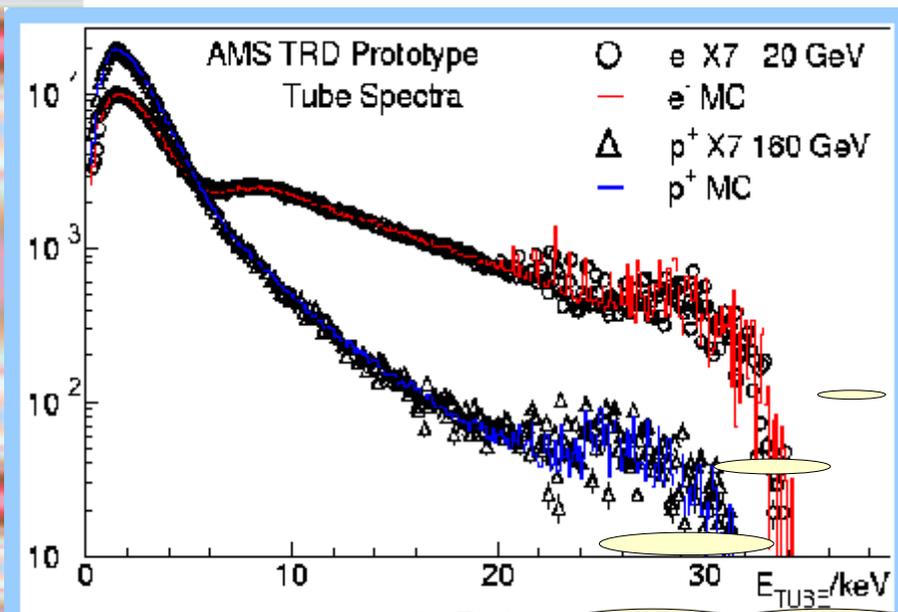
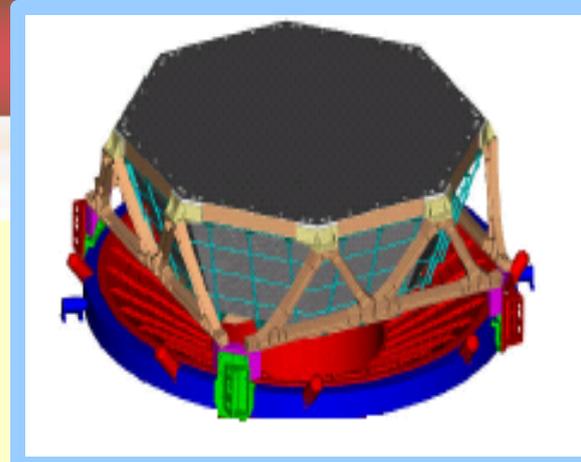
- Ricerca dell'antimateria.
- Ricerca della materia oscura.
- Misure di precisione per lo spettro dei RC.

- Rivelatore per la radiazione di transizione (TRD).
- Rivelatore per la misura del tempo di volo delle particelle (TOF).
- Spettrometro magnetico: magnete + tracciatore al Silicio (TRK).
- Contatori anticoincidenza.
- Rivelatore per la radiazione Cerenkov (RICH).
- Calorimetro elettromagnetico (ECAL).

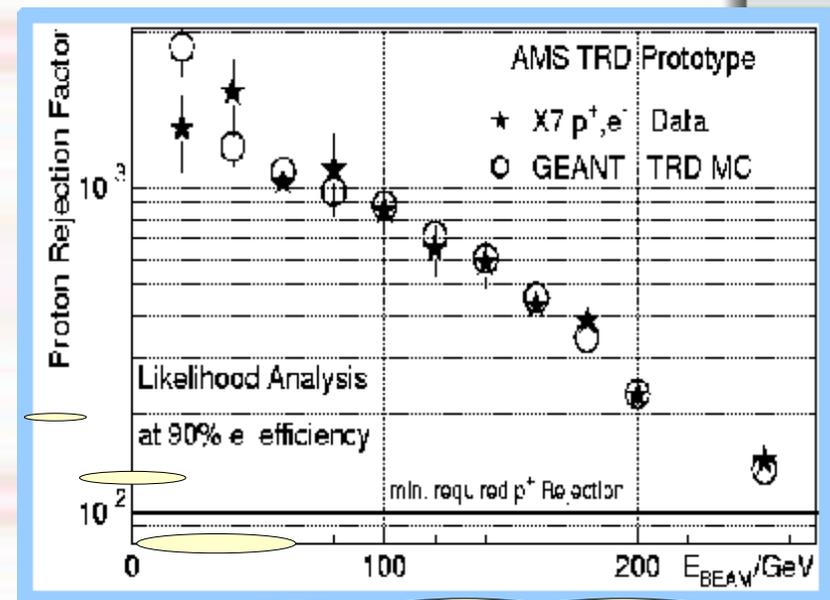


IL TRD

- Separa elettroni da particelle più pesanti.
- Struttura multistrato.
- Materiale radiatore e tubi proporzionali, riempiti di Xe (80%) e CO₂ (20%).



Energia totale depositata nel tubo.

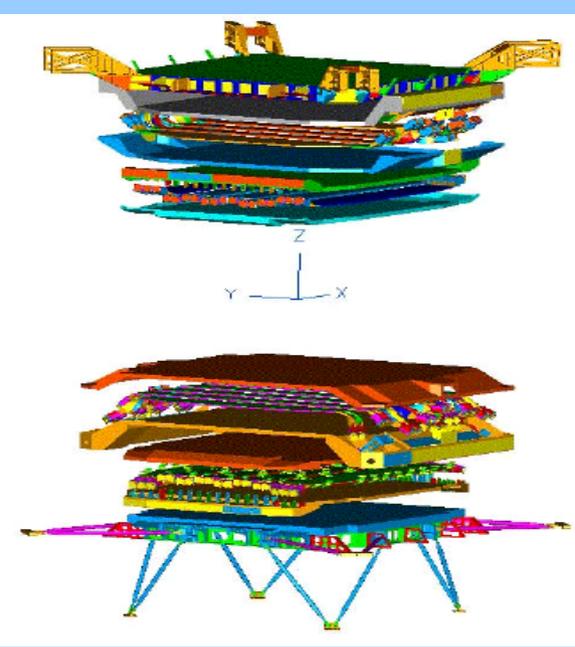


Fattore di reiezione per i protoni

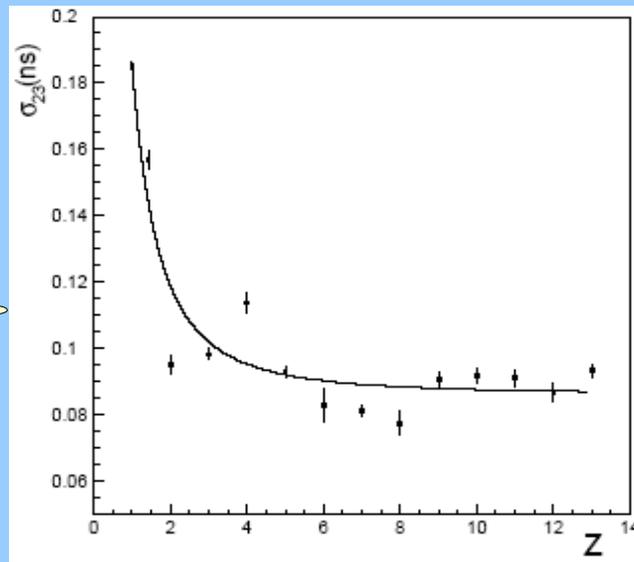
La radiazione di transizione si genera quando una particella carica attraversa la superficie di separazione tra due mezzi aventi indici di rifrazione diversi. È proporzionale a γ : $\gamma = E/mc^2$

IL TOF

- Misura della velocità delle particelle.
- 4 piani paralleli, alle estremità del magnete.
- Strisce scintillatori (direzioni x, y, y, x).
- 4 fotomoltiplicatori alle estremità degli scintillatori .



Risoluzione temporale.



Il tempo di volo è dato da:

$$t_{\text{TOF}} = t_{\text{down}} - t_{\text{up}}$$

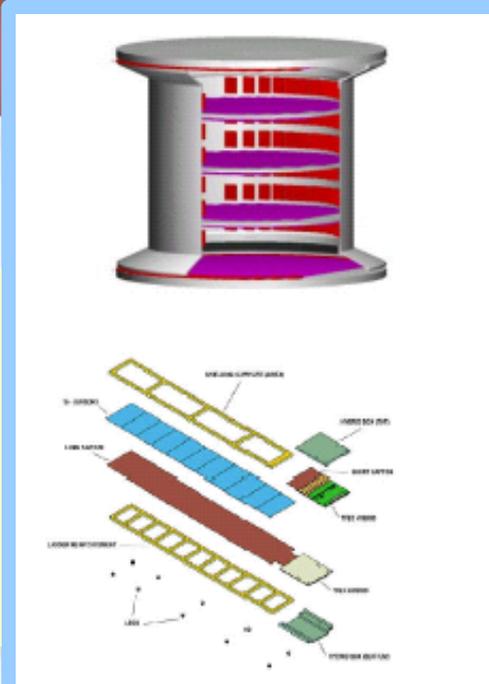
É quindi possibile risalire alla velocità delle particelle che lo attraversano:

$$\beta = \frac{L}{(ct_{\text{TOF}})}$$

L = distanza tra i piani superiori ed inferiori del TOF.

IL TRK

- Misura della rigidità delle particelle.
- Determina la carica delle particelle.
- Immerso in un campo magnetico.
- Magnete superconduttore con He liquido (durata 3 anni).
- 8 strati di tracciatore al Silicio.



Il magnete genera una curvatura nelle traiettorie delle particelle. Tale curvatura dipende dalla rigidità delle particelle stesse:

$$\rho = \frac{Pc}{(|q|B)} = \frac{R}{B}$$

ρ =raggio di curvatura della traiettoria.

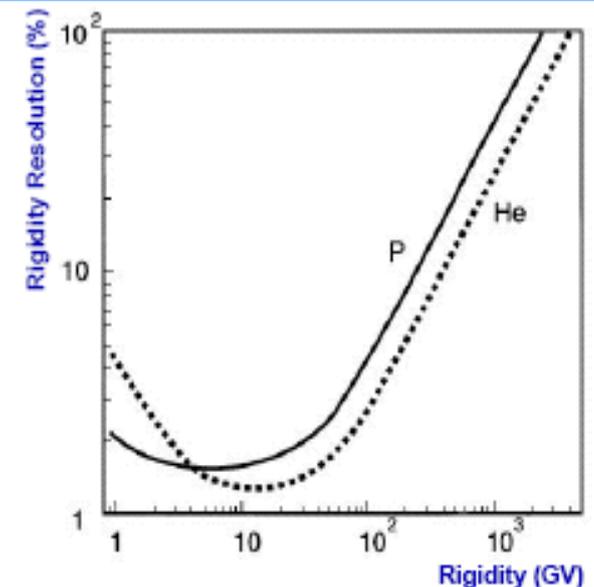
P =momento.

q =carica.

B =campo magnetico.

R =rigidità: $R = \frac{Pc}{|q|}$

Risoluzione della rigidità



ANALISI

INCENTRATA SUL TOF

Obiettivi:

- **Separare gli antideutoni dal fondo di antiprotoni.**
- **Rigettare gli eventi con interazioni nell'apparato sperimentale.**
- **Rigettare gli eventi con misure non precise di momento e velocità.**
- **Stimare il segnale ed il numero di antiprotoni di fondo.**

La massa discrimina gli antideutoni dagli antiprotoni:

$$\mathbf{m = p \sqrt{\left(\frac{1}{\beta^2} - 1\right)}}$$

**Il fondo principale è dato
antiprotoni con p
sovrastimato e β sottostimata**

**Campione Monte Carlo di
antiprotoni e deutoni.**

**Analisi su antiprotoni:
ottimizzare i tagli per corretta
ricostruzione di momento,
velocità e quindi di massa.**

**Per controllare gli effetti dei
tagli sugli antideutoni usiamo i
deutoni (approssimazione).**

PRESELEZIONE

- **Eventi generati con trigger di I livello.**
- **Preselezione per rendere il campione analizzabile.**

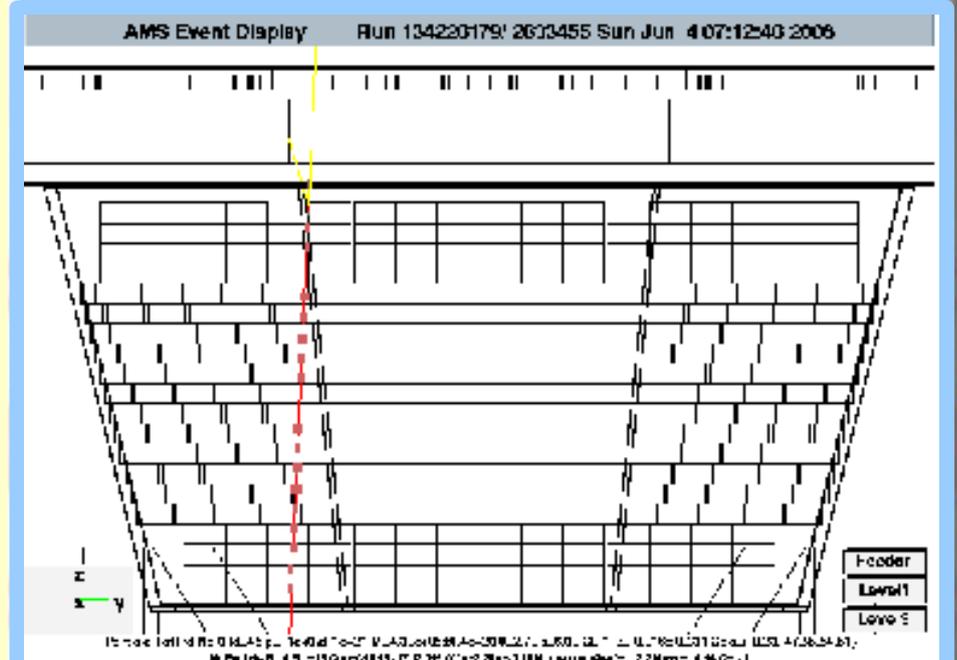
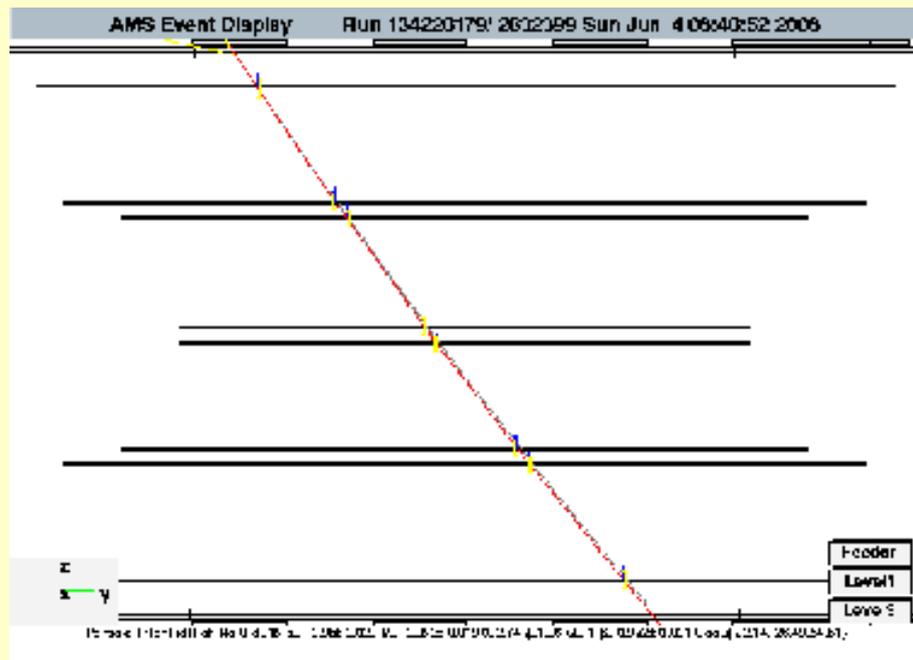


- (a) Nessun segnale nei contatori anticoincidenza.**
- (b) Particella con:**
 - **Traccia nel Silicon Tracker.**
 - **Traccia nel TRD.**
 - **Misura di β nel TOF.**
 - **Valore assoluto della carica = 1.**

TAGLI CON TRK E TRD

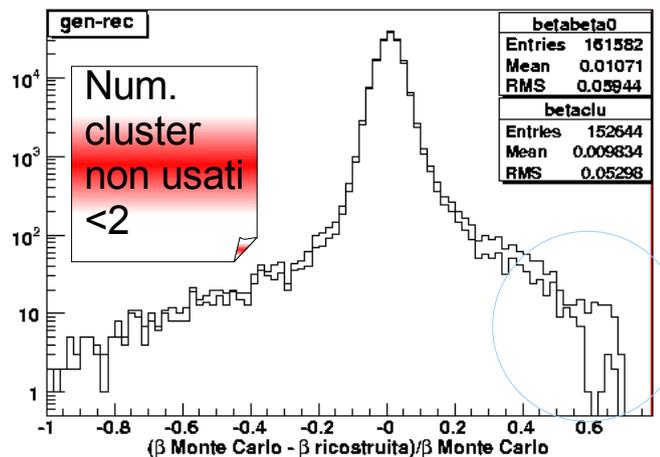
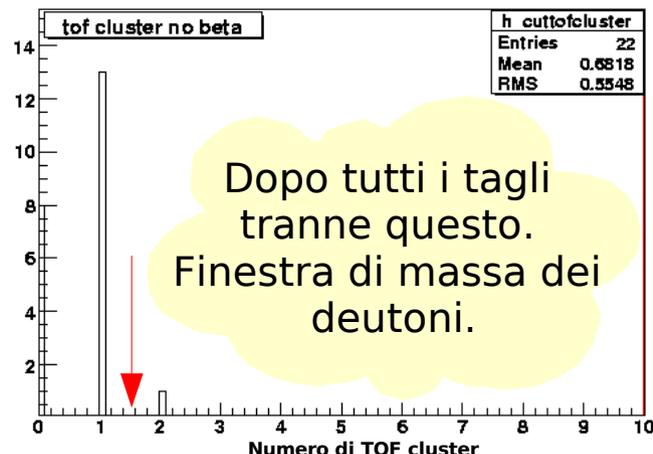
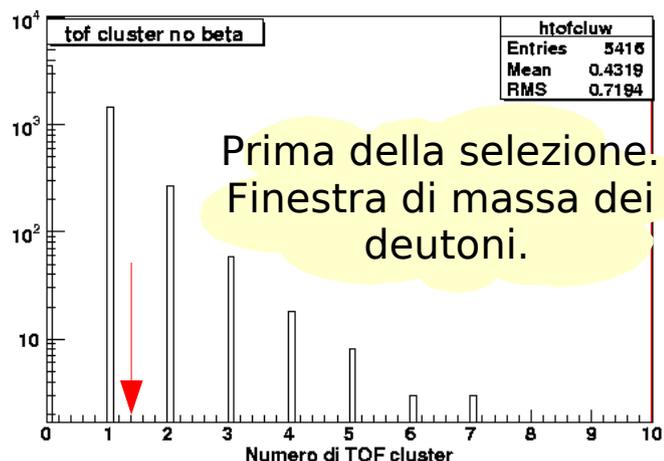
- (a) Num. di hit nel TRK usati per la ricostruzione della traccia > 5 .
- (b) χ^2 normalizzato con il num. di hit nel TRK < 3 .
- (c) Valore del momento ricostruito > 0.85 GeV/c.
- (d) Energia intorno alla traccia divisa per l'energia totale nel TRK > 0.175 .

- (a) Media troncata (eliminando massimo e minimo) dell'energia sulla traccia deve essere < 4 MeV.
- (b) Energia sulla traccia divisa per l'energia totale nel TRD > 0.87 .

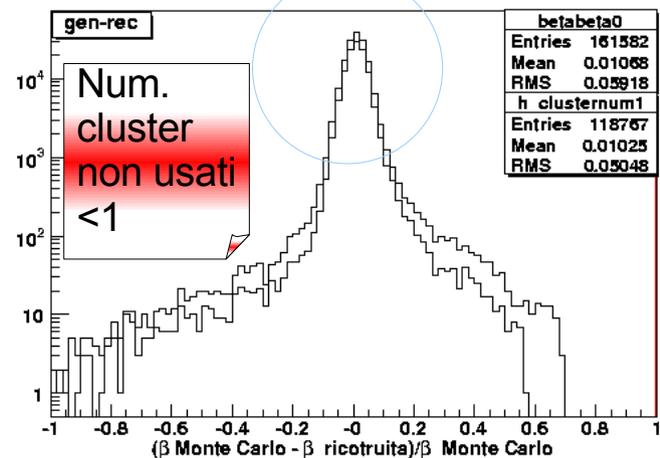


TAGLI CON IL TOF (1)

Num. di cluster del TOF non usati per la ricostruzione della velocità < 2 .



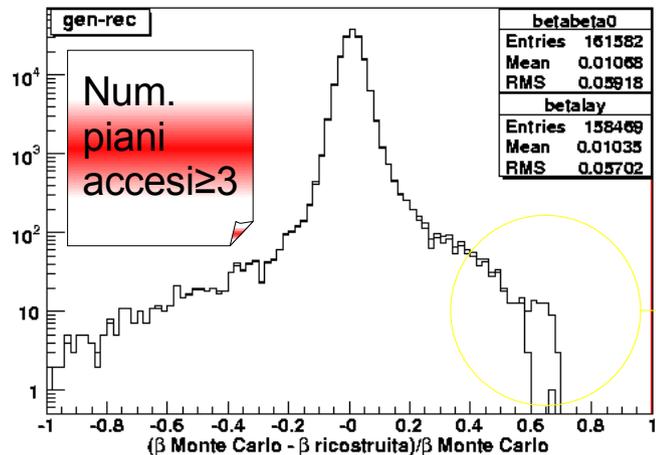
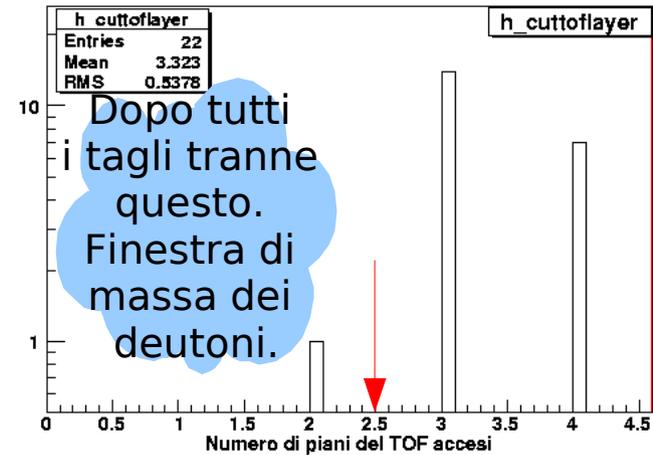
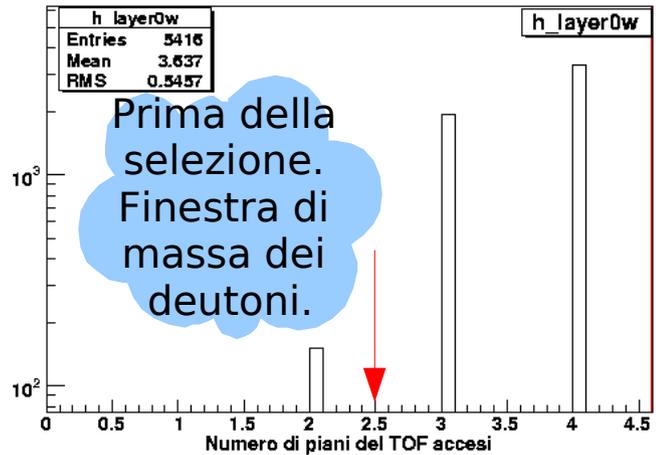
Taglia eventi nel picco



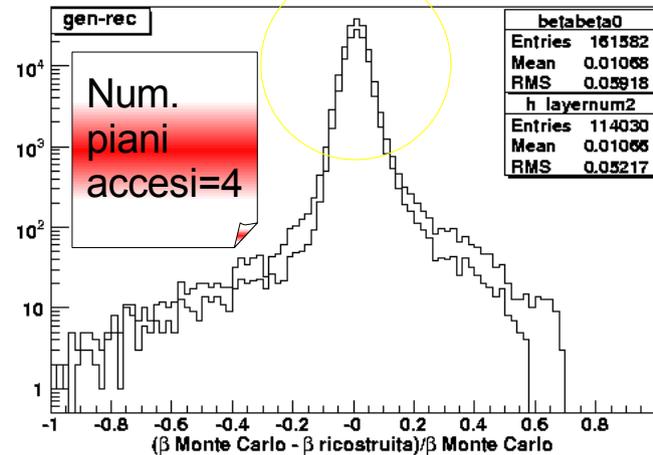
Rigetto del 6% degli antiprotoni

TAGLI CON IL TOF (2)

Num. di piani del TOF accesi ≥ 3 .



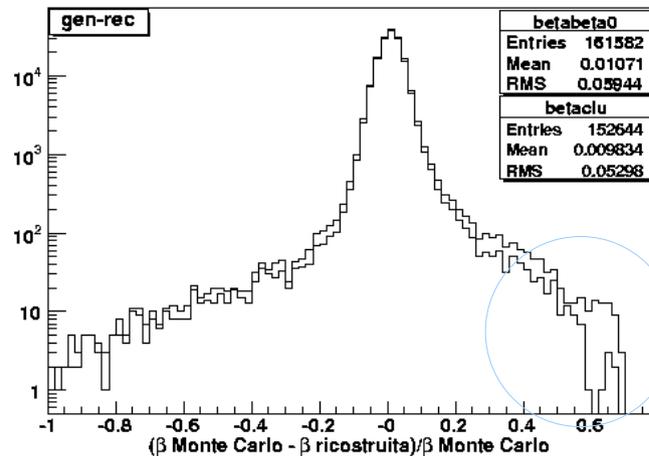
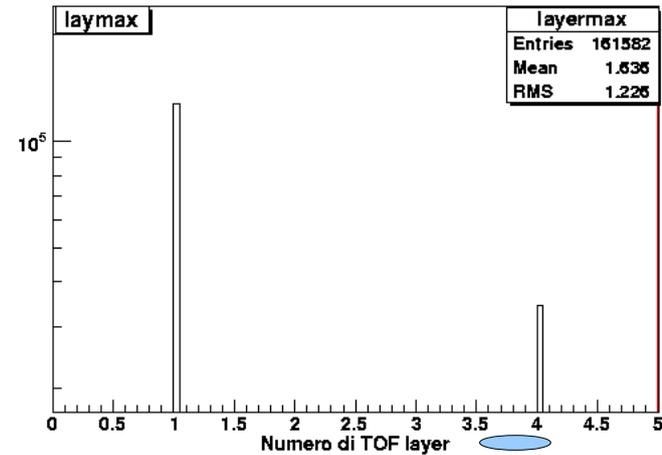
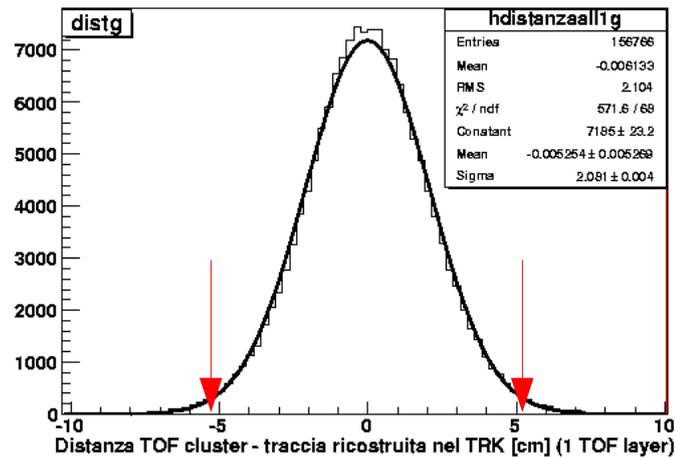
Taglia eventi nel picco



Rigetto del 2% degli antiprotoni

TAGLI CON IL TOF (3)

Dist. TOF cluster – traccia nel TRK $< 2.5\sigma_{dist}$



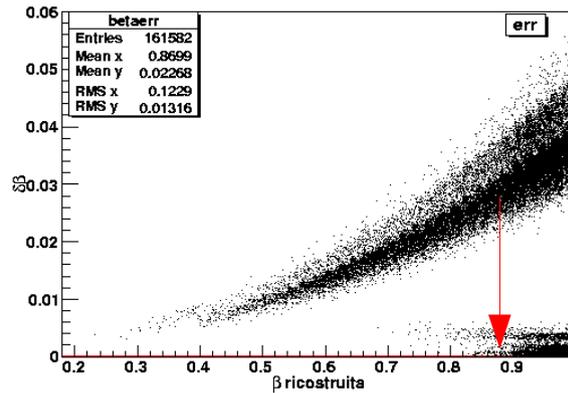
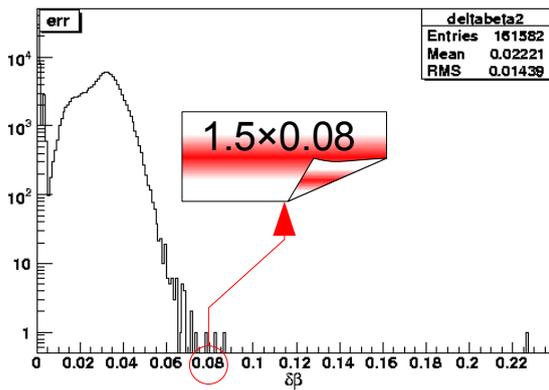
Gli eventi rigettati hanno solo un cluster con una distanza dalla traccia nel TRK $>$ di quella del taglio.

Rigetto eventi di fondo

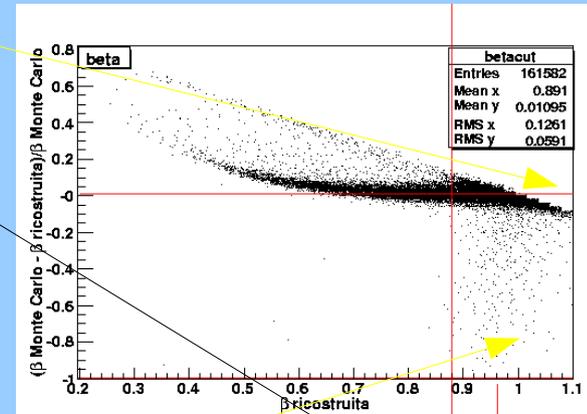
Rigetto del 6% degli antiprotoni

TAGLI CON IL TOF (4)

Valore della velocità < 0.88.

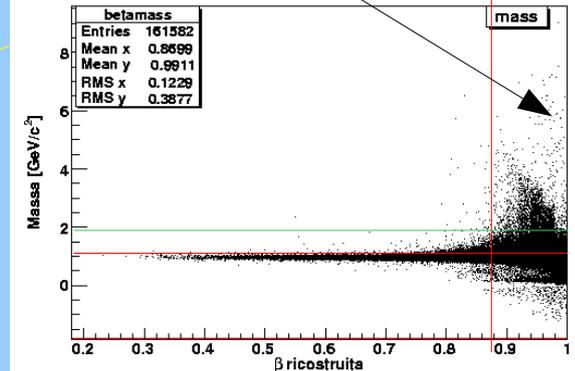


Eventi di fondo

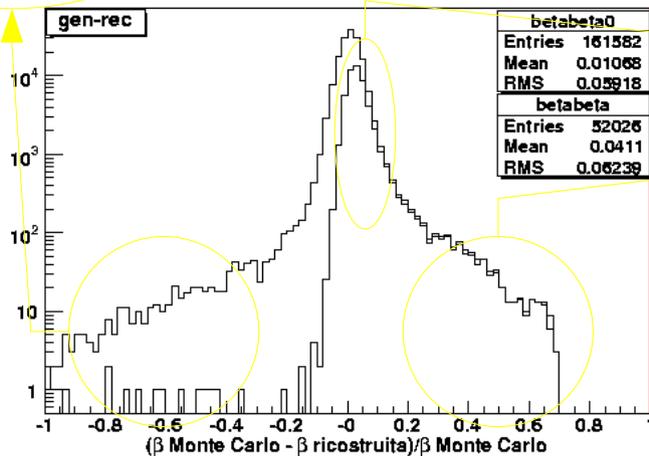


Rigetto eventi con velocità sovrastimata

Eventi con velocità sovrastimata



Rigetto eventi di fondo

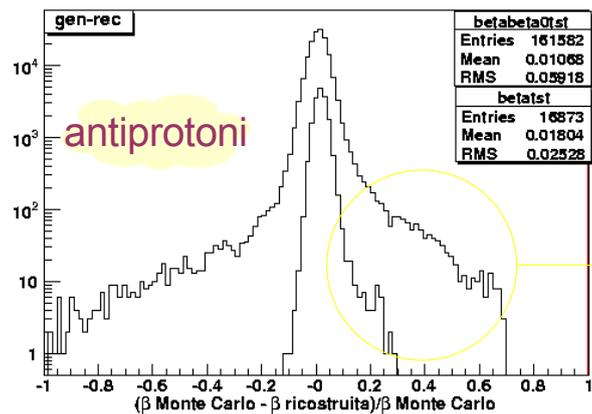


Rigetto del 68% degli antiprotoni

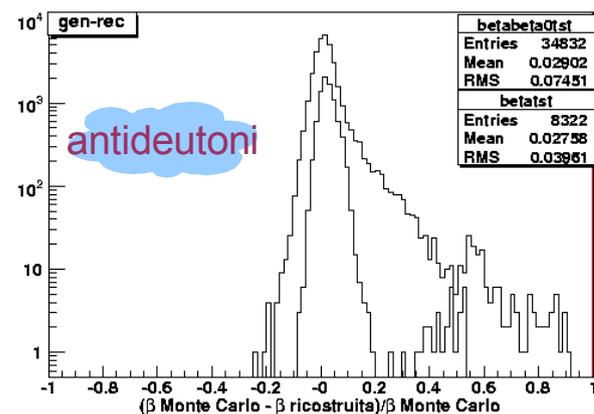
Tot. TOF

Tipo di taglio	Efficienza del taglio	
	D	\bar{p}
cluster extra<2	0.937	0.945
piani usati≥3	0.953	0.981
distanza=2.5σ	0.950	0.939
β<0.88	0.505	0.322
totale	0.481	0.253

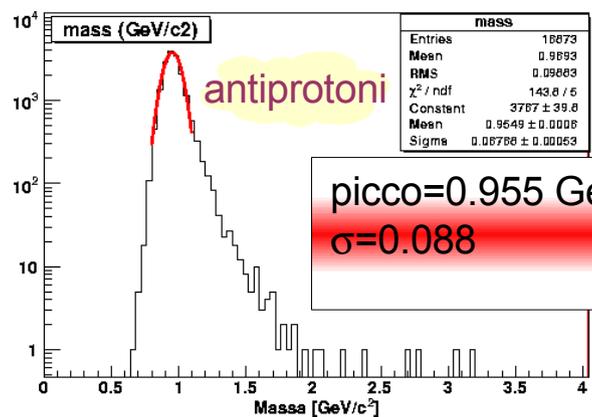
RISULTATI



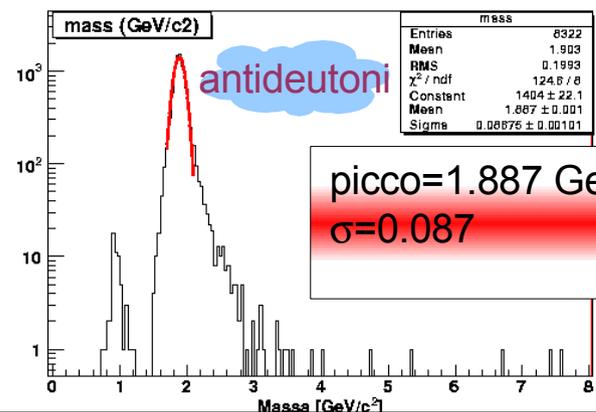
Rigetto
eventi di
fondo



	D	\bar{p}
Efficienza tot.	0.239	0.104
Efficienza tot. 1.6 GeV/c ² < m < 2.1 GeV/c ²	0.222	0.00013



picco=0.955 GeV/c²
 $\sigma=0.088$



picco=1.887 GeV/c²
 $\sigma=0.087$

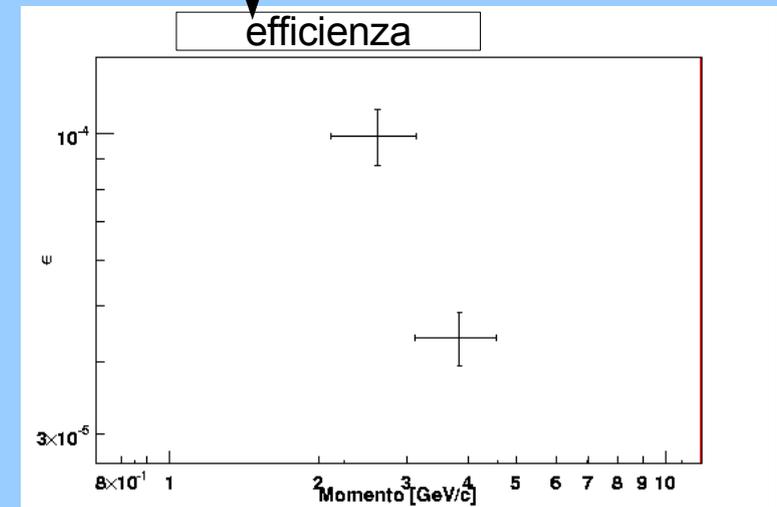
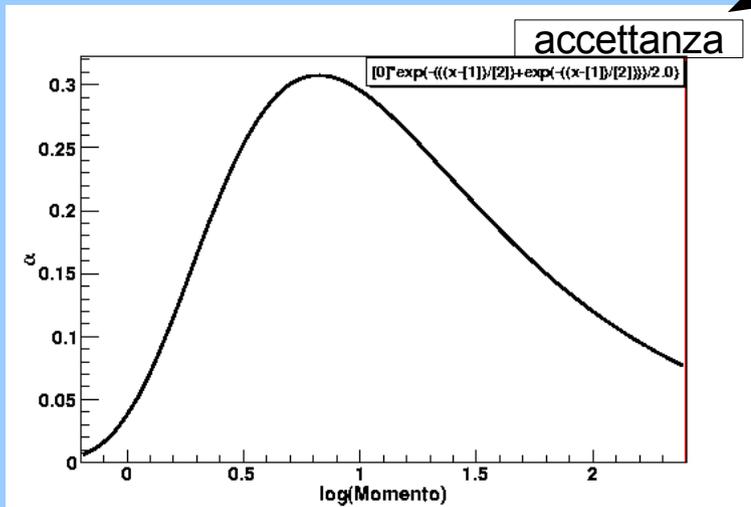
Rigetto del 90% di antiprotoni

Rigetto del 76% di antideuteroni mal ricostruiti

RISULTATI

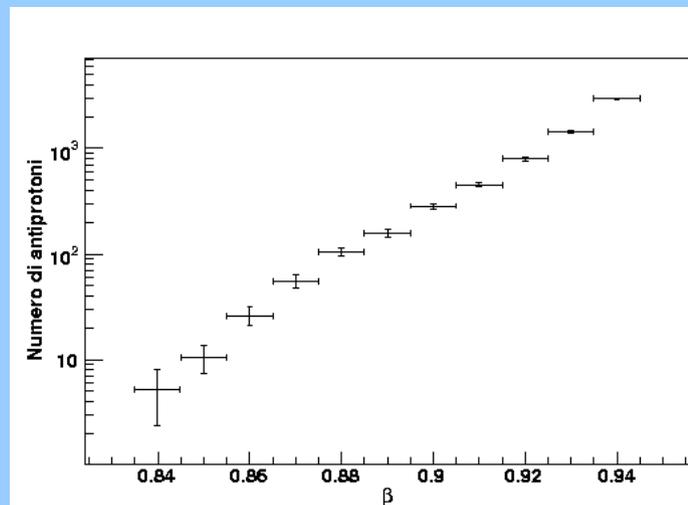
$$N_{\bar{p},D} = 3 \text{ anni} \cdot \sum_i \phi_{\bar{p},D}(\mathbf{P})_i \cdot \alpha(\mathbf{P})_i \cdot \epsilon_{\bar{p},D}(\mathbf{P})_i \Delta(\mathbf{P})_i$$

5 intervalli di momento:
 $P_0 = 0.85 \text{ GeV} - P_1 = 2.24 \text{ GeV}$
 $P_1 = 2.24 \text{ GeV} - P_2 = 3.13 \text{ GeV}$
 $P_2 = 3.13 \text{ GeV} - P_3 = 4.58 \text{ GeV}$
 $P_3 = 4.58 \text{ GeV} - P_4 = 6.96 \text{ GeV}$
 $P_4 = 6.96 \text{ GeV} - P_5 = 10.8 \text{ GeV}$



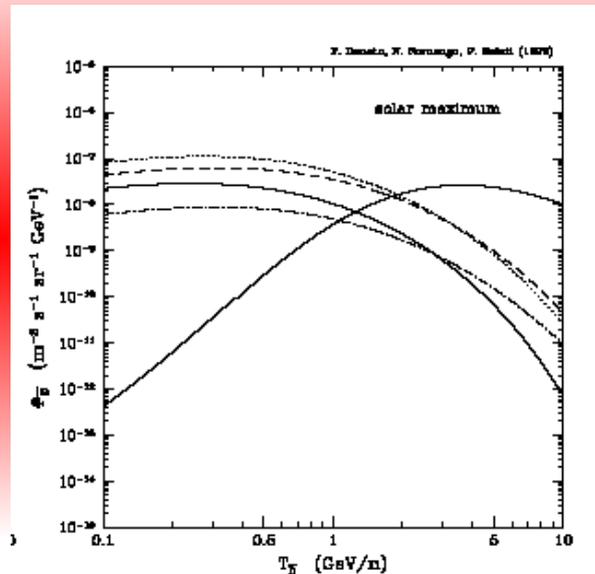
Numero di antiprotoni
nella finestra di massa
degli antideutoni = 105 ± 10

Numero di antideutoni = 1 ± 1

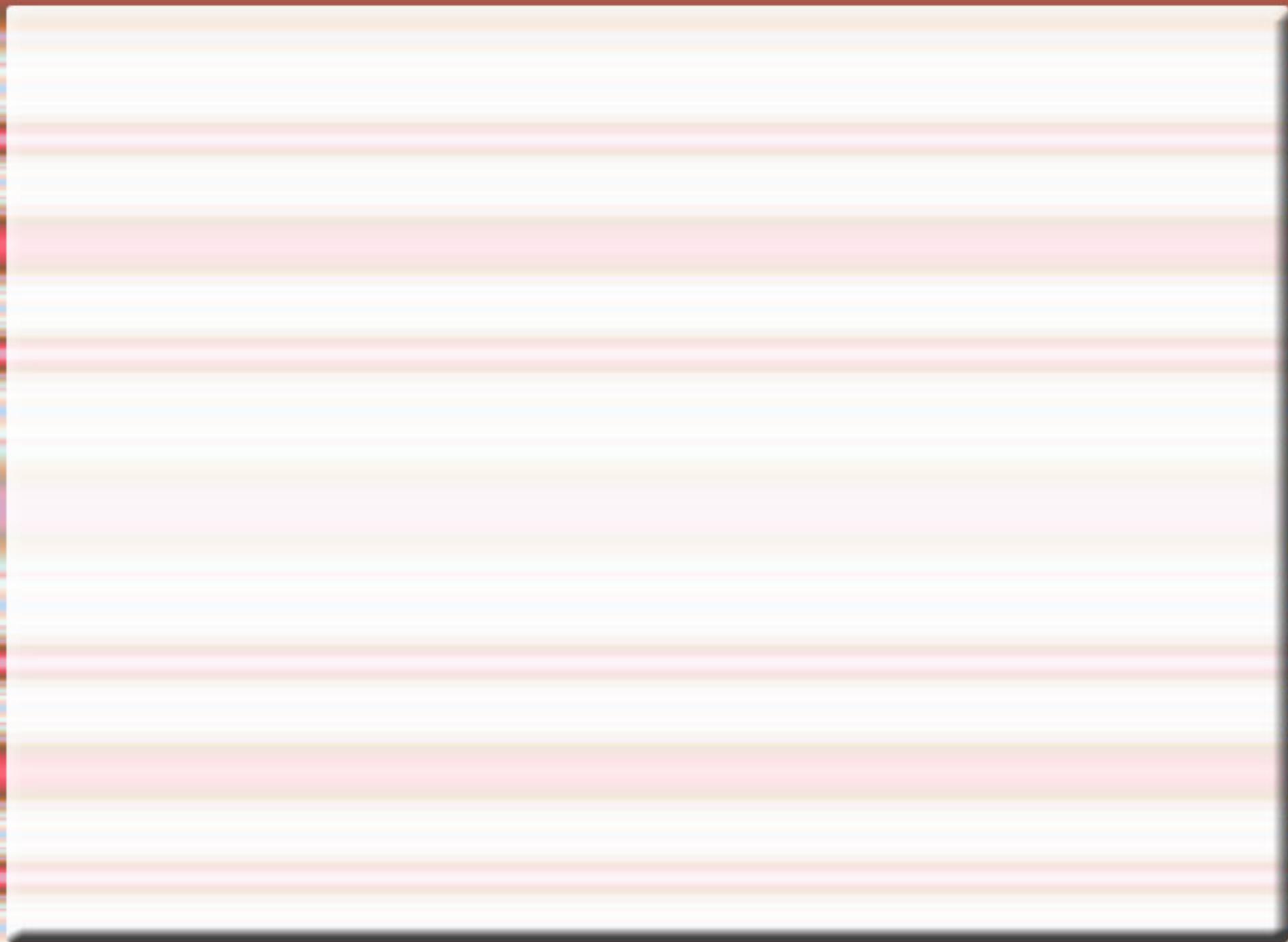


CONCLUSIONI

- **Num. di antiprotoni di fondo è 105 ± 10 eventi.**
- **Num. di antideutoni 1 ± 1 .**
- **Tale valore non può essere risolto dal fondo stimato.**
- **Se si dovesse osservare un segnale di antideutoni questo dovrà venire da processi esotici.**
- **Il flusso di antideutoni aumenta infatti con l'introduzione del neutralino.**



- **Vi possono essere modelli supersimmetrici per cui il flusso di antideutoni è abbastanza grande da poter essere rivelato.**
- **Analizzando l'ipotetico segnale di antideutoni si potranno ricavare nuove informazioni sulla materia oscura.**



CUTOFF E VENTO SOLARE

Quota della Stazione Spaziale Internazionale: ~400 Km.

Dal momento che il campo magnetico terrestre è un dipolo, si genera il cosiddetto cutoff geomagnetico. Questo è il valore minimo che può assumere la rigidità di una particella cosmica perchè riesca ad attraversare il campo geomagnetico ed essere quindi rivelata da AMS 2.

Il cutoff geomagnetico dipende dalla latitudine; all'equatore, infatti, particelle con una rigidità minore di ~10 GV vengono deviate, mentre i poli magnetici possono essere raggiunti da particelle con qualsiasi rigidità.

Il vento solare, invece, agisce sui RC spazzando via le particelle che arrivano vicino alla magnetosfera terrestre ed alterando le linee di forza del campo magnetico (effetto maggiormente evidente quando il Sole si trova nel periodo del ciclo più attivo).

$$E^{\oplus} = E^{ISM} - |Z|e\phi_{\odot}$$

E^{\oplus} =misurata quando la particella raggiunge l'atmosfera.

E^{ISM} =misurata sulla corona solare.

$|Z|e$ =carica della particella.

ϕ_{\odot} =potenziale di modulazione solare.

NEUTRALINO

Ipotesi più accreditata: materia oscura composta prevalentemente da WIMP (Weakly Interacting Massive Particle), particelle neutre e stabili che interagiscono debolmente con la materia normale solo tramite gravità e forza nucleare debole. Fanno parte della materia esotica, non barionica, e vengono ipotizzate per spiegare l'esistenza della materia oscura fredda. Quest'ultima è costituita da particelle non relativistiche ed assume un ruolo fondamentale nella formazione delle strutture degli aloni galattici, la cui esistenza è messa in evidenza dalle curve di rotazione.

Poichè le particelle candidate alla materia oscura fredda non possono interagire in maniera elettromagnetica, esse devono essere sprovviste di carica elettrica.

Nei modelli supersimmetrici esistono diverse particelle candidate ad essere di tipo WIMP. Una di esse è il neutralino χ , sovrapposizione di stati di particelle:

$$\chi^0 = N_1 \tilde{y} + N_2 \tilde{Z}^0 + N_3 \tilde{H}_1^0 + N_4 \tilde{H}_2^0$$

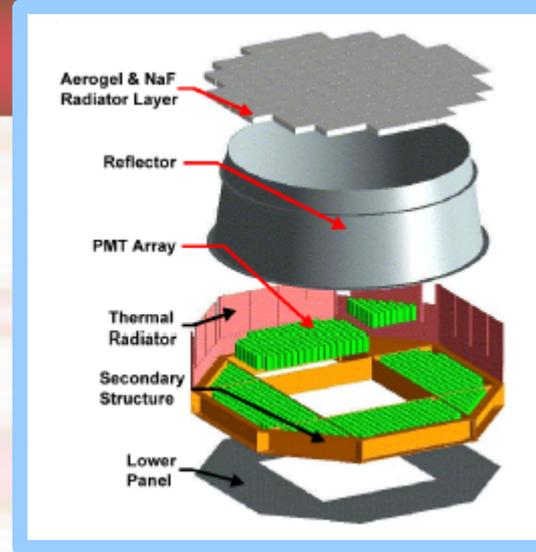
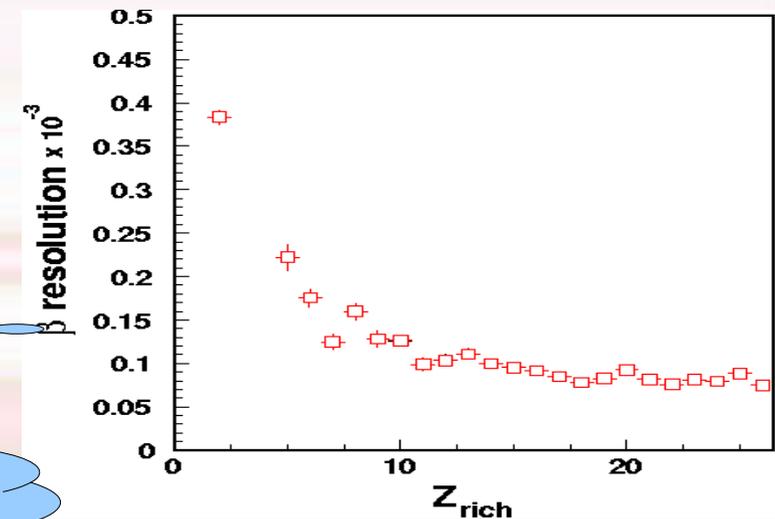
IL RICH

Se la velocità della particella: $v < c/n$ (velocità della luce nel mezzo con indice di rifrazione n) i dipoli degli atomi si diseccitano irraggiando dopo il passaggio della particella e si orientano in modo da dare contributo nullo.

Se invece: $v > c/n$, l'emissione è coerente e forma un angolo θ_c con la velocità.

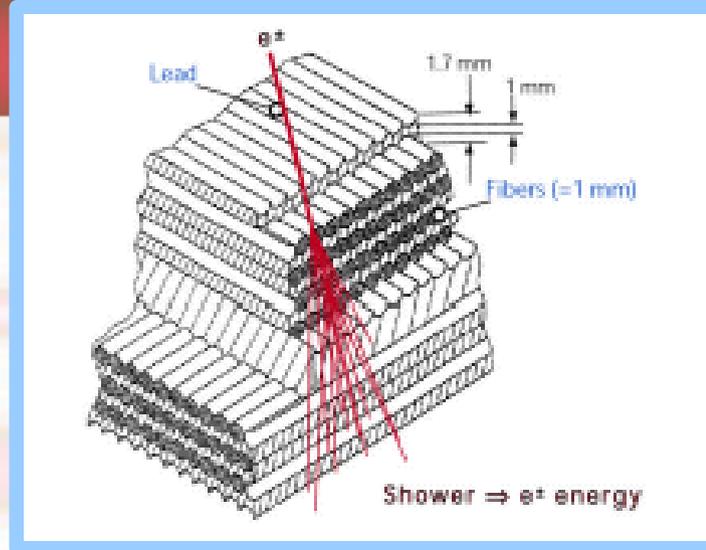
$$\cos(\theta_c) = \frac{1}{(\beta n)}$$

Risoluzione della
velocità

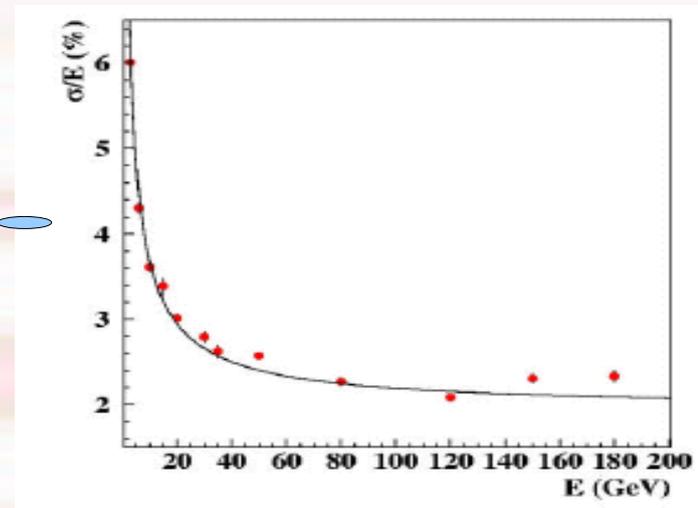


L'ECAL

Il calorimetro elettromagnetico serve a determinare l'energia delle particelle elettromagnetiche che lo attraversano. Le particelle elettromagnetiche (elettroni, positroni e fotoni), a differenza di altre, vengono fermate e producono uno sciame elettrofotonico. Pertanto possono essere separati i protoni dagli elettroni.

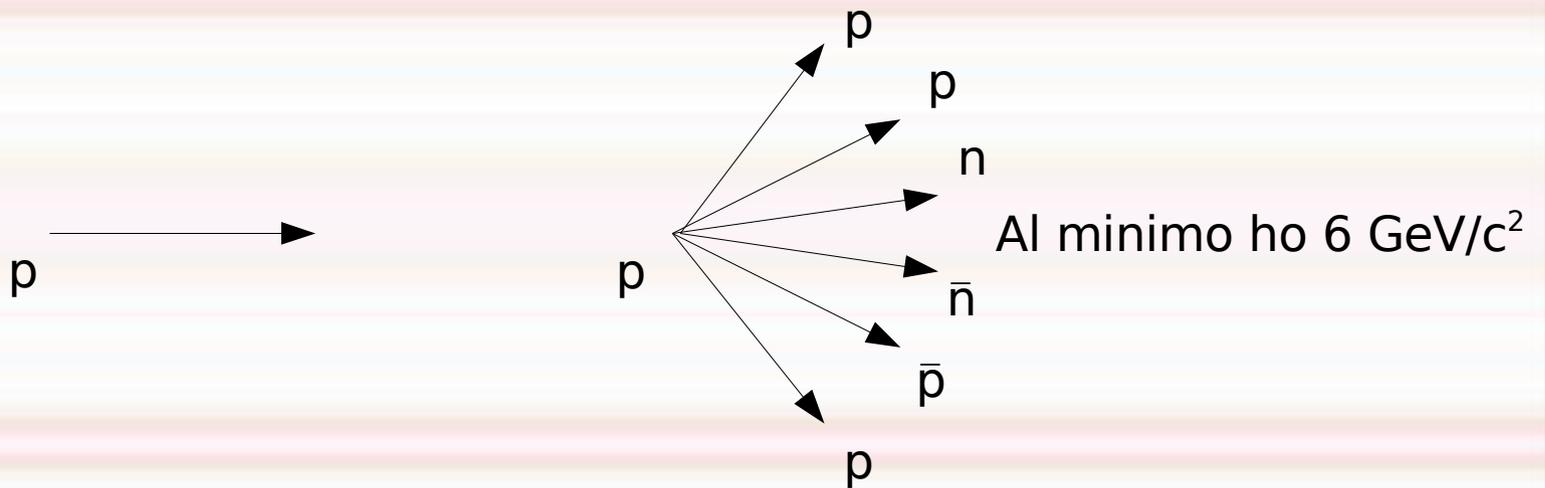


Risoluzione
dell'energia



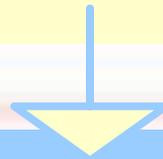
17 GeV/c²

$$E_{CM} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + 2 E_{1\text{lab}} m_2}$$



PRESELEZIONE

- Eventi generati con trigger di I livello.
- Preselezione per rendere il campione analizzabile.



(a) Nessun segnale nei contatori anticoincidenza.

(b) Particella con:

- Traccia nel Silicon Tracker.
- Traccia nel TRD.
- Misura di β nel TOF.
- Valore assoluto della carica = 1.

	D	\bar{p}
Efficienza preselezione	0.261	0.172

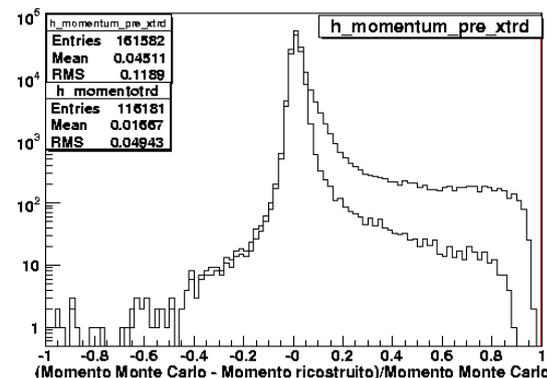
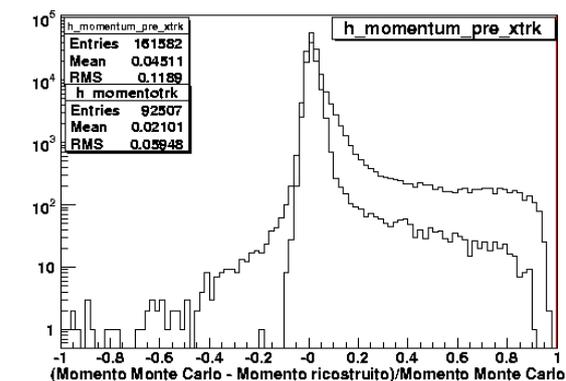
TAGLI CON TRK E TRD

- (a) Num. di hit > 5.
- (b) χ^2 normalizzato < 3.
- (c) Valore del momento > 0.85 GeV/c.
- (d) Energia intorno alla traccia/energia totale nel TRK > 0.175.

Tipo di taglio	Efficienza del taglio	
	D	\bar{p}
(a)	0.935	0.913
(b)	0.846	0.849
(c)	0.956	0.907
(d)	0.831	0.782
totale	0.630	0.573

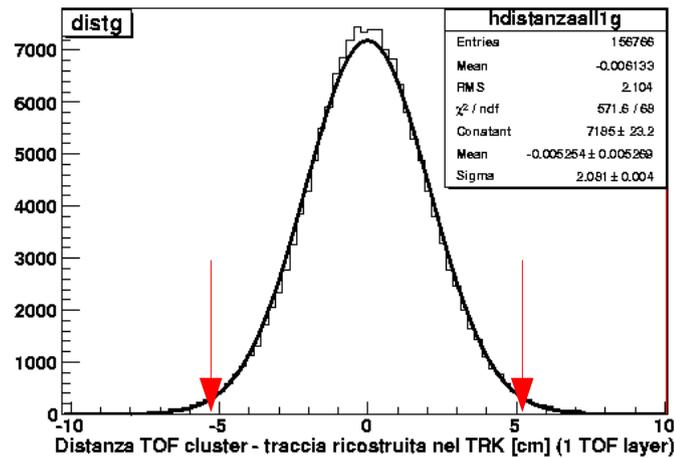
- (a) Media troncata dell'energia < 4 MeV.
- (b) Energia sulla traccia /energia totale nel TRD > 0.87.

Tipo di taglio	Efficienza del taglio	
	D	\bar{p}
(a)	0.860	0.826
(b)	0.881	0.907
totale	0.788	0.719

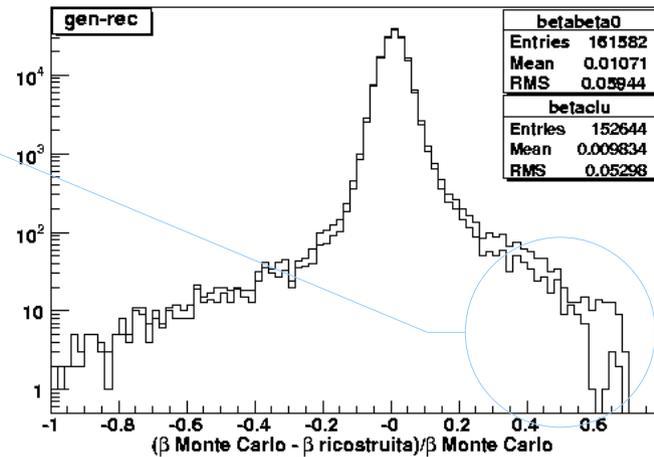


TAGLI CON IL TOF (3)

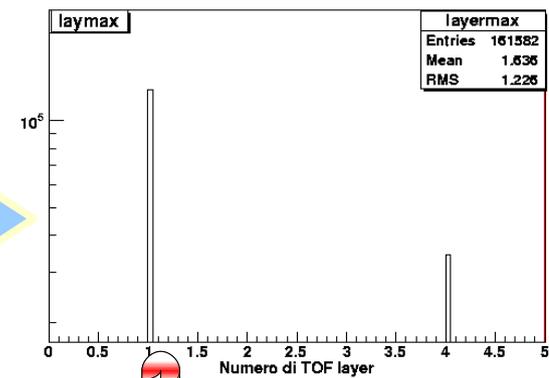
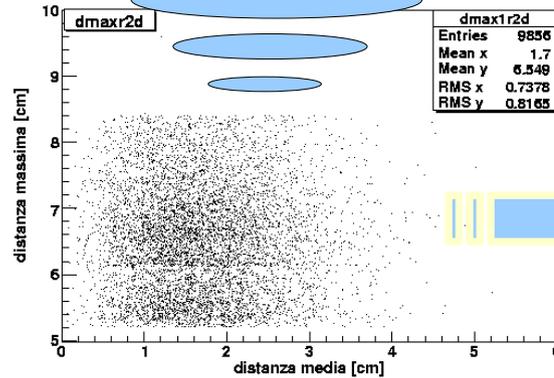
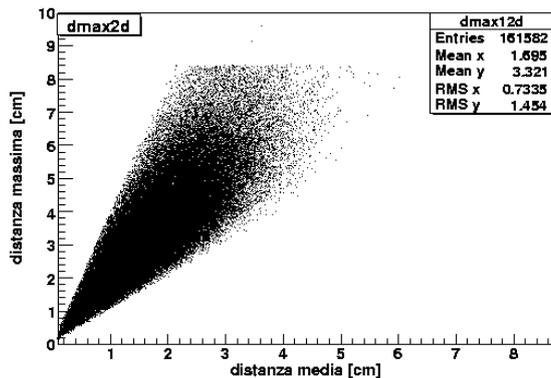
Dist. TOF cluster – traccia nel TRK $< 2.5\sigma_{dist}$



Rigetto eventi di fondo



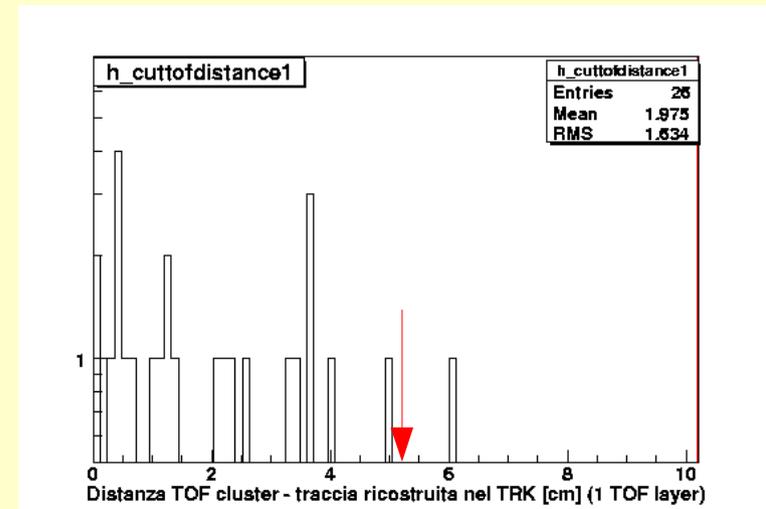
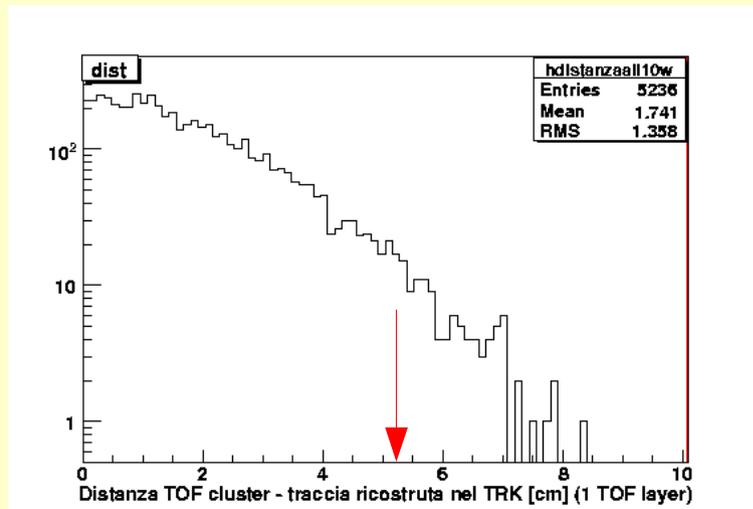
Per gli eventi rigettati la distanza media ha una distribuzione casuale e valori non diversi dalla dagli eventi totali. Quindi gli eventi rigettati hanno solo un cluster con una distanza dalla traccia nel TRK $>$ di quella del taglio.



Rigetto del 6% degli antiprotoni

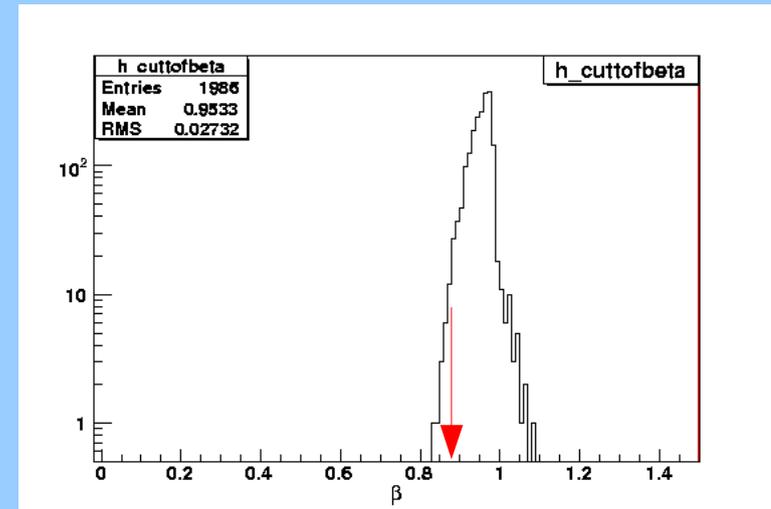
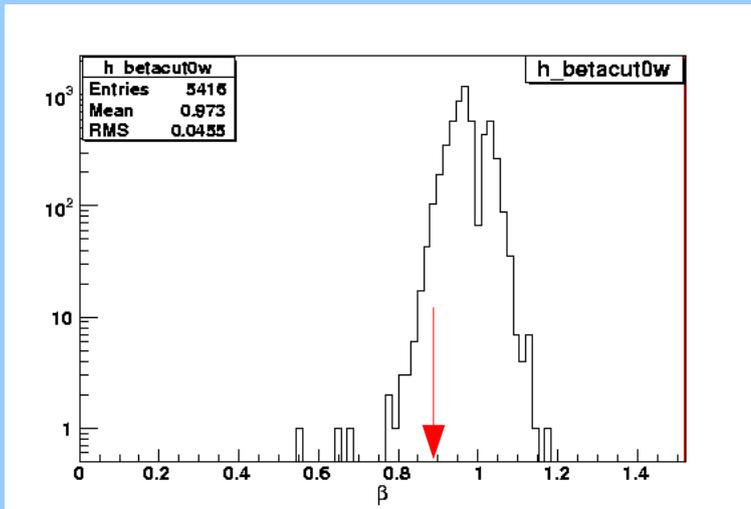
TAGLI CON IL TOF (3)

Dist. TOF cluster – traccia nel TRK $< 2.5\sigma_{\text{dist}}$



TAGLI CON IL TOF (4)

Valore della velocità < 0.88 .



RISULTATI

$$N_{\bar{p}, \bar{D}} = 3 \text{ anni} \cdot \sum_i \phi_{\bar{p}, \bar{D}}(\mathbf{P})_i \cdot \alpha(\mathbf{P})_i \cdot \epsilon_{\bar{p}, \bar{D}}(\mathbf{P})_i \Delta(\mathbf{P})_i$$

antiprotoni

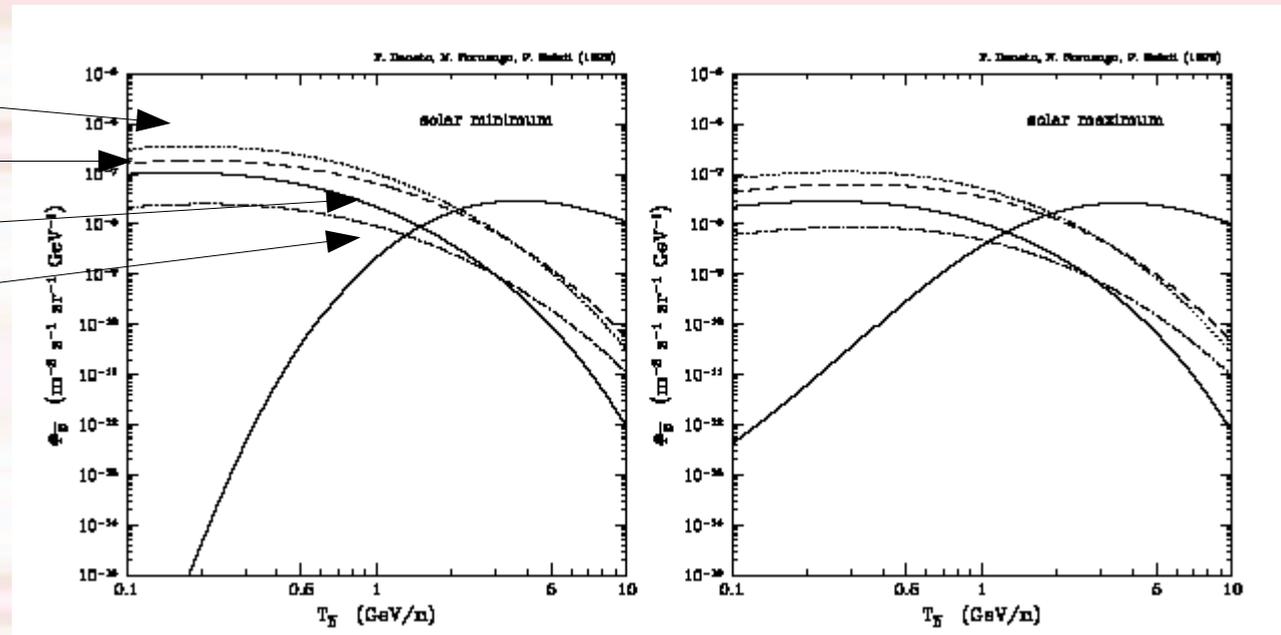
$P_0(\text{GeV})$	$\Delta(P)$ (GeV)	$\phi(\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}\text{sr}^{-1}$ GeV ⁻¹)	$\alpha(\text{m}^2\text{sr})$	$\epsilon \pm \Delta$	$N_{p \pm \Delta}$	$\epsilon_w \pm \Delta$	$N_{p,w \pm \Delta}$
0.85	1.39	$2 \cdot 10^{-2}$	0.158	$(1071.8 \pm 8.1) 10^{-4}$	44539	0±0	0
2.24	0.89	$2.05 \cdot 10^{-2}$	0.489	$(97.8 \pm 7.8) 10^{-5}$	826	$(9.9 \pm 2.5) 10^{-5}$	84
3.13	1.45	$1.55 \cdot 10^{-2}$	0.237	$(8.7 \pm 2.3) 10^{-5}$	44	$(4.3 \pm 16) 10^{-5}$	22
4.58	2.38	$5.8 \cdot 10^{-2}$	0.164	$(7.4 \pm 2.1) 10^{-5}$	159	0±0	0
6.96	3.84	$3.6 \cdot 10^{-3}$	1.021	$(6.2 \pm 62000) 10^{-6}$	83	0±0	0
<i>Numero tot.</i>					45577 ± 214		105 ± 10

antideutoni

$P_0(\text{GeV})$	$\Delta(P)$ (GeV)	$\phi(\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}\text{sr}^{-1}$ GeV ⁻¹)	$\alpha(\text{m}^2\text{sr})$	$\epsilon \pm \Delta$	$N_{\bar{D}} \pm \Delta$
0.85	1.39	$3.65 \cdot 10^{-8}$	0.158	0±0	0
2.24	0.89	$7.5 \cdot 10^{-8}$	0.489	$(147.3 \pm 2.1) 10^{-3}$	1
3.13	1.45	$1.205 \cdot 10^{-7}$	0.237	$(68.8 \pm 1.4) 10^{-3}$	0
4.58	2.38	$1.65 \cdot 10^{-7}$	0.164	$(241.4 \pm 8.3) 10^{-4}$	0
6.96	3.84	$1.6 \cdot 10^{-7}$	1.021	$(10.3 \pm 1.7) 10^{-4}$	0
<i>Numero tot.</i>					1 ± 1

MODELLI DI SUSY

a
b
c
d



Linea	Massa χ (GeV/c^2)	% Gaugino	Ω_χ
a	61.2	95.3	0.13
b	90.4	53.7	0.03
c	36.5	96.9	0.20
d	120	98.9	0.53