



23-25 Nov 2011

## **Metodologie di analisi dati nell'esperimento ARGO-YBJ:**

# **Misura della sezione d'urto del protone**

**A. Surdo**

INFN - Lecce

# Introduzione

Gli esperimenti sui raggi cosmici hanno la possibilità di misurare la **sezione d'urto inelastica “p-Aria”** ( $\sigma_{p\text{-Air}}$ ), per poi dedurre da questa la sezione d'urto **p-p** ( $\sigma_{pp}$ ) sulla base di opportuni modelli.

Si possono così effettuare misure della  $\sigma_{pp}$  totale con **tecniche del tutto indipendenti**, in **regioni cinematiche e di energia poco esplorate** o al di là dei limiti degli attuali o futuri acceleratori di particelle

come?

## Metodo diretto:

misurando **l'attenuazione del flusso di p** che penetrano nell'atmosfera in funzione della **profondità X** (ovvero la distribuzione della profondità  $X_0$  della prima interazione), ottenendo direttamente la **lunghezza di interazione**  $\lambda_{p\text{-air}}$

$$I(X) = I_0 e^{-\frac{X}{\lambda_{\text{int}}}}$$

→ **fattibile con un rivelatore ad alta quota per energie relativamente basse**

---

# Misura della sezione d'urto p-Aria in esperimenti sui Raggi Cosmici

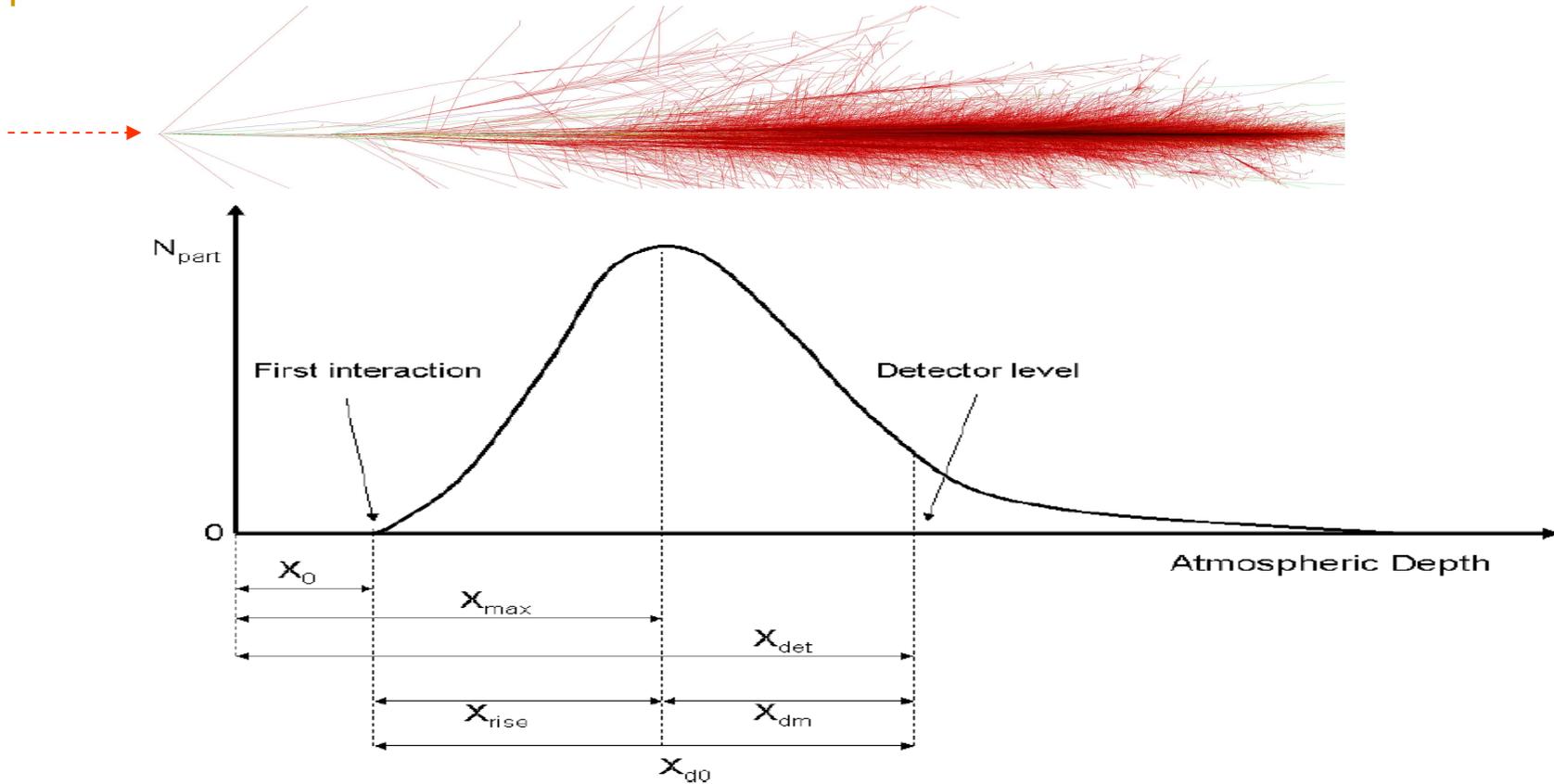
**Gli apparati per Raggi Cosmici che operano al suolo possono effettuare la misura solo in maniera indiretta.**

**Tecniche utilizzate:**

**(a) per  $E_0$  e angolo di zenit ( $\theta$ ) fissati, si misura la distribuzione (esponenziale) della profondità del massimo dello sciame ( $X_{\max}$ )**

**(b) per  $E_p$  fissata e per un dato spessore di atmosfera ( $X_{D0}$ ) in cui lo sciame si è sviluppato, si misura la distribuzione in angolo di zenit ( $\theta$ ) della *rate* di sciami rivelati**

# Profilo longitudinale dello sciame in atmosfera



Lo sciame rivelato ha memoria di  $X_{max}$  (più che di  $X_0$ ), la cui distribuzione è:

$$P(X_{max}) = P(X_0) \otimes P(X_{rise})$$

Sezione d'urto  
proton-Air

Sviluppo dello  
sciame

... senza tener conto della risoluzione sperimentale

## Tecnica (a): Misura di $X_{\max}$ dello sciame

I **Rivelatori di Fluorescenza** in aria sono in grado di studiare il profilo longitudinale degli sciame e di misurare quindi la **profondità del massimo**,  $X_{\max}$

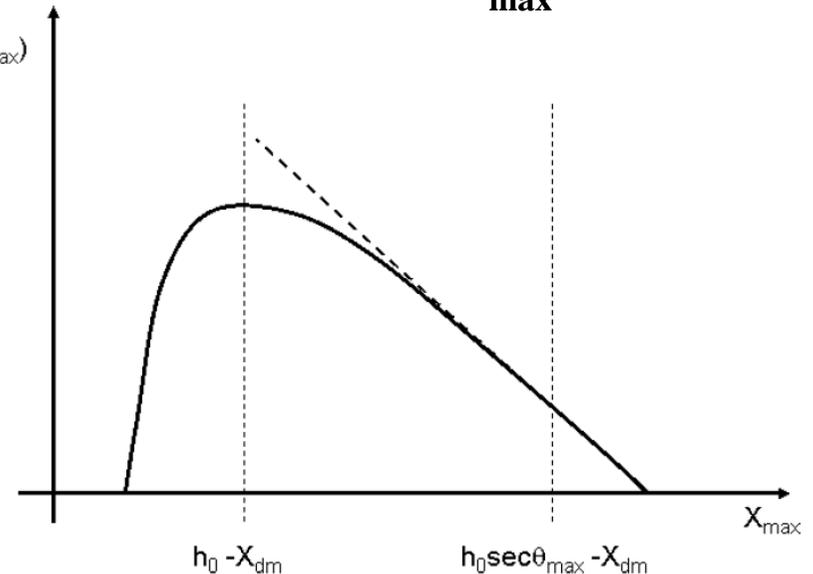
Per valori di  $X_{\max}$  sufficientemente grandi (che può significare grande angolo di zenit) ed energia fissata, la distribuzione ha un andamento esponenziale

$$P(X_{\max}) \propto e^{-\frac{X_{\max}}{\Lambda}}$$

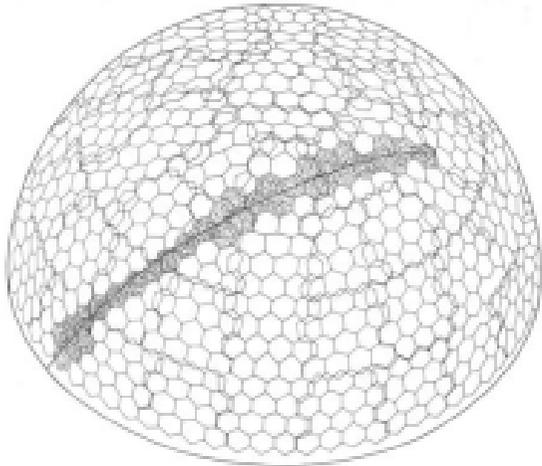
Il parametro  $\Lambda$  è legato alla lunghezza di interazione (quindi alla sezione d'urto p-aria) dalla relazione:  $\Lambda = k \lambda_{\text{int}}$

$k$  rende conto dell'inelasticità delle collisioni, delle fluttuazioni degli sciame e delle risoluzione del rivelatore.

Distribuzione di  $X_{\max}$ :



# The Fly's Eye experiment



**1981** The University of Utah Cosmic Ray group (G.Cassiday and coworkers) constructed **Fly's Eye**, a full-scale observatory based on the Volcano Ranch prototype basic design.

The experiment was located in the West Desert of Utah, within the **US Army Dugway Proving Ground** (DPG), 160 km southwest of Salt Lake City.

(Baltrusaitis et al., 1985)



# The Fly's Eye result

VOLUME 52, NUMBER 16

PHYSICAL REVIEW LETTERS

16 APRIL 1984

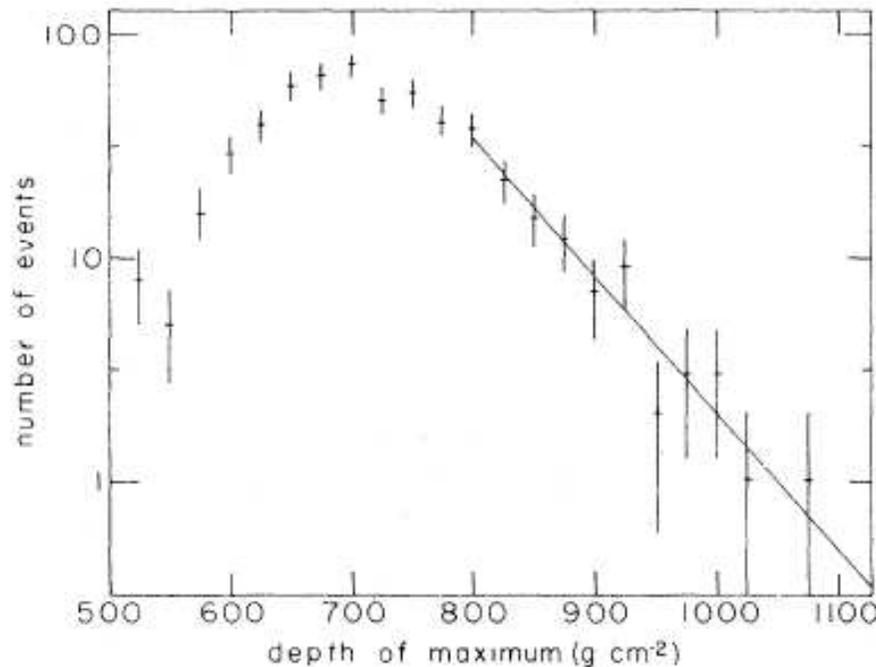
## Total Proton-Proton Cross Section at $s^{1/2} = 30$ TeV

R. M. Baltrusaitis, G. L. Cassiday, J. W. Elbert, P. R. Gerhardy,  
S. Ko, E. C. Loh, Y. Mizumoto, P. Sokolsky, and D. Steck

University of Utah, Salt Lake City, Utah 84112

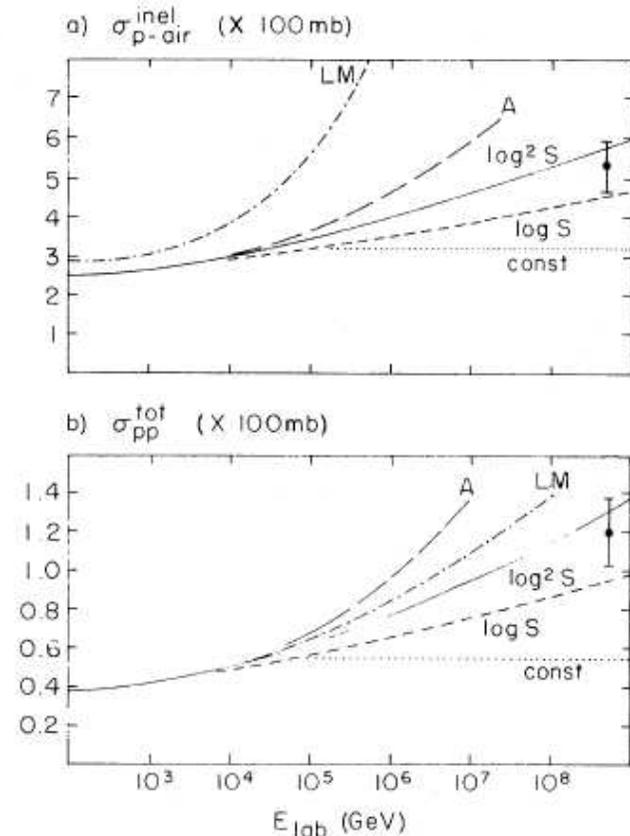
(Received 16 January 1984)

We have measured the proton-air inelastic cross section at  $s^{1/2} = 30$  TeV by observing the distribution of extensive-air-shower maxima as a function of atmospheric depth. This distribution has an exponential tail whose slope is  $\lambda = 72 \pm 9 \text{ g cm}^{-2}$  which implies that  $\sigma_{p\text{-air}}^{\text{inel}} = 530 \pm 66 \text{ mb}$ . Using Glauber theory and assuming that the elastic-scattering slope parameter  $b$  is proportional to  $\sigma_{pp}^{\text{tot}}$ , we infer a value of  $\sigma_{pp}^{\text{tot}} = 120 \pm 15 \text{ mb}$  which lies between a lo and a  $\log^2 s$  extrapolation of the total  $pp$  cross section as measured at lower energies.

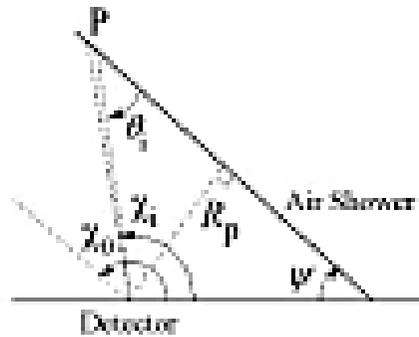
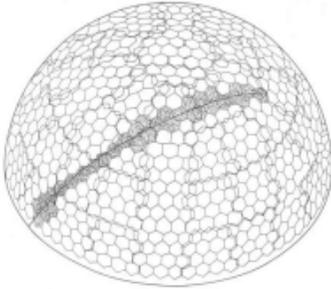


MAPSES 2011

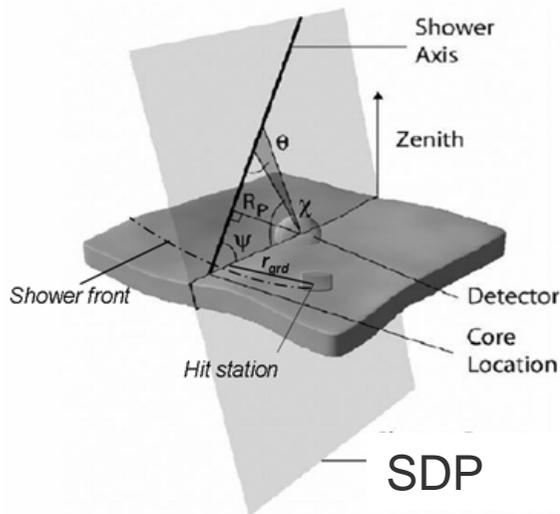
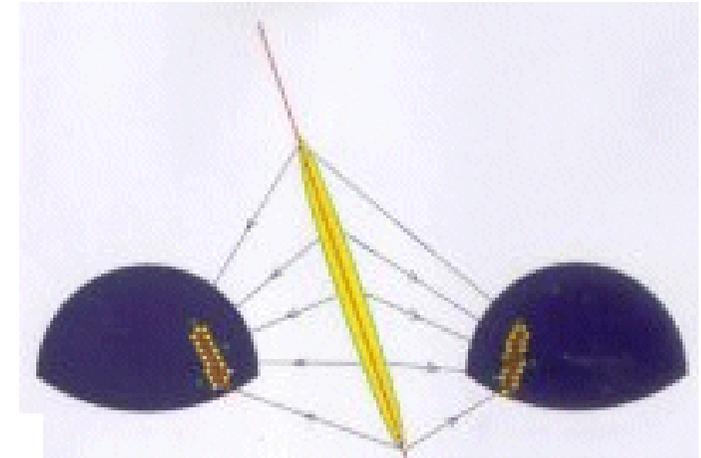
analisi dati in  
ARGO-YBJ: misura della sezione d'urto di  $p$



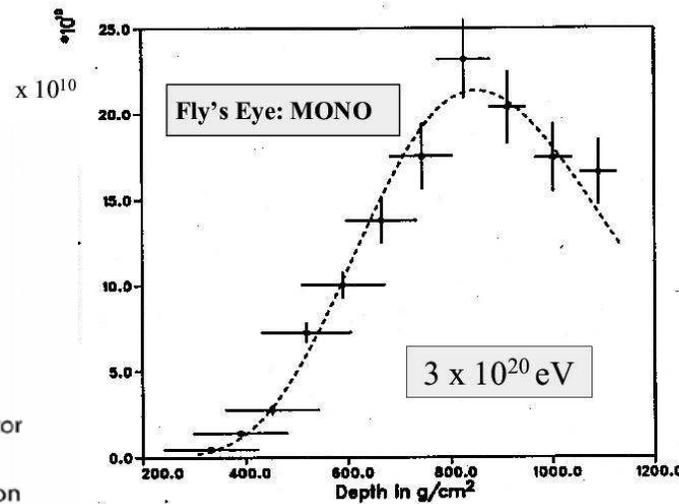
# Better reconstruction (geometry) for "stereo" events



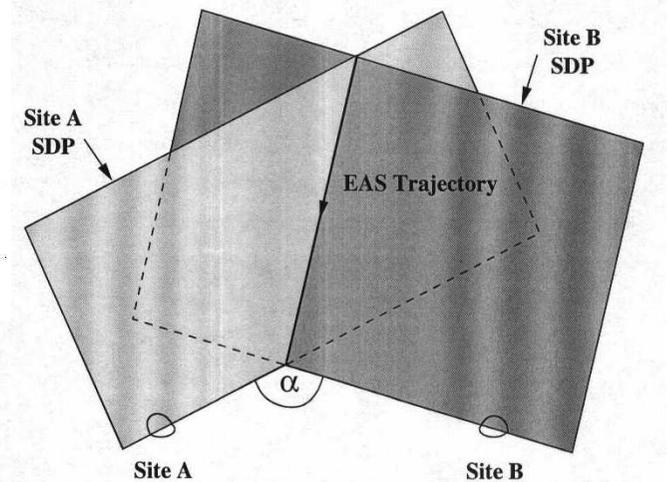
Fit:  $t_1 = t_0 + (R_p/c) \tan(\theta_0/2 - \theta_1/2)$



MAPSES 2011



A.Surdo: Metodologie di analisi dati in ARGON-YBJ: misura della sezione d'urto del 1

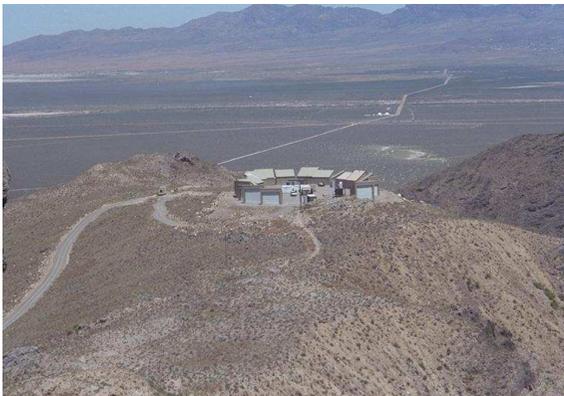


# The HiRes experiment

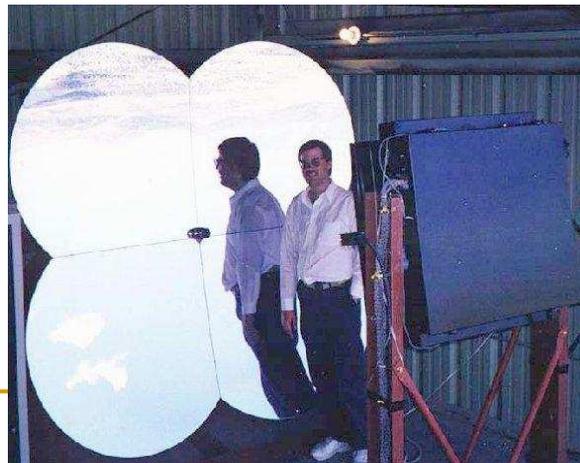
- HiRes1: atop Five Mile Hill
- 21 mirrors, 1 ring
- HiRes2: Atop Camel's Back Ridge
- 12.6 km SW of HiRes1.
- 42 mirrors, 2 rings



The two telescopes are 12.6 km apart

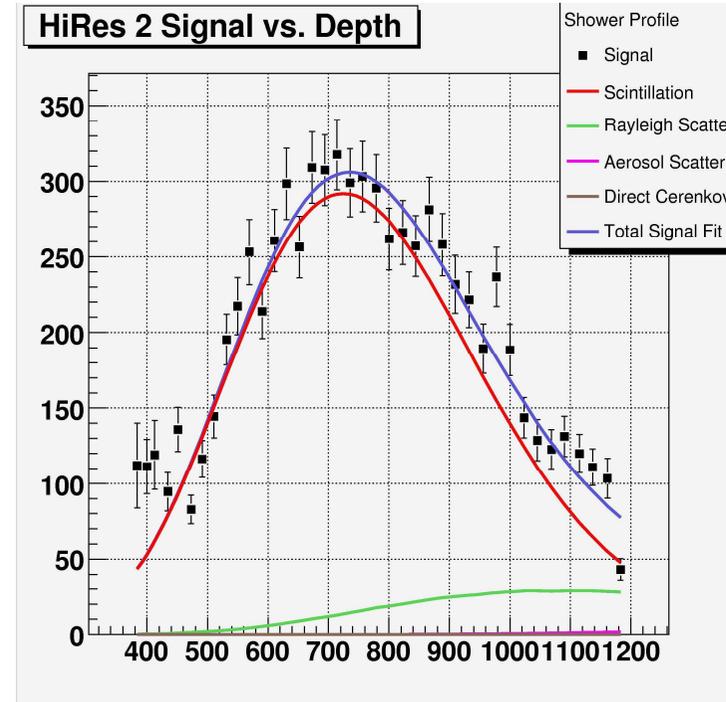
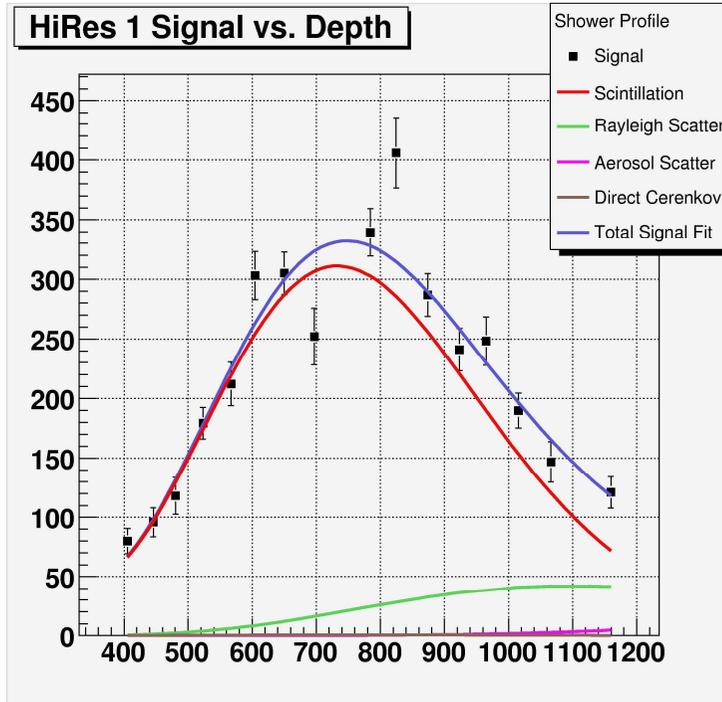


MAPSES 2011



ARGO-YBJ: misura della sezione d'urto del p

# HiRes: Measured shower profile



Measured shower parameters.

*Event by event:*

$X_{\max}$  in  $\text{g}/\text{cm}^2$ ;

Total energy of the primary particle:

Arrival direction



*Statistically:*

$p$ -air inelastic cross-section;  
Mass composition.

K. Belov

# HiRes: Measuring the cross section

A suitable deconvolution procedure, allows the extraction of  $\lambda_{\text{int}}$  from data:

$$P(X_{\text{max}}) = P(X_0) \otimes P(X_{\text{rise}})$$

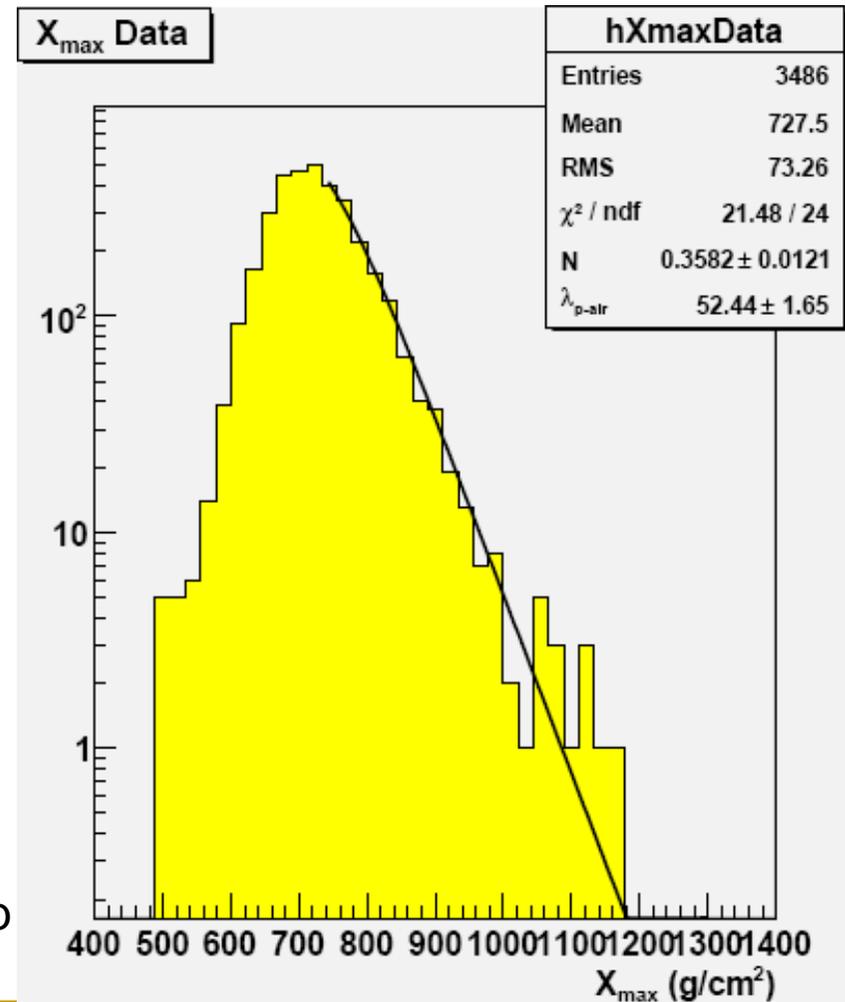
The data from december 1999 till november 2005 were analyzed.

After taking into account the effect of heavier primaries, the result is:

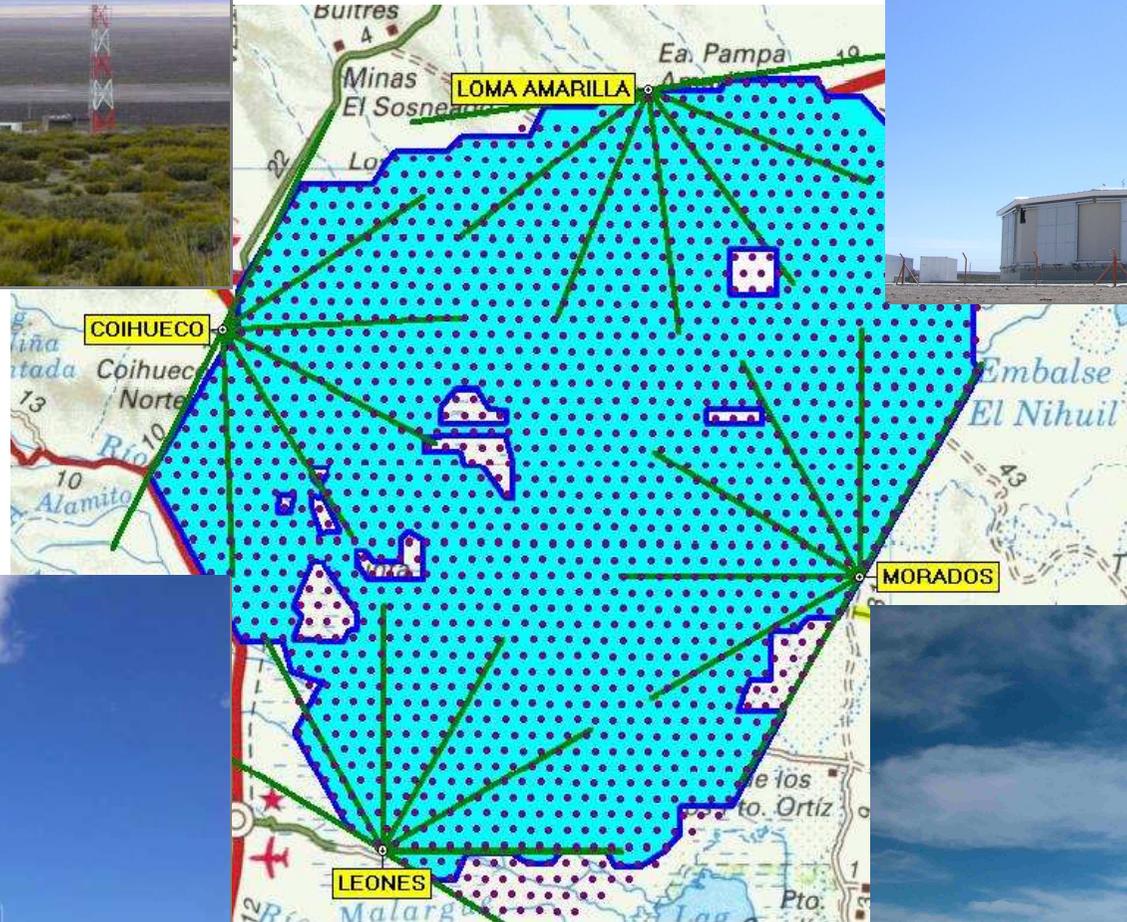
$$\sigma_{\text{inel}}^{p\text{-air}} = 460 \pm 14(\text{stat}) + 39(\text{sys}) - 26(\text{sys})$$

at  $E = 10^{18.5}$  eV.

By assuming an asymptotic  $\log^2(s)$  behaviour of  $\sigma_{\text{pp}}$  cross section, a value of  $(107.3 \pm 1.2)$  mb is foreseen for LHC

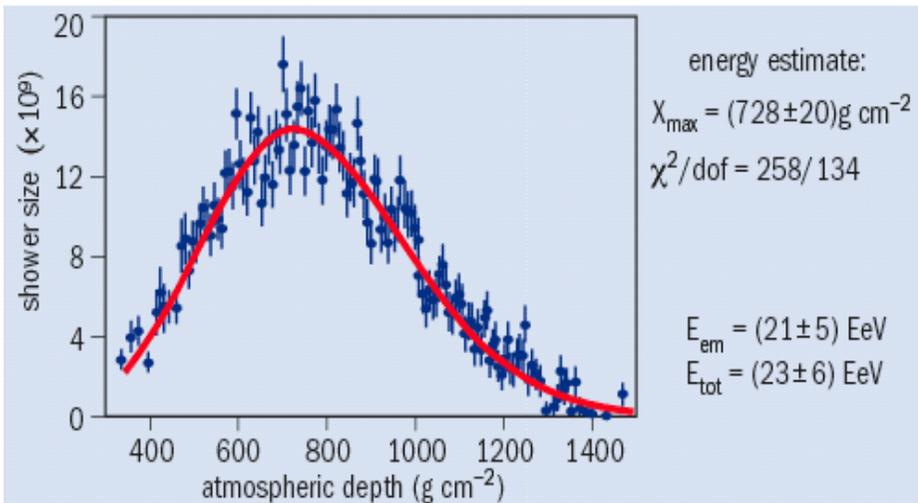
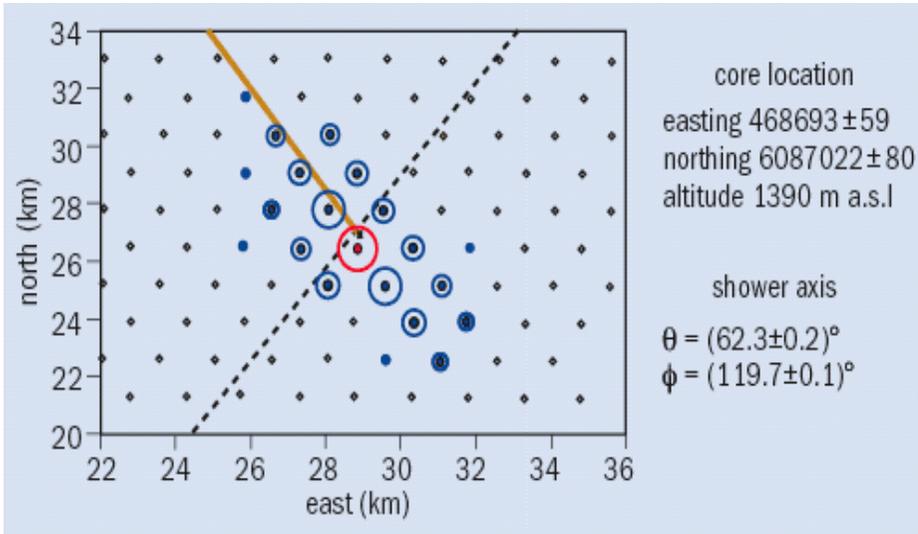


# The AUGER experiment



A.Surdo: Metodologie di analisi dati in ARGO-YBJ: misura della sezione d'urto del p

# The AUGER experiment

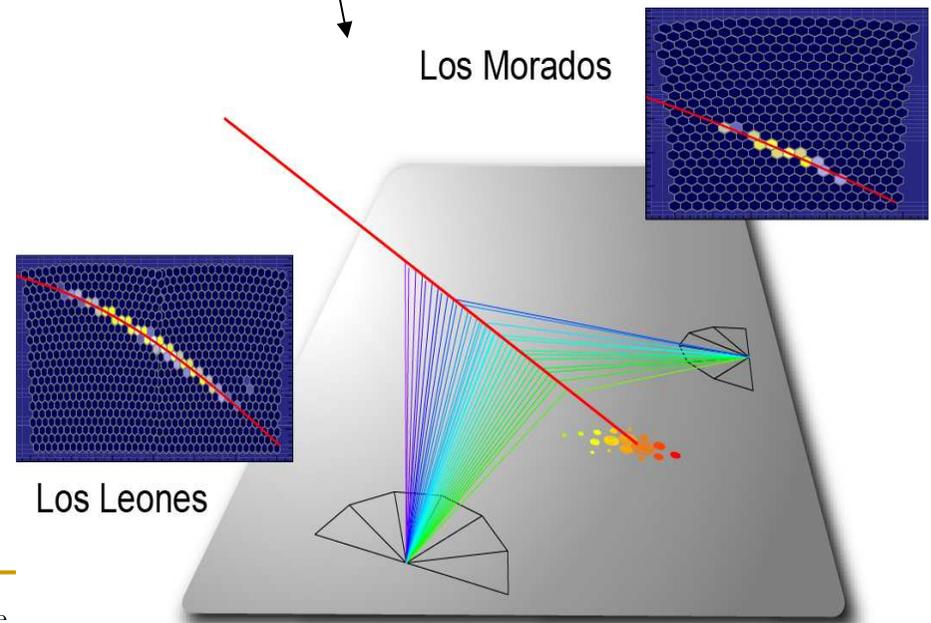


MAPSES 2011

ARGO-YBJ: misura della sezione d'urto del p

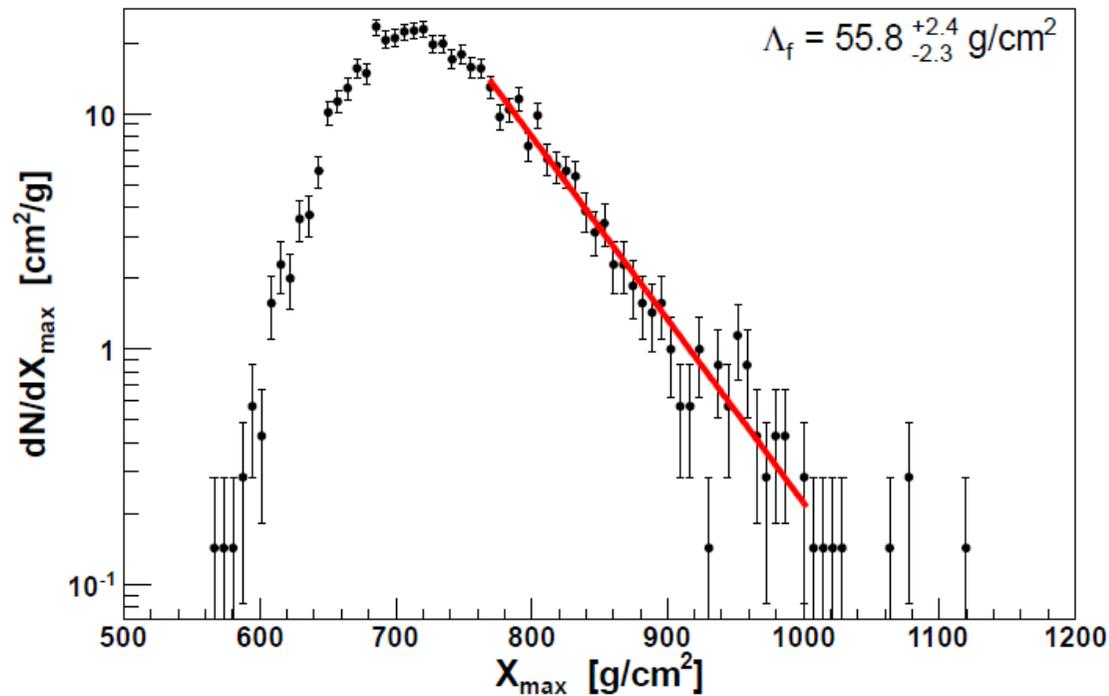
Hybrid reconstruction

Stereo events,....



gie

# Risultato di Auger



Dal fit:

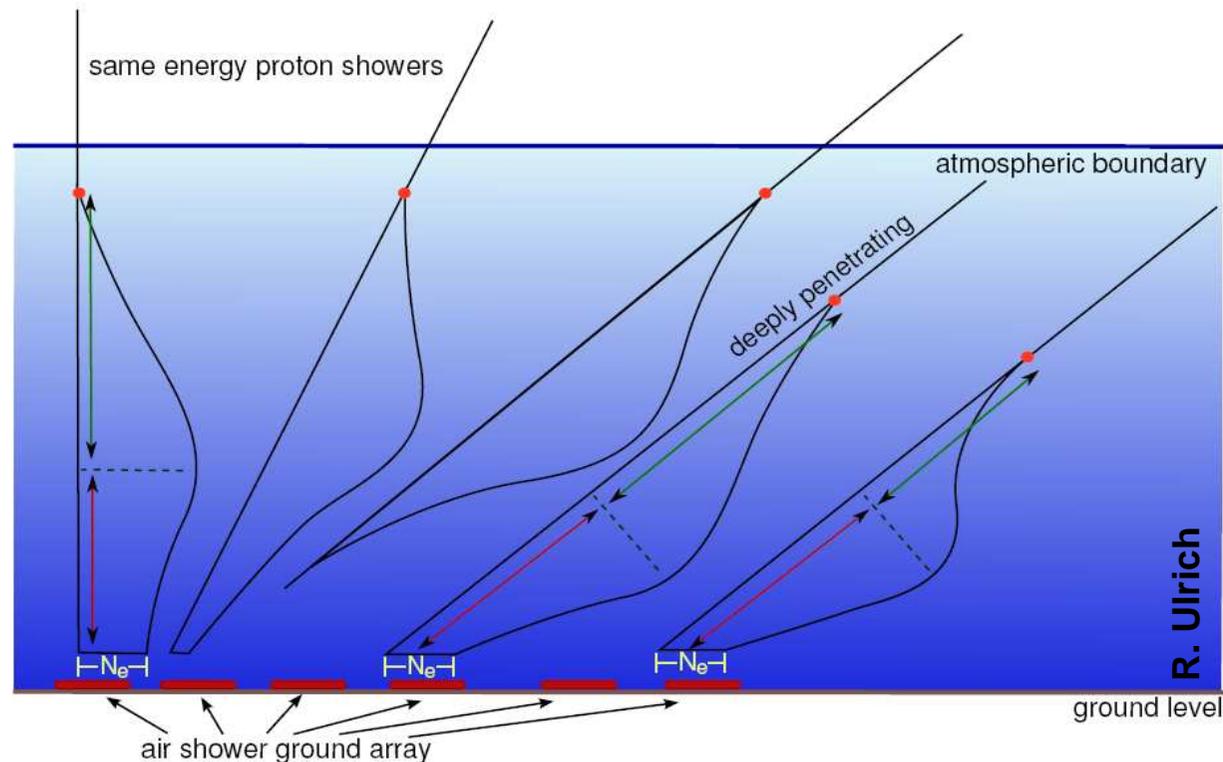
$$\Lambda_f = (55.8 \pm 2.3_{\text{stat}} \pm 0.6_{\text{syst}}) \text{ g/cm}^2$$

$$\sigma_{p\text{-air}} = (505 \pm 22_{\text{stat}} \text{ }^{+20}_{-15}_{\text{syst}}) \text{ mb} \quad \text{per } \sqrt{s} = 57 \pm 6 \text{ TeV}$$

## Tecnica (b):

### Frequenza di sciame rivelati in funzione di $\theta_{\text{zenit}}$

Si esplorano profondità maggiori di interazione della particella primaria se l'inclinazione (cioè l'angolo di zenit,  $\theta_{\text{zenit}}$ ) aumenta, a parità di energia  $E_0$  ed "età" dello sciame (cioè la distanza  $X_{D0}$  tra la prima interazione e il detector)



Si misura quindi l'attenuazione del flusso rivelato di sciame all'aumentare di  $\theta_{\text{zenit}}$

Metodo " $N_e$ - $N_\mu$  costante":

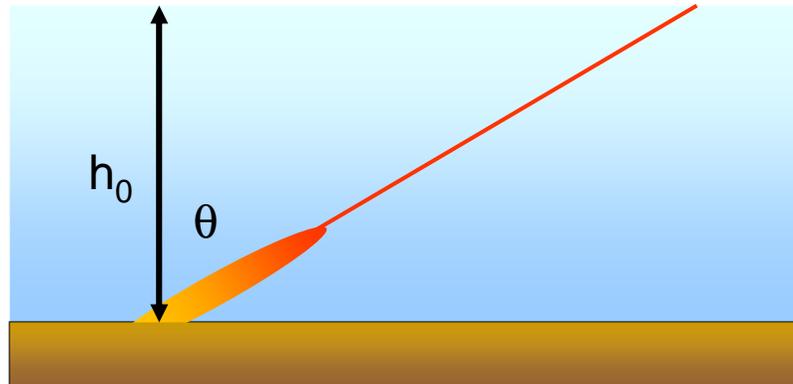
$N_\mu \rightarrow$  Energia sciame

$N_e \rightarrow$  Età dello sciame

# Approccio di ARGO-YBJ

ARGO-YBJ non è in grado di misurare  $X_{\max}$ , ma può produrre una immagine dettagliata dello sciame (pattern di strip) e ricostruirne la direzione.

Può quindi misurare la **sezione d'urto p-Aria** utilizzando il metodo (b).



$h_0$ : spessore verticale dell'atmosfera

Misura della frequenza di sciame in funzione di  $(\sec\theta - 1)$ :

$$I(\theta) = I(0) \cdot e^{-\frac{h_0}{\Lambda}(\sec\theta - 1)} \quad (1)$$

per una data  $E_0$  e fissata l'età dello sciame.

Nella costante dell'esponenziale compare il parametro  $\Lambda$ , detto "lunghezza di assorbimento", che si ricava sperimentalmente dal fit della (1).

La lunghezza di assorbimento è legata alla lunghezza di interazione  $\lambda_{\text{int}}$  dalla relazione:

$$\Lambda = k \lambda_{\text{int}} \Rightarrow \sigma_{\text{p-Air}} (\text{mb}) = 2.41 \cdot 10^4 / \lambda_{\text{int}} (\text{g/cm}^2)$$

Il **parametro k**, che lega  $\Lambda$  a  $\lambda_{\text{int}}$ , rende conto di vari effetti, in primo luogo di **come l'energia del primario viene dissipata nello sciame** che viene generato.

Dipende quindi da:

- inelasticità delle collisioni
- fluttuazioni nello sviluppo degli sciami
- ...

Ma anche da:

- condizioni sperimentali (tecnica di rivelazione, posizione-rivelatore, ...)
- risoluzione del rivelatore
- osservabili utilizzati nell'analisi

➤ **Esso si determina con la simulazione MC.**

→ entrano in gioco i dettagli del modello di interazione adottato nel MC.

### Warning

- Vincolo su  $X_{D0} = X_{\text{det}} - X_0$  ovvero su  $X_{DM} = X_{\text{det}} - X_{\text{max}}$
- Selezione di sciami "profondi" (grande  $X_{\text{max}}$ , ovvero piccoli  $X_{D0}$  or  $X_{DM}$ )

# Gli step dell'analisi

1) **Selezione degli eventi**, ricostruzione della direzione ( $\theta_{\text{zenit}}$ ) e dell'energia  $E_0$  del primario (correlandola con uno o più osservabili sperimentali  $\rightarrow$  MC)

2) **Distribuzione (1) dai dati sperimentali**, per ciascun valore di  $E_0 \rightarrow \Lambda^{(\text{exp})}$

3) Determinazione del **parametro k** con il **Monte Carlo**, sulla base cioè della distribuzione (1) ottenuta dai dati simulati:

$$k = \Lambda^{(\text{MC})} / \lambda_{\text{int}}^{(\text{MC})}$$

4) Determinato il valore di **k**, dal **fit della (1) sui dati sperimentali**:

$$\lambda_{\text{int}}^{(\text{exp})} = \Lambda^{(\text{exp})} / k \quad \Rightarrow \quad \sigma_{\text{CR-Air}} \text{ (mb)} = 2.41 \cdot 10^4 / \lambda_{\text{int}}^{(\text{exp})} \text{ (g/cm}^2\text{)}$$

5) In  $\sigma_{\text{CR}}$  vi è anche il contributo dei **nuclei più pesanti del p** (in primo luogo nuclei di **He**) presenti nei RC primari

$\rightarrow$  Stima di tale contributo (e relativo errore sistematico) dal MC

6) Sottratto tale contributo, si ottiene infine  $\sigma_{\text{p-Air}}$

**Cruciale l'impiego della simulazione Monte Carlo**

# La simulazione Monte Carlo:

- ✓ Sciami da primari **p** ( $\sim 10^8$ ) e **nuclei di He** ( $\sim 2 \cdot 10^7$ ) generati con *Corsika*
- ✓ Range di **Energia**:  
p (0.3-3000)TeV  
He (0.3-3000)TeV
- ✓ Range in **angolo di zenit**:  $0 < \theta_{\text{zen}} < 45^\circ$
- ✓ Modello di interazione: *QGSJET-I* e *II*, *SIBYLL*
- ✓ Uso delle informazioni sul profilo longitudinale dello sciame (profondità prima interazione  $X_0$ ,  $X_{\text{max}}$  dal fit con funzione di Gaisser-Hillas, ...)
- ✓ **Simulazione completa della risposta del rivelatore con *ARGO-G***
- ✓ **Campionamento degli sciami su un'area appropriata più estesa del rivelatore**
- ✓ **Stessa catena di analisi dei dati reali**

# Selezione degli eventi

Tagli di analisi volti a selezionare gli **eventi ben ricostruiti**, in particolare riguardo alla direzione di arrivo del primario,  $(\theta_{\text{zenit}}, \phi_{\text{azim}})$ .

## ➤ Tagli di base:

- molteplicità minima di strip accese (“size” rivelata):  **$N_{\text{strip}} \geq 500$**  (su 124800)
- eventi con il **core in un'area interna** al rivelatore centrale, ricostruiti (con fit conico) entro  **$0 < \theta_{\text{zenit}} < 40^\circ$**

+

➤ Ulteriori tagli basati su **estensione, densità intorno al core e profilo laterale** di strip dello sciame rivelato, allo scopo di:

- (a) **ridurre** la contaminazione di eventi con il **core esterno** al rivelatore
- (b) selezionare gli sciame di ~ **uguale “età”** (limite su  $X_{D0}$ )
- (c) selezionare eventi indotti prevalentemente da **p primari**

➤  **$N_{\text{strip}}$  usata per fissare diversi intervalli di Energia del primario**

# Selezione dei dati: reiezione eventi esterni

✓ Core ricostruito entro un'area fiduciale interna al rivelatore ( $64 \times 64 \text{ m}^2$ )

Definito il parametro:

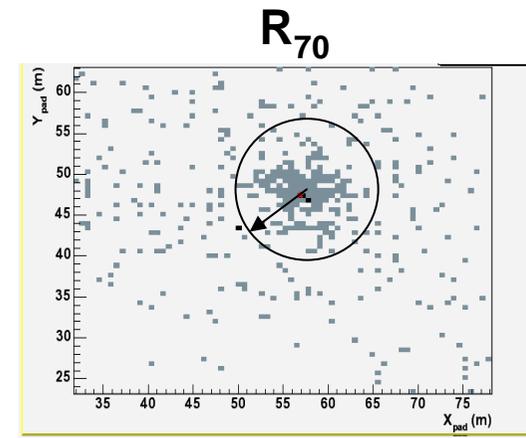
$R_{70}$  = raggio del cerchio che include il 70% delle strip accese nell'evento

→ Ulteriori selezioni:

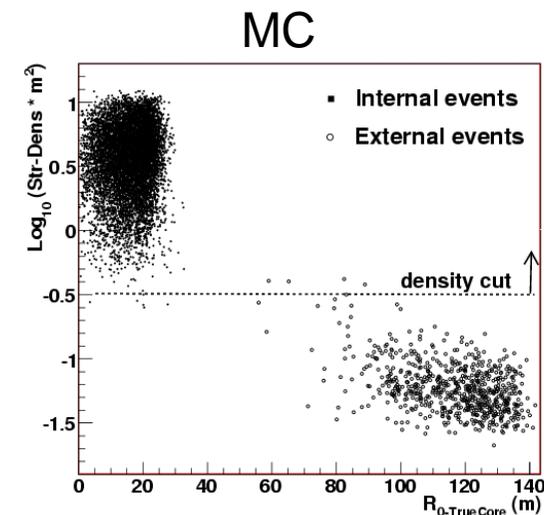
✓  $(R_{0\text{-core}} + R_{70}) < 50 \text{ m}$

✓ Densità media di strip entro  $R_{70} > 0.2/\text{m}^2$

per escludere gli eventi con il core esterno ricostruiti come interni (contaminazione residua  $< 1\%$ )



Infatti dalla simulazione MC:



# Selezione dei dati: sciame di uguale “età”

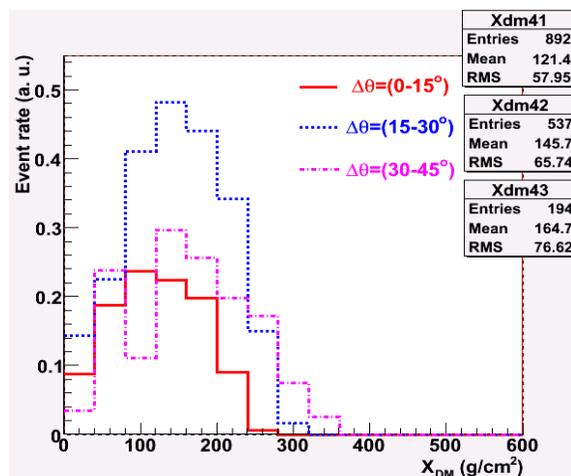
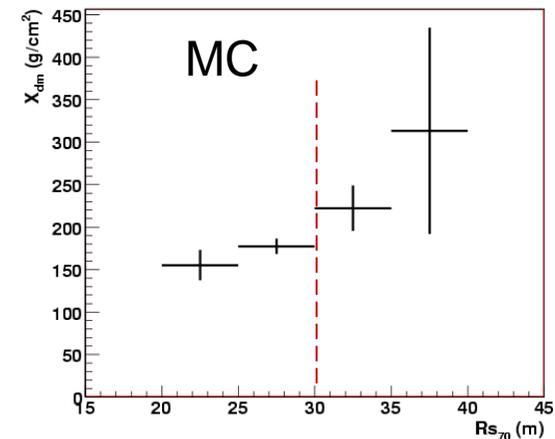
Selezionare sciame profondi (**grande  $X_{\max}$** , ovvero **piccolo  $X_{DM}$** ) significa:

- (a) vincolare l’età dello sciame, accedendo alla regione in cui  $P(X_{\max})$  o la frequenza degli sciame  $I(\sec\theta)$  assume un andamento esponenziale
- (b) minimizzare l’effetto delle fluttuazioni nello sviluppo dello sciame

Dalla simulazione MC si osserva una correlazione tra  $R_{70}$  ed età dello sciame

→ Selezione:  **$R_{70} < 30$  m**

(limite su estensione e distribuzione laterale)



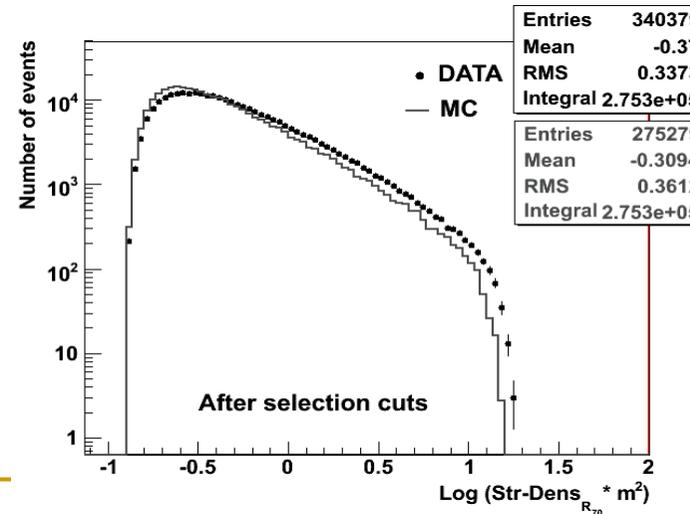
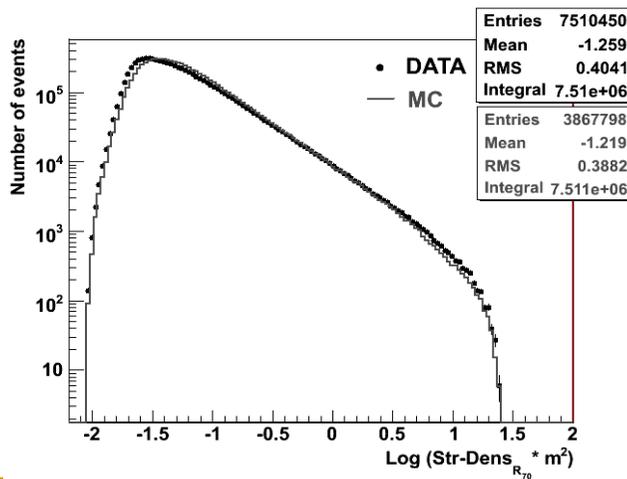
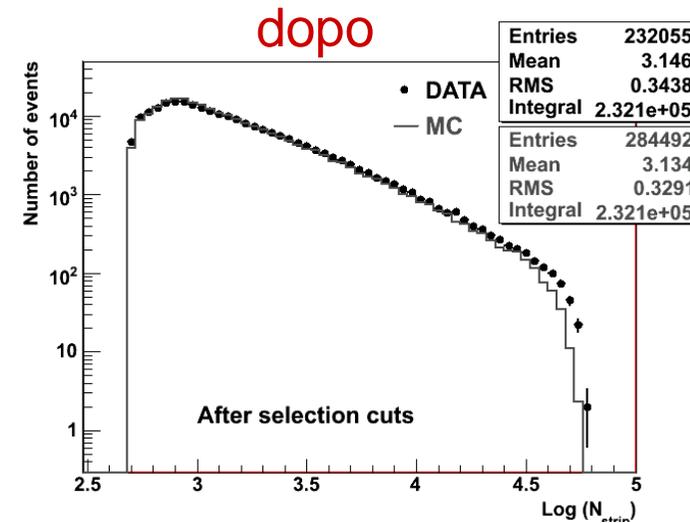
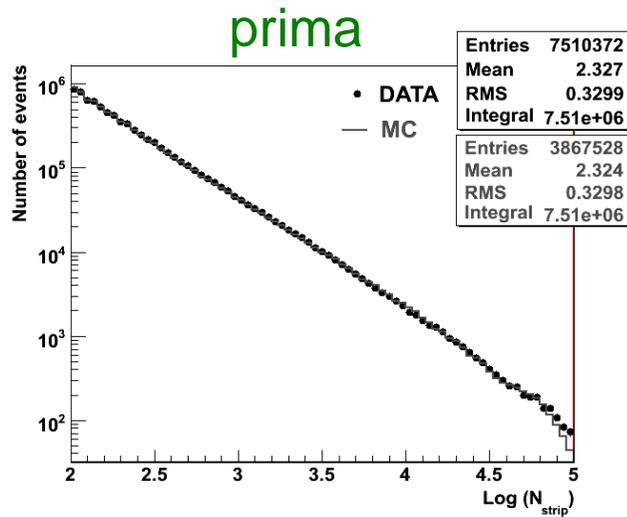
← Distribuzione di  $X_{DM} = X_{Det} - X_{Max}$

in seguito al taglio applicato per diversi intervalli di  $\theta_{zenit}$ :

**Il taglio non dipende in maniera significativa dall’inclinazione per  $\theta_{zenit} < 40^\circ$**

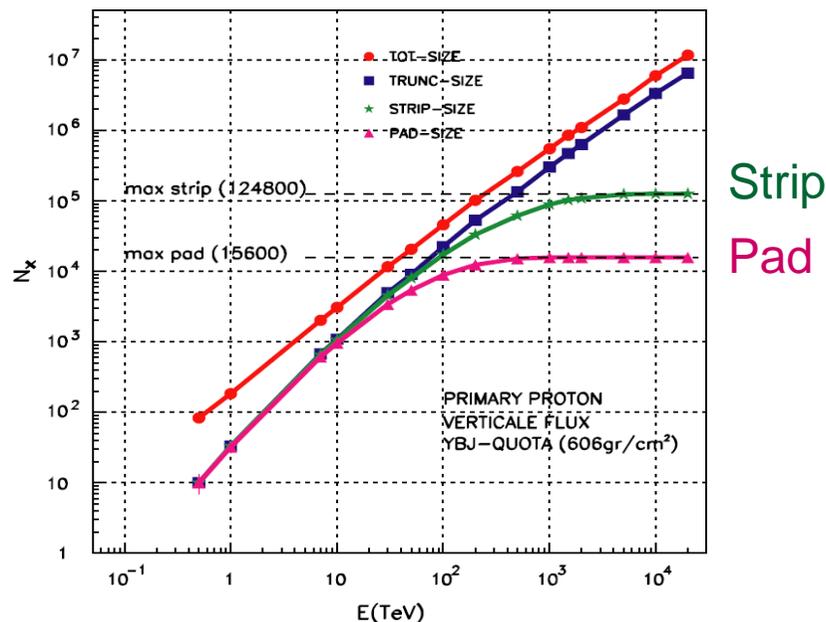
# Affidabilità della simulazione MC

Confronto **Dati** – **MC** prima e dopo i tagli di selezione degli eventi:



# La scala di energia

La **molteplicità di strip** nell'evento ( $N_{\text{strip}}$ ) usata per determinare l'**Energia** del primario



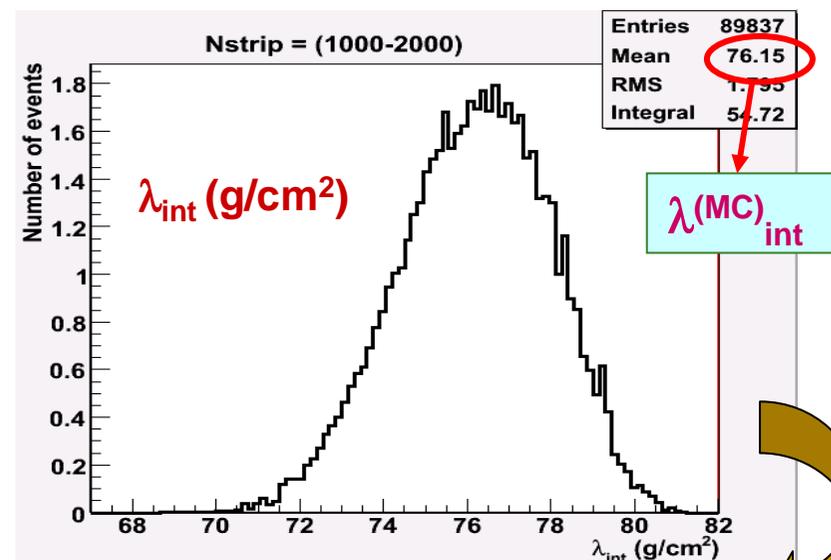
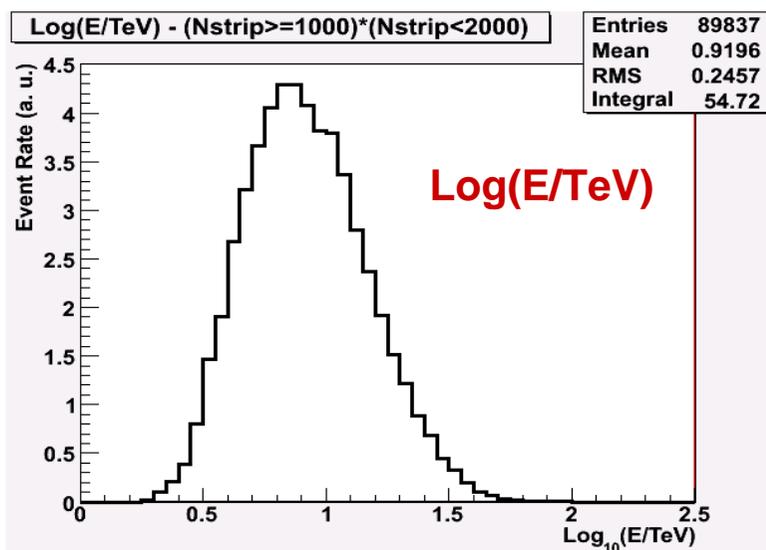
⇒ **correlazione soddisfacente per energie del primario fino a  $E_0 \sim 100$  TeV**

**Per energie superiori, le informazioni digitali (pad e strip) non sono utilizzabili a causa della saturazione.**

⇒ **Occorre utilizzare le informazioni fornite dalla lettura di carica analogica degli RPC (“Sistema Analogico”), valide fino a densità di particelle oltre  $10^4/m^2$ .**

# MC: intervalli di energia e valori di $\lambda_{int}$

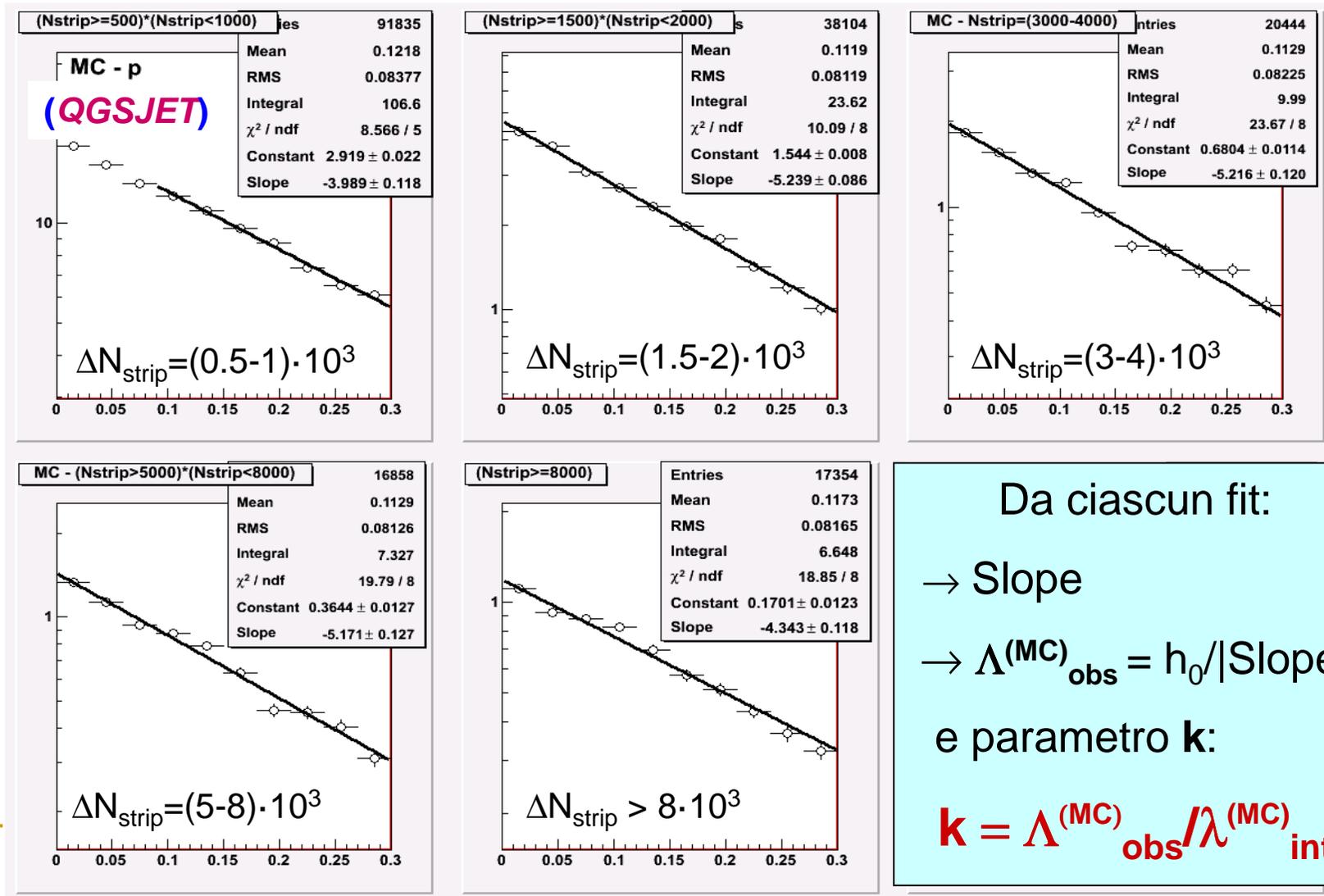
- Scelti **5 intervalli di  $N_{strip}$**  → distribuzione di  **$\text{Log}(E_0)$**  dopo i tagli di selezione
- Assegnato a ciascun intervallo l'**E** ottenuta dal valor medio della distribuzione
- Tale valore corrisponde a  **$E_{50}$** , l'energia mediana del relativo campione di eventi ed è **indipendente dal modello di interazioni adroniche** usato
- Combinando la distribuzione di  **$E_0$**  per  $\Delta N_{strip}$  con la **parametrizzazione di  $\sigma_{p-air}(E_0)$**  del modello di interazione → **distribuzione di  $\lambda_{int}$** .



Valor medio di  $\lambda_{int}$  usato per valutare il parametro k:  $k = \Lambda^{(MC)}_{obs} / \lambda^{(MC)}_{int}$

# Analisi dei dati MC

distribuzioni in  $\sec\theta$  per i vari intervalli  $\Delta N_{\text{strip}}$



Da ciascun fit:

→ Slope

→  $\Lambda^{(\text{MC})}_{\text{obs}} = h_0 / |\text{Slope}|$

e parametro k:

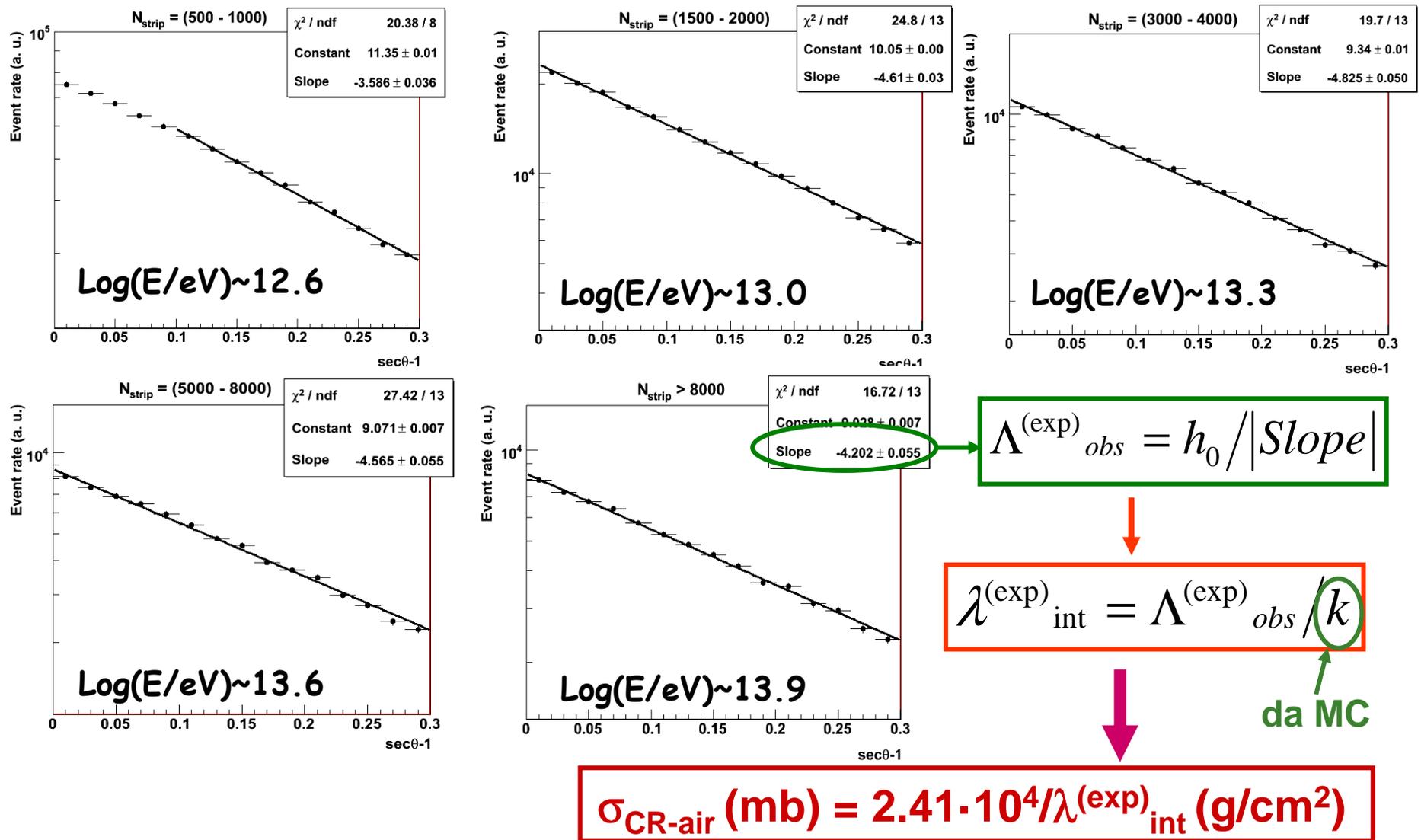
$$k = \Lambda^{(\text{MC})}_{\text{obs}} / \lambda^{(\text{MC})}_{\text{int}}$$

## Valori di k e confronto *QGSJET* – *SIBYLL*

$\Delta N_{str}$	$E_{50}$ (TeV)	$\alpha_{MC}$ <i>QGSJET</i>	$k_Q$	$\alpha_{MC}$ <i>SIBYLL</i>	$k_S$
500-10 <sup>3</sup>	4	3.99 ± 0.12	1.94 ± 0.06	4.25 ± 0.38	1.84 ± 0.16
(1.5-2)x10 <sup>3</sup>	10	5.24 ± 0.09	1.53 ± 0.03	4.61 ± 0.20	1.76 ± 0.08
(3-4)x10 <sup>3</sup>	20	5.22 ± 0.12	1.58 ± 0.04	4.76 ± 0.16	1.74 ± 0.06
(5-8)x10 <sup>3</sup>	40	5.17 ± 0.13	1.64 ± 0.04	4.43 ± 0.11	1.91 ± 0.05
>8x10 <sup>3</sup>	80	4.34 ± 0.12	2.01 ± 0.03	4.36 ± 0.11	2.01 ± 0.05

- Differenza tra i valori dei diversi modelli di interazione → errore sistematico su k
- Valore di k alto nell'ultimo bin di energia: indicazione dell'inizio della saturazione nell'informazione delle strip.

# Analisi dei dati reali: distribuzioni in $\sec\theta$



# Contributo dei primari pesanti

Hoerandel AP 19 (2003) 193

usato come riferimento.

JACEE e RUNJOB per la stima dell'errore sistematico

$$\frac{dN}{dE} = \Phi(E) = \Phi_Z^0 \cdot \left( \frac{E}{TeV} \right)^{-\gamma_Z}$$

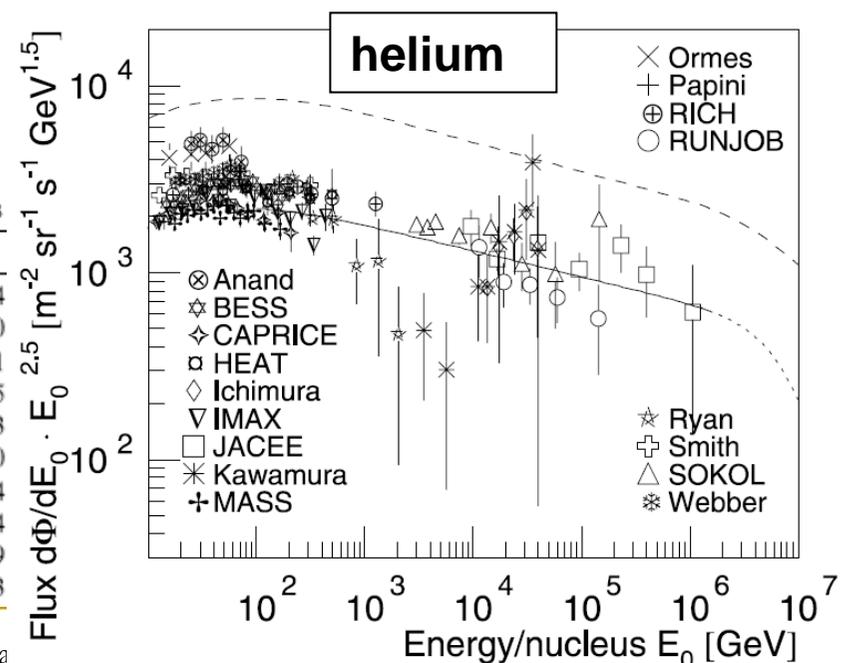
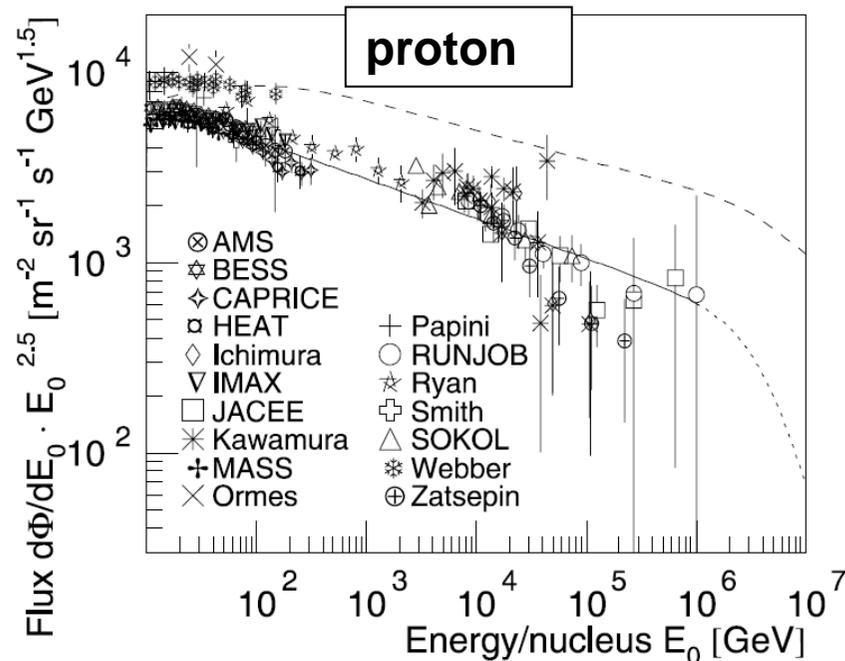
198

J.R. Höerandel / Astroparticle Physics 19 (2003) 193–220

Table 1

Absolute flux  $\Phi_Z^0$  ( $(m^2 sr s TeV)^{-1}$ ) at  $E_0 = 1$  TeV/nucleus and spectral index  $\gamma_Z$  of cosmic-ray elements

Z		$\Phi_Z^0$	$-\gamma_Z$	Z		$\Phi_Z^0$
1 <sup>a</sup>	H	$8.73 \times 10^{-2}$	2.71	47 <sup>c</sup>	Ag	4.54
2 <sup>a</sup>	He	$5.71 \times 10^{-2}$	2.64	48 <sup>c</sup>	Cd	6.30
3 <sup>b</sup>	Li	$2.08 \times 10^{-3}$	2.54	49 <sup>c</sup>	In	1.61
4 <sup>b</sup>	Be	$4.74 \times 10^{-4}$	2.75	50 <sup>c</sup>	Sn	7.15
5 <sup>b</sup>	B	$8.95 \times 10^{-4}$	2.95	51 <sup>c</sup>	Sb	2.03
6 <sup>b</sup>	C	$1.06 \times 10^{-2}$	2.66	52 <sup>c</sup>	Te	9.10
7 <sup>b</sup>	N	$2.35 \times 10^{-3}$	2.72	53 <sup>c</sup>	I	1.34
8 <sup>b</sup>	O	$1.57 \times 10^{-2}$	2.68	54 <sup>c</sup>	Xe	5.74
9 <sup>b</sup>	F	$3.28 \times 10^{-4}$	2.69	55 <sup>c</sup>	Cs	2.79
10 <sup>b</sup>	Ne	$4.60 \times 10^{-3}$	2.64	56 <sup>c</sup>	Ba	1.23

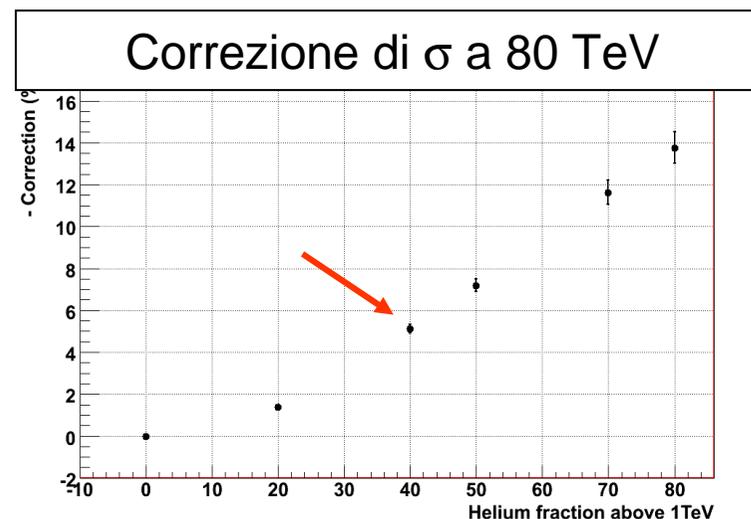


# Contributo dei nuclei di He

Per  $E_0 > 1$  TeV:

- frazione nuclei di He primari  $\approx 40\%$
- dopo i tagli di analisi  $\approx 15\text{-}20\%$

**Correzione per l'He:** stimata dall'effetto di una componente di sciame da nuclei di He nei dati simulati sulle distribuzioni in  $\sec\theta$ .

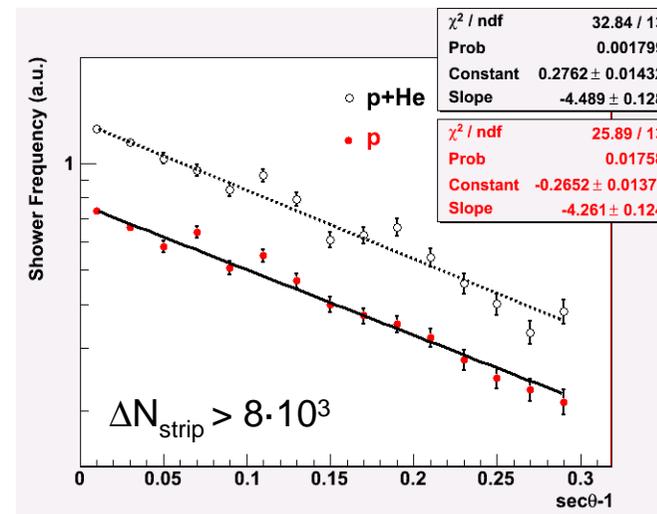
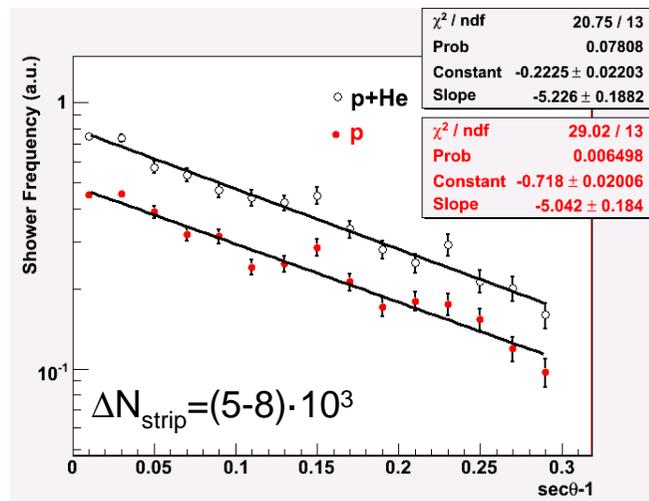


Nstrip	$E_{\log}$ (TeV)	Helium correction	$\sigma_{pAir}$ (mb)
500 ÷ 1000	4	$1.00 \pm 0.04 \pm 0.01$	$272 \pm 13 \pm 9$
1500 ÷ 2000	10	$1.00 \pm 0.03 \pm 0.01$	$295 \pm 10 \pm 14$
3000 ÷ 4000	20	$0.99 \pm 0.04 \pm 0.01$	$318 \pm 15 \pm 8$
5000 ÷ 8000	40	$0.98 \pm 0.04 \pm 0.03$	$322 \pm 15 \pm 20$
> 8000	80	$0.95 \pm 0.04 \pm 0.04$	$318 \pm 15 \pm 21$

Contributo trascurabile dai primari più pesanti

# Correzione per i nuclei di He

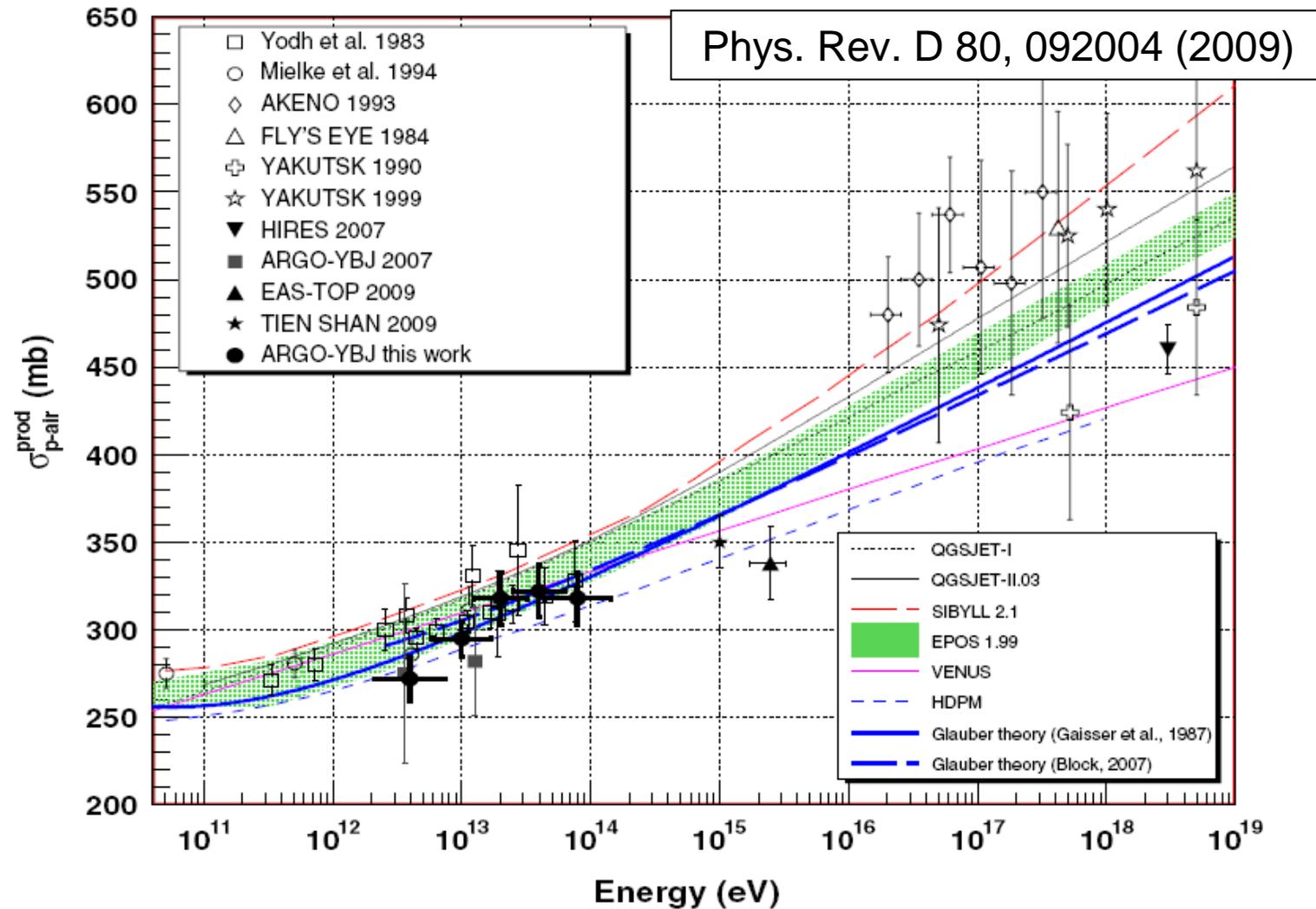
Introduzione di una **componente di sciame da nuclei di He** nel campione di eventi simulati → **Effetto sulla pendenza della distribuzione in  $\sec\theta$**



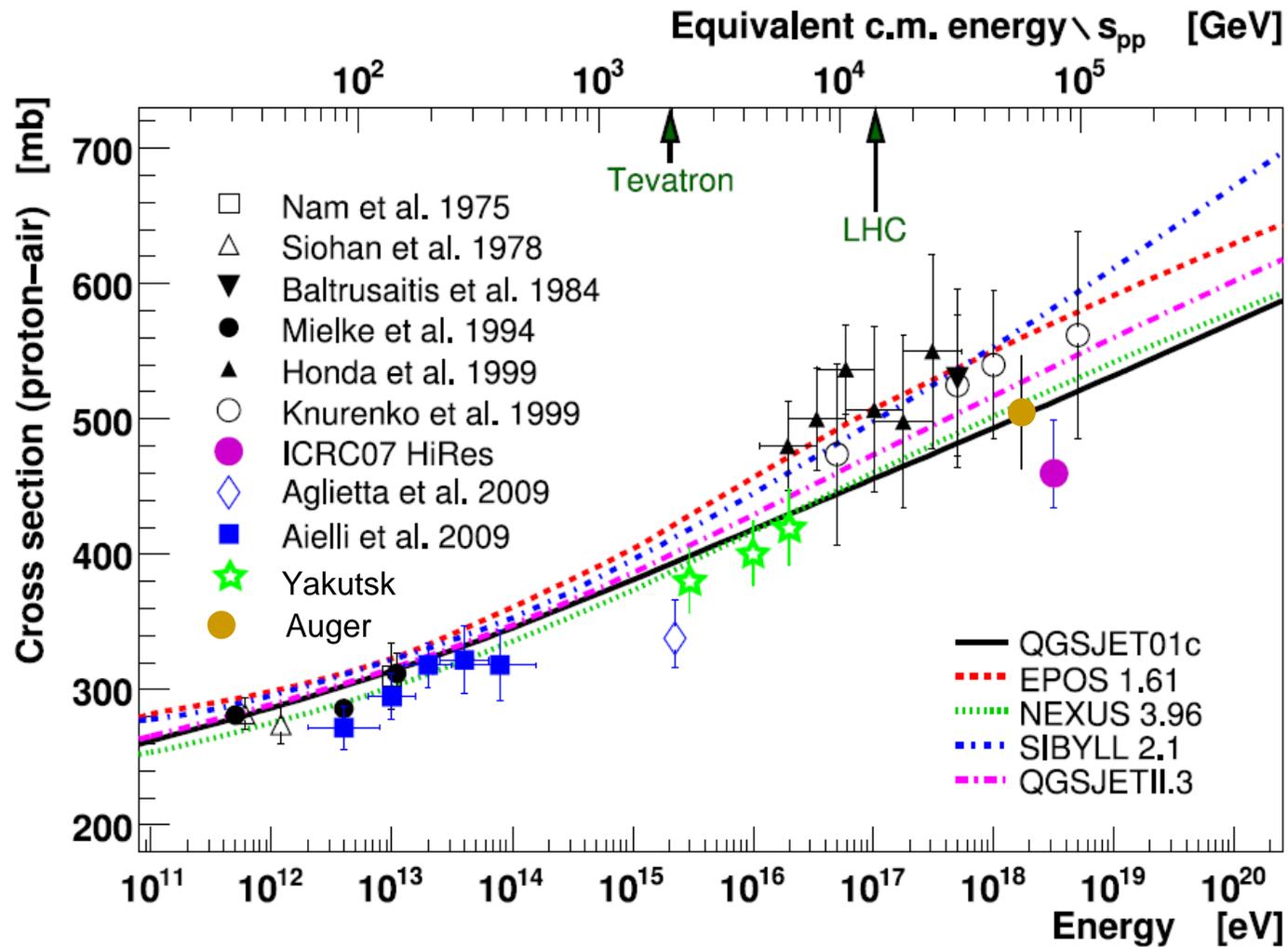
**Correzione su k:** dal valore medio della deviazione ottenuta per i flussi (p+He) di *Hoerandel*, *Jacee* e *RunJob* rispetto al campione di soli protoni

Differenza tra i diversi flussi → **errore sistematico su k** dovuto al contributo da parte dei nuclei di He

# La sezione d'urto inelastica p-Aria



# Sezione d'urto p-aria con risultati più recenti



## Dalla $\sigma(\text{p-air})$ alla $\sigma(\text{p-p})$ totale

Vari modelli permettono di ottenere la  $\sigma_{\text{p-p}}^{\text{tot}}$  a partire dalla  $\sigma_{\text{p-air}}^{\text{inel}}$ :

- Teoria di Glauber – Matthiae
- Durand – Pi
- Wibig – Sobczynska
- ....

I diversi modelli sono in accordo entro pochi % nel range di energia di nostro interesse → errore sistematico: 5%

Nstrip	$E_{\log}$ (TeV)	$\sigma_{\text{pAir}}$ (mb)	$\sigma_{\text{pp}}$ (mb)
500 ÷ 1000	4	$272 \pm 13 \pm 9$	$43 \pm 3 \pm 5$
1500 ÷ 2000	10	$295 \pm 10 \pm 14$	$48 \pm 3 \pm 6$
3000 ÷ 4000	20	$318 \pm 15 \pm 8$	$54 \pm 4 \pm 6$
5000 ÷ 8000	40	$322 \pm 15 \pm 20$	$56 \pm 4 \pm 7$
> 8000	80	$318 \pm 15 \pm 21$	$54 \pm 4 \pm 8$

# Incertezze sistematiche

- ✓ **Variazioni della profondità di atmosfera (pressione)**

$h_0^{\text{MC}} = 606.7 \text{ g/cm}^2$  (4300m s.l.m. standard atm.),

$h_0^{\text{MC}} / \langle h_0 \rangle = 0.988 \pm 0.007 \rightarrow$  **impatto sull'analisi per la  $\sigma$ : ~1%**

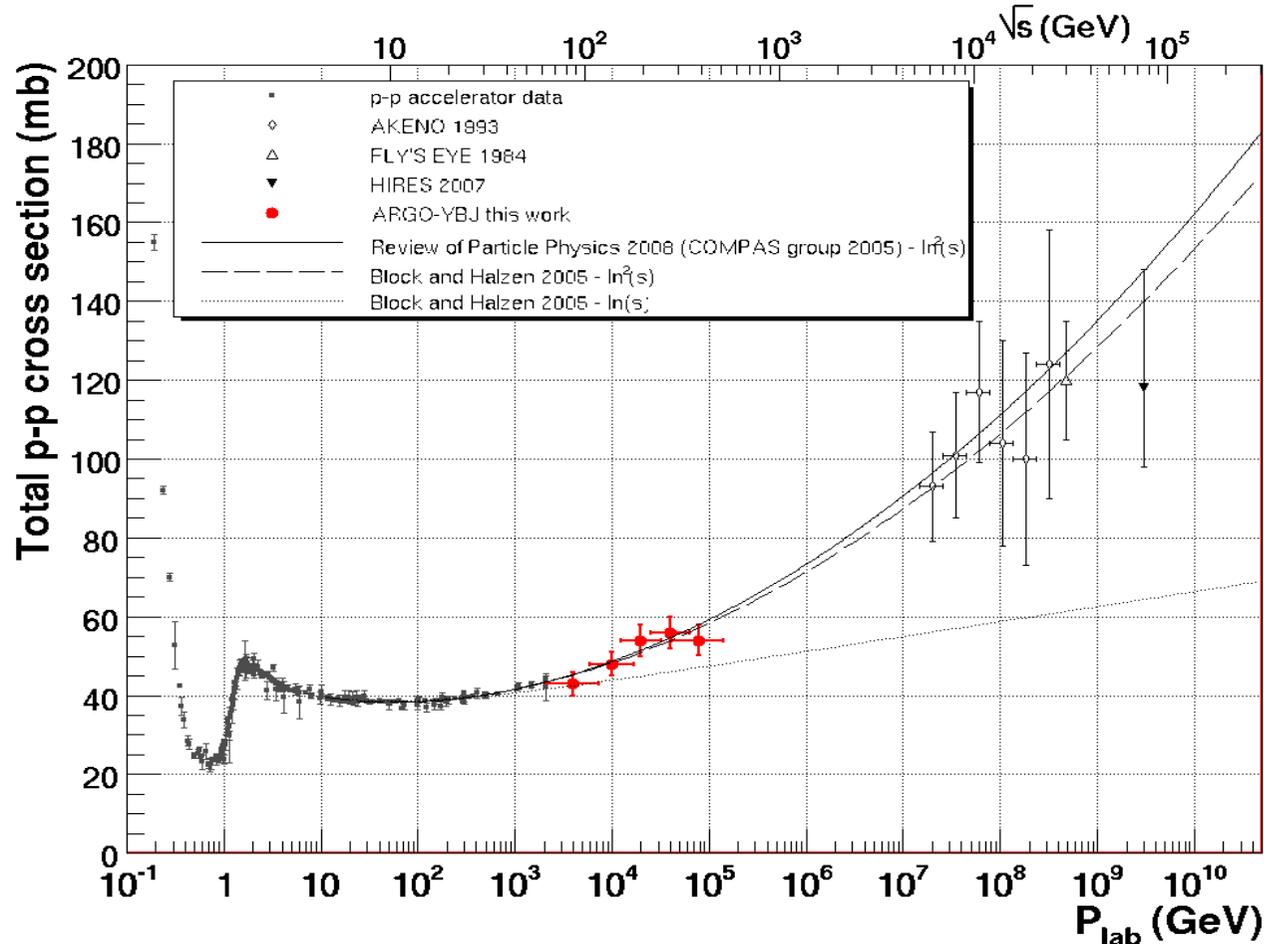
- ✓ **Incertezza su  $\lambda^{\text{(MC)}}_{\text{int}}$ : RMS della distribuzione MC  $\rightarrow$  **2÷3 %****

- ✓ **Incertezza sul contributo dei nuclei “pesanti”:** dalle pendenze per (p+He) da diversi flussi (*Hoerandel, Jacee, RunJob*)  $\rightarrow$  **1÷5 %**

- ✓ **Incertezza su “ $\sigma_{\text{p-air}} \rightarrow \sigma_{\text{p-p}}$ ”:** confrontando diversi modelli  $\rightarrow$  **5 %**

**Errori statistici e sistematici propagati indipendentemente**

# Sezione d'urto totale p-p

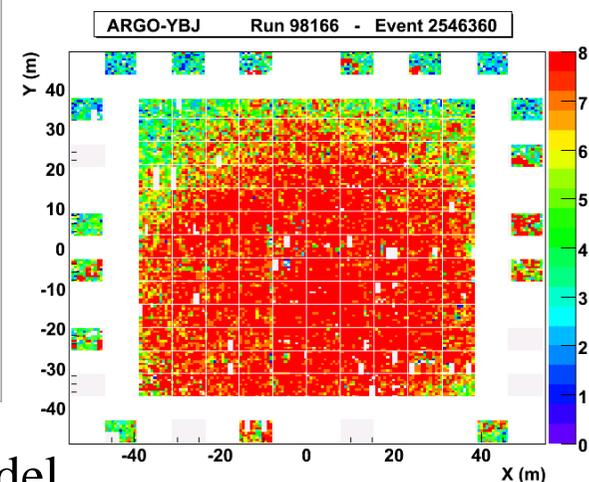
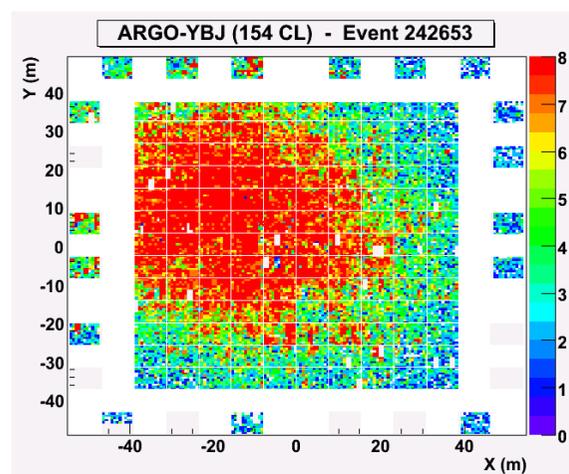
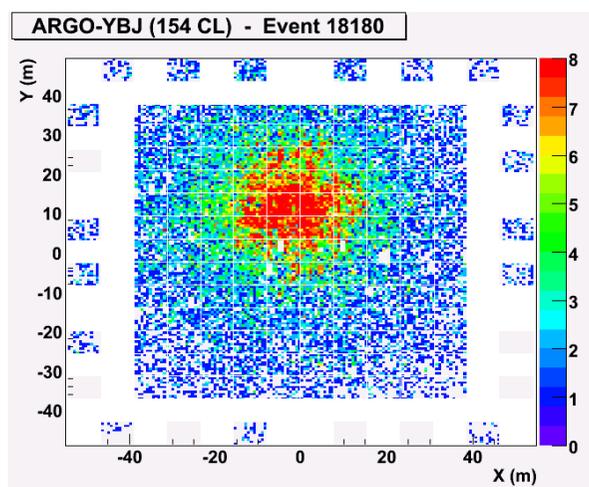


**Il risultato di ARGO-YBJ sembra favorire un andamento asintotico con l'energia del tipo  $\propto \log^2(s)$**

# Saturazione del digitale

Alle energie più alte l'informazione spaziale digitale (strip) è saturata (max densità di particelle  $\sim 20/m^2$ )

## Strip pattern



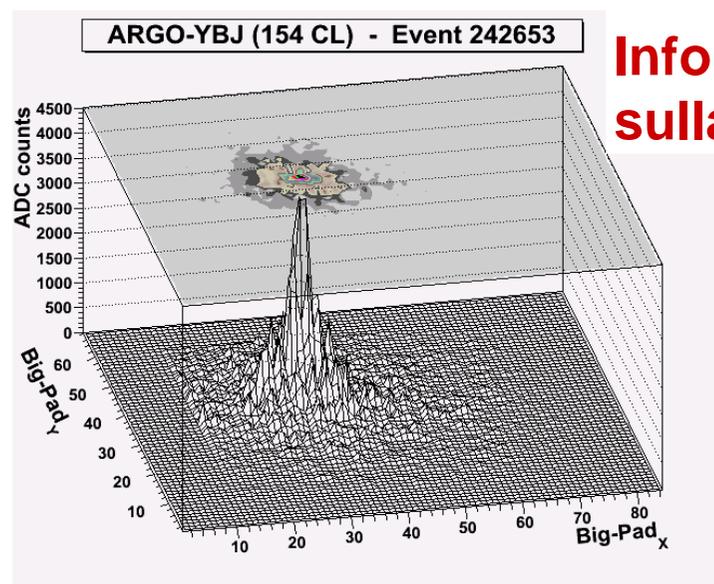
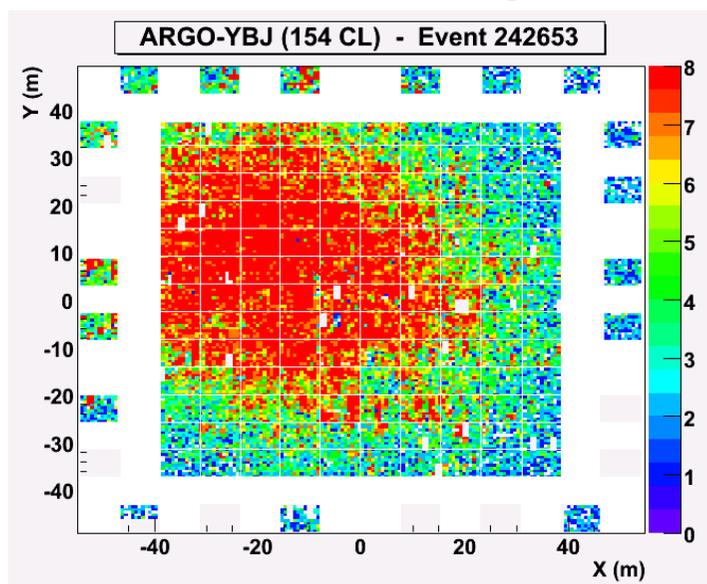
**Scarsa risoluzione** nella ricostruzione della posizione del **core**, della **direzione** di arrivo, della **distribuzione laterale** (specialmente in prossimità del core), ...

# Sistema Analogico

La lettura della **carica analogica degli RPC** indotta sulle cosiddette Big-Pad (Sistema Analogico) permette di:

- (a) ricostruire gli eventi prodotti da primari di **energia** fino al  $\sim$  **PeV**
- (b) misurare densità di particelle dell'ordine di  $10^4$  /m<sup>2</sup>

## Pattern di Strip

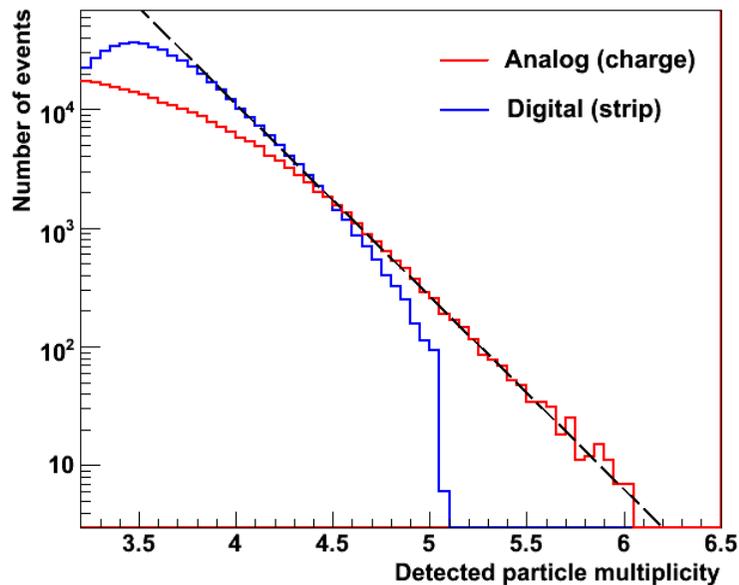


**Informazioni  
sulla carica**

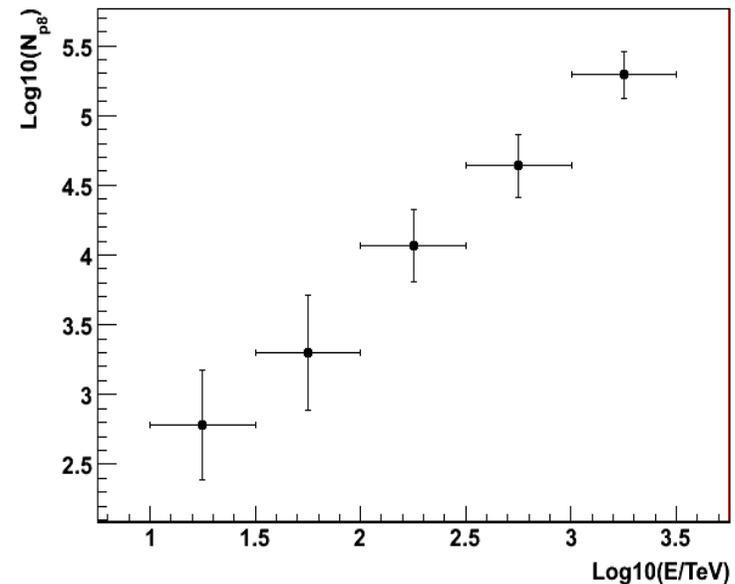
# Estensione della misura ad energie più alte

Si sta ora lavorando all'estensione della misura ad energie dei protoni nell'intervallo  $\sim (100-1000)$  TeV utilizzando le informazioni del **Sistema Analogico** (lettura della carica analogica degli RCP)

**Dati:** molteplicità di particelle sul rivelatore centrale ricostruita dalla carica analogica

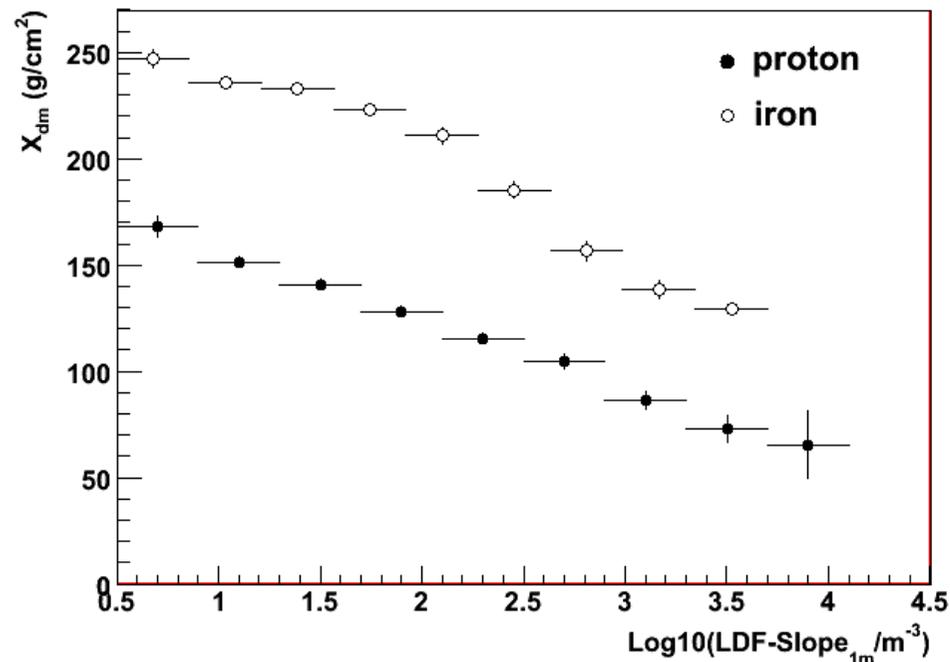


**MC:** correlazione tra numero di particelle entro 8m dal core ( $N_{p8}$ ) ed Energia dello sciame



## MC: $X_{DM}$ vs LDF-Slope

Correlazione tra la pendenza di LDF ad una data distanza dal core e l'età dello sciame (espressa dalla distanza,  $X_{DM}$ , del massimo dello sciame dal livello del rivelatore):



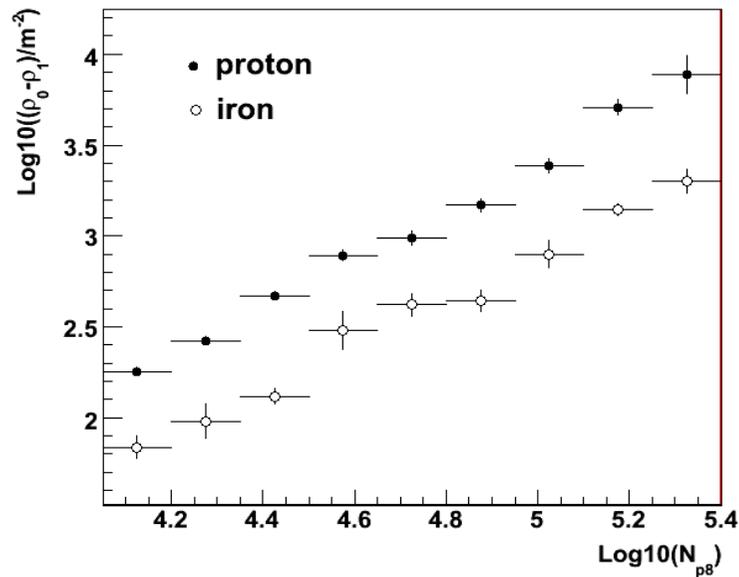
Questa potrebbe essere usata per vincolare la posizione di  $X_{max}$ , selezionando così sciame di ~ uguale età.

# Discriminazione della massa del primario

MC:  $(\rho_0 - \rho_1)$  vs  $N_{p8}$

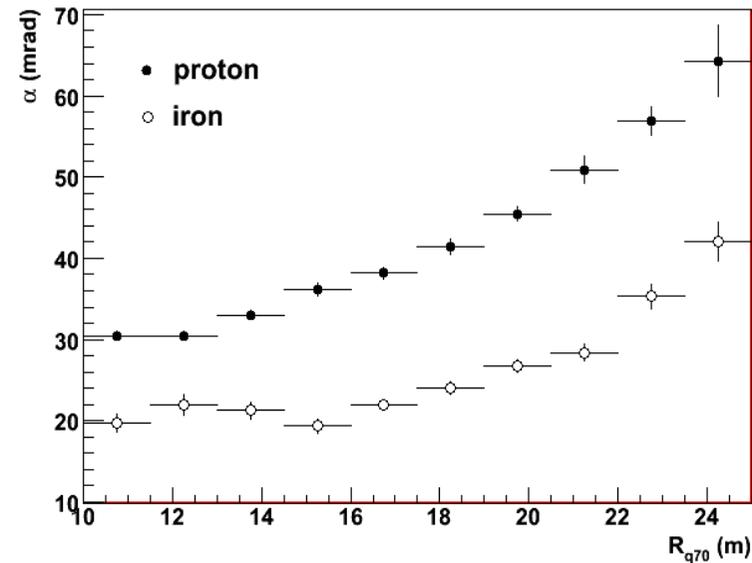
$\rho_0 = \rho_{\text{part}}$  on the core

$\rho_1 = \rho_{\text{part}}$  at 1m from core



MC:  $\alpha$  (mrad) vs  $R_{q70}$  (m)

$\alpha$  = conicity of shower front fit  
 $R_{q70}$  = radius including 70% of particles

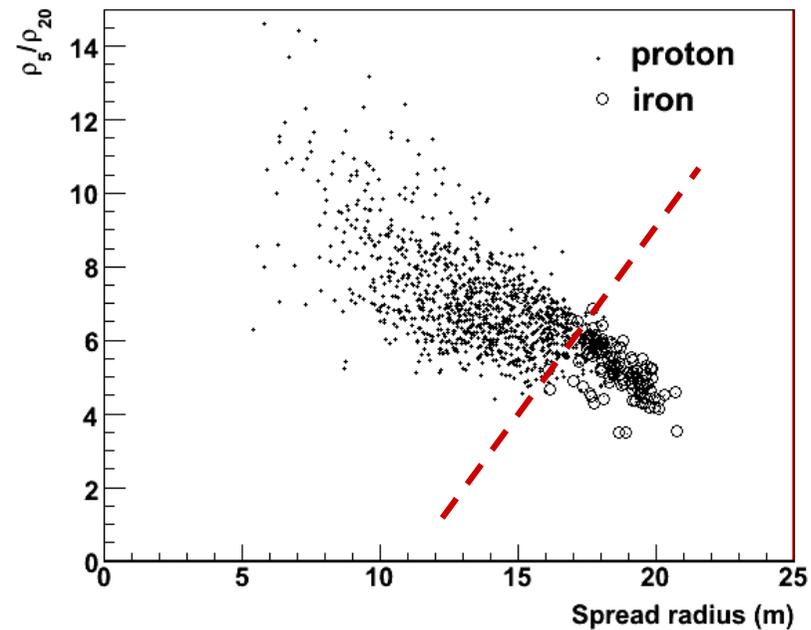
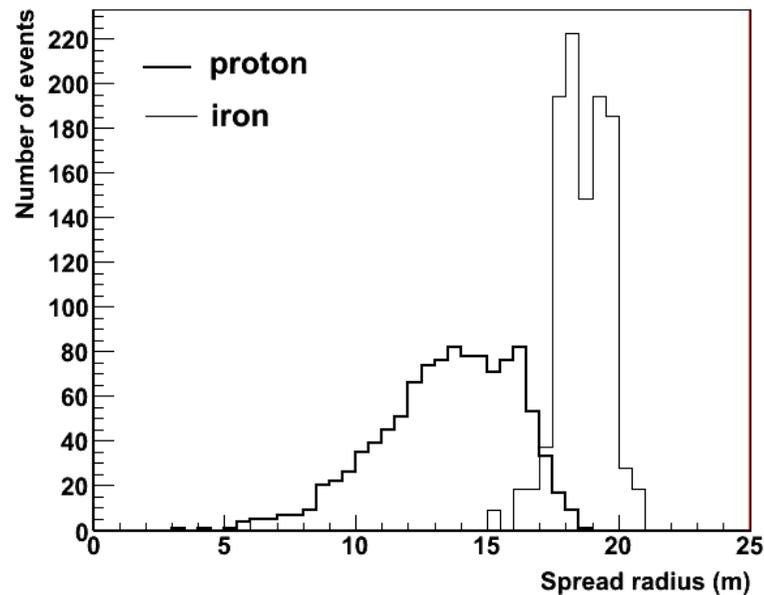


# Reiezione dei primari pesanti: ulteriori osservabili ...

**Q-Rspread (m):**

$$R_{spread} = \frac{\sum r_{BigPad_i-Core} \times N_{part_i}}{\sum N_{part_i}}$$

**$\rho_5/\rho_{20}$  vs Q-Rspread**



# Conclusioni

- La ricostruzione degli eventi in ARGO-YBJ tiene conto delle caratteristiche e peculiarità del rivelatore utilizzato.
- L'applicazione della tecnica dell'attenuazione di flusso ai dati ricostruiti ha permesso di misurare **la sezione d'urto inelastica p-aria e la sezione d'urto totale p-p in una regione di energia finora scarsamente esplorata.**
- Nell'analisi è stata estensivamente impiegata la **simulazione Monte Carlo** (la cui affidabilità è stata controllata nei vari step), allo scopo di:
  - mettere a punto gli algoritmi di ricostruzione degli eventi
  - suddividere il campione di eventi in intervalli di E del primario
  - individuare e regolare i tagli di selezione degli eventi nell'analisi
  - determinare il parametro k che mette in relazione l'attenuazione osservata della frequenza di eventi in funzione di  $\theta_{\text{zenit}}$  con la lunghezza di interazione
  - valutare le varie incertezze sistematiche, quale quella derivante dalla presenza nei RC di primari più pesanti del protone.
- E' in corso l'analisi per estendere la misura ad Energie più alte ( $\sim$ PeV).