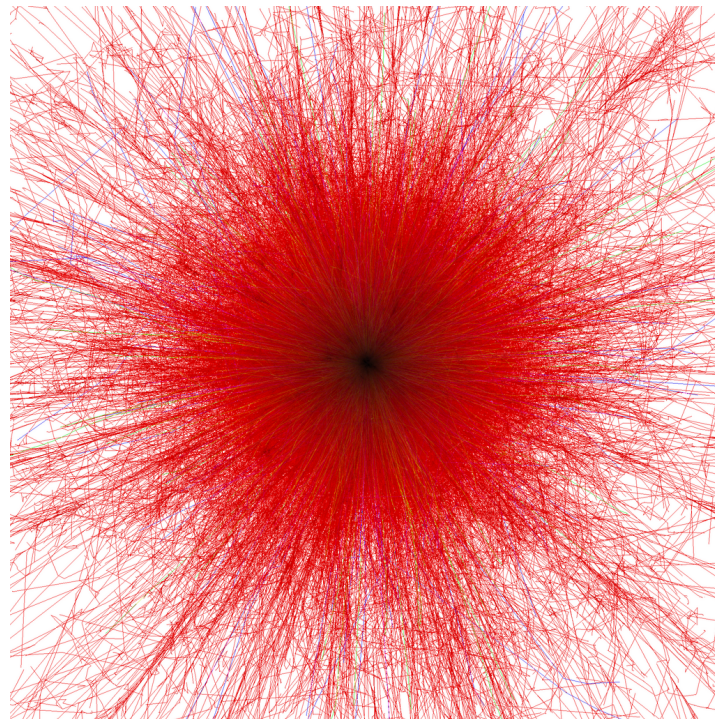


Lo spettro dei raggi cosmici misurato da KASCADE-Grande nel range 10^{16} - 10^{18} eV
utilizzando il modello di interazione adronica SIBYLL



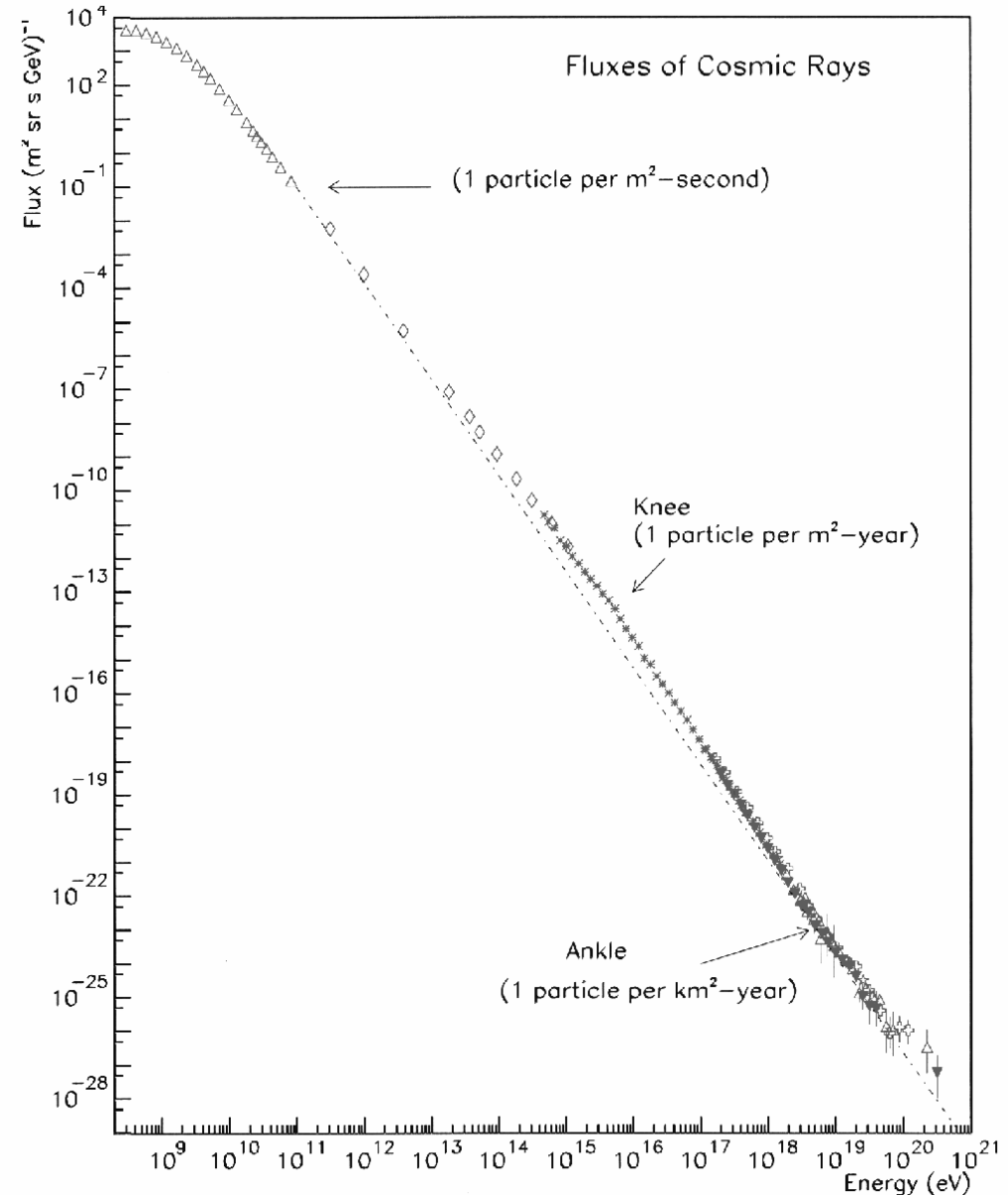
Alessandro Costanza

I raggi cosmici: Generalità

Flusso $\sim E^{-a}$

La variazione dell'indice spettrale a da 2.7 a 3.1 nell'intorno dei 10^{16} eV è chiamata "ginocchio" dei raggi cosmici.

Uno degli obiettivi dell'esperimento KASCADE-Grande è di indagare nella regione 10^{16} - 10^{18} eV

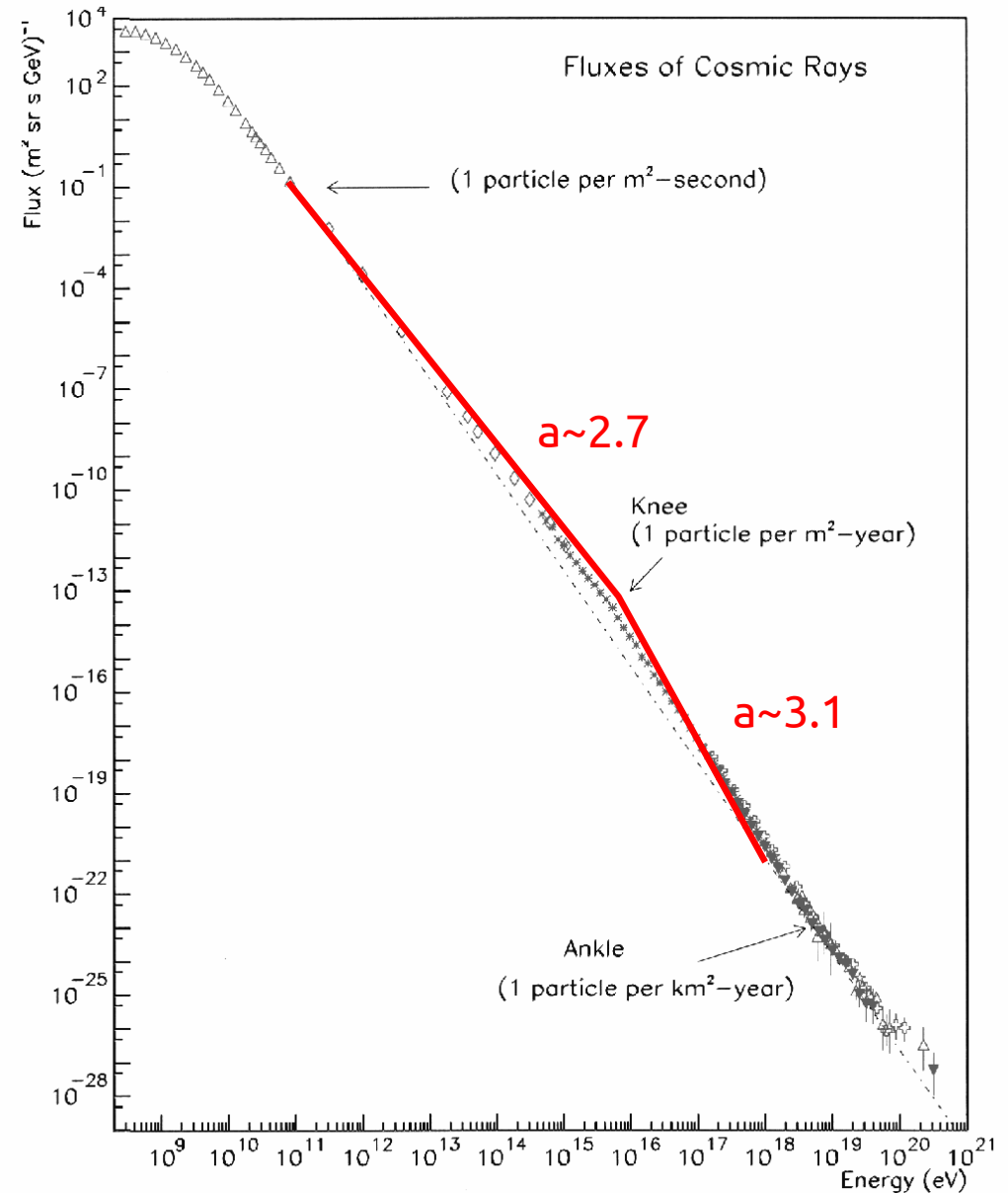


I raggi cosmici: Generalità

Flusso $\sim E^{-a}$

La variazione dell'indice spettrale a da 2.7 a 3.1 nell'intorno dei 10^{16} eV è chiamata "ginocchio" dei raggi cosmici.

Uno degli obiettivi dell'esperimento KASCADE-Grande è di indagare nella regione 10^{16} - 10^{18} eV



I raggi cosmici: l'importanza del ginocchio

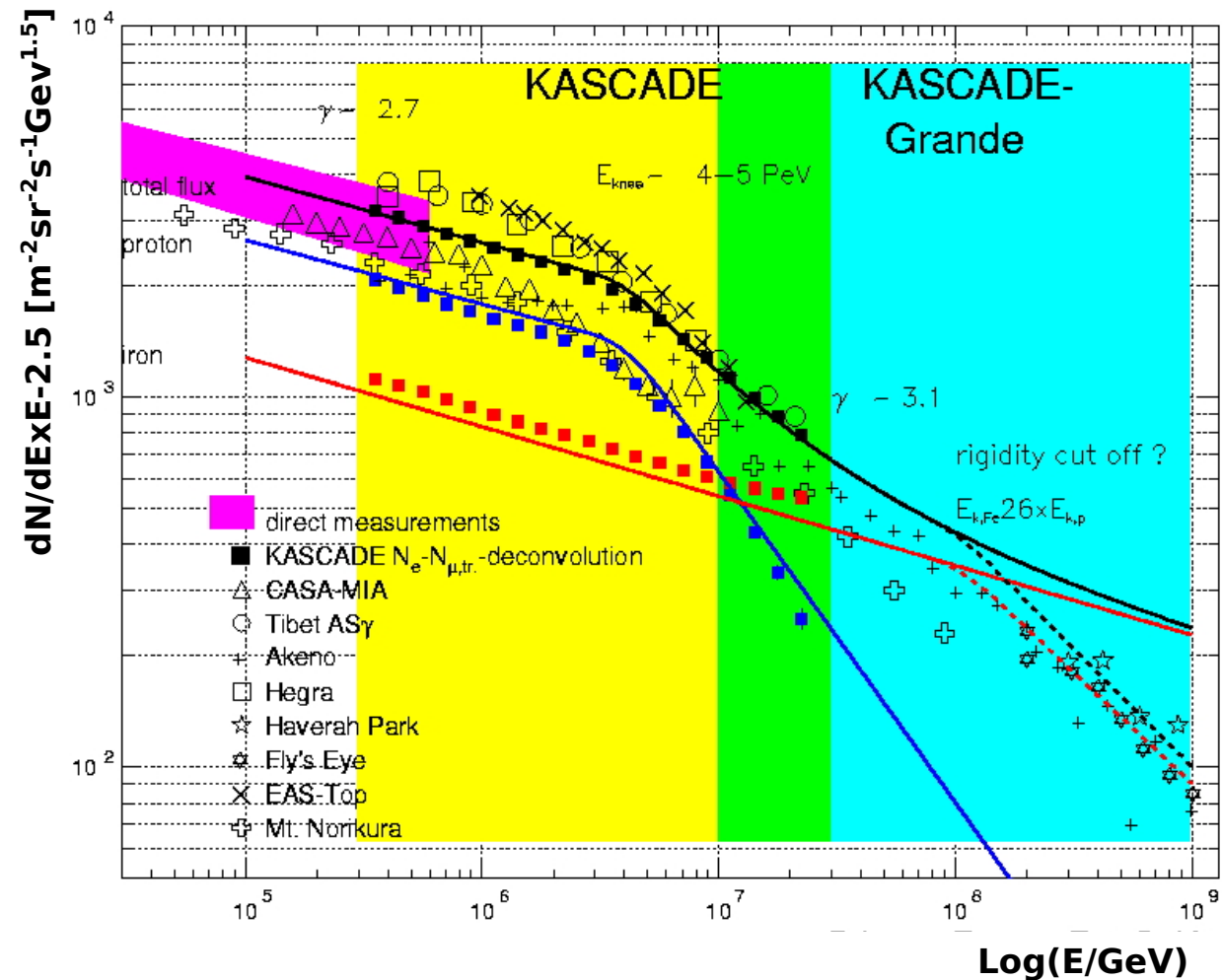
Gli esperimenti EAS-TOP e KASCADE osservano un ginocchio dei primari "leggeri" intorno all'energia di $3-4 \cdot 10^{15}$ eV

Nel range di energia analizzato da KASCADE-Grande ci si aspetta di osservare un ginocchio dei primari "pesanti"

$$R = \frac{E}{Ze}$$

$$E_{knee}^H = R_{limite} Ze \approx 3-4 \cdot 10^{15} \text{ eV}$$

$$E_{knee}^{Fe} = 26 \cdot R_{limite} = 26 \cdot E_{knee}^H \approx 7-10 \cdot 10^{16}$$



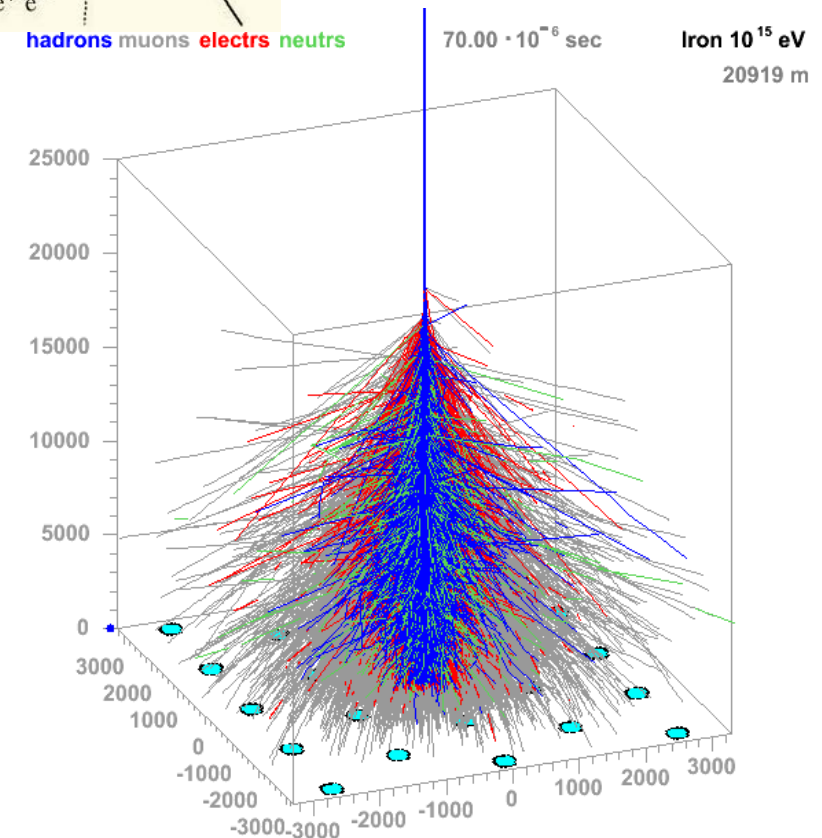
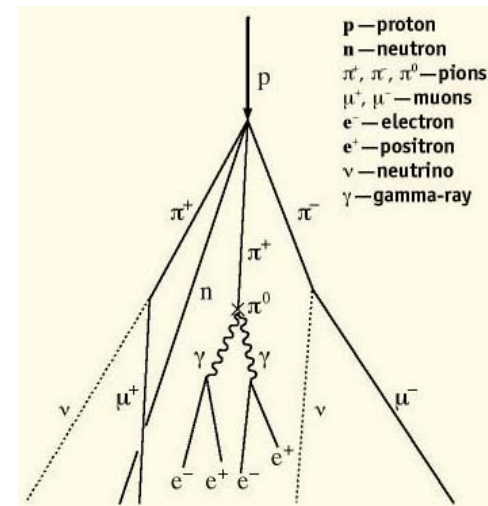
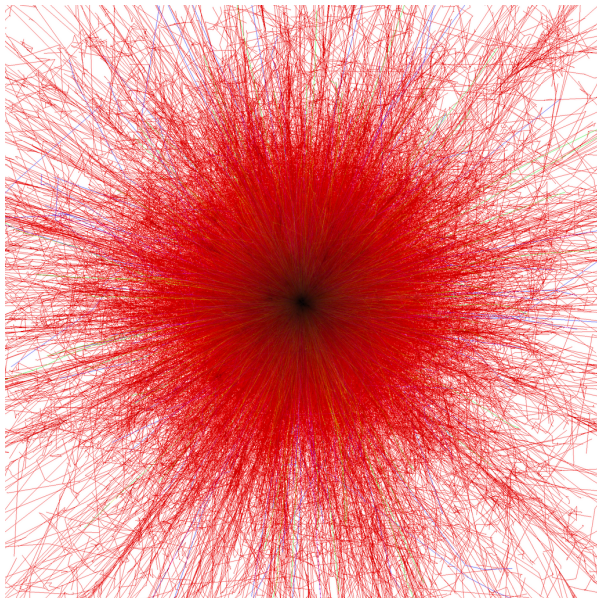
L'interazione fra primario e l'atmosfera: Extensive Air Shower

Osservabili fisiche misurabili studiando gli EAS:

- Distribuzione laterale
- Tempo di arrivo
- Conteggi sulle particelle rivelate: N_{ch}, N_{μ}, N_e

Tramite queste osservabili è possibile ricostruire:

- Direzione di arrivo del primario
- Energia del primario
- Composizione chimica del primario



L'esperimento Cascade-Grande: **K**arlsruhe **S**hower **C**ore and **A**rray **D**etector - Grande

KASCADE:

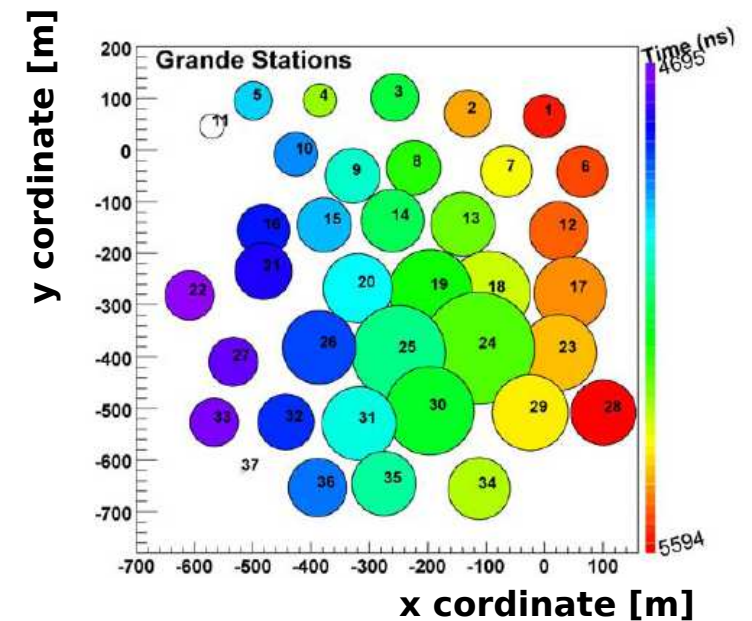
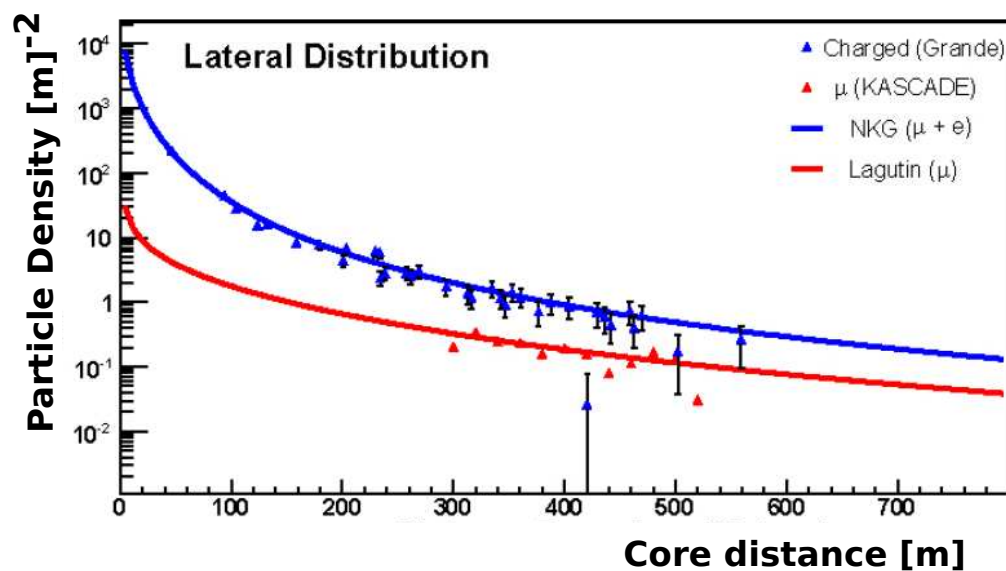
Array da 252 rivelatori su 200x200 m

Particelle rivelate: μ, e

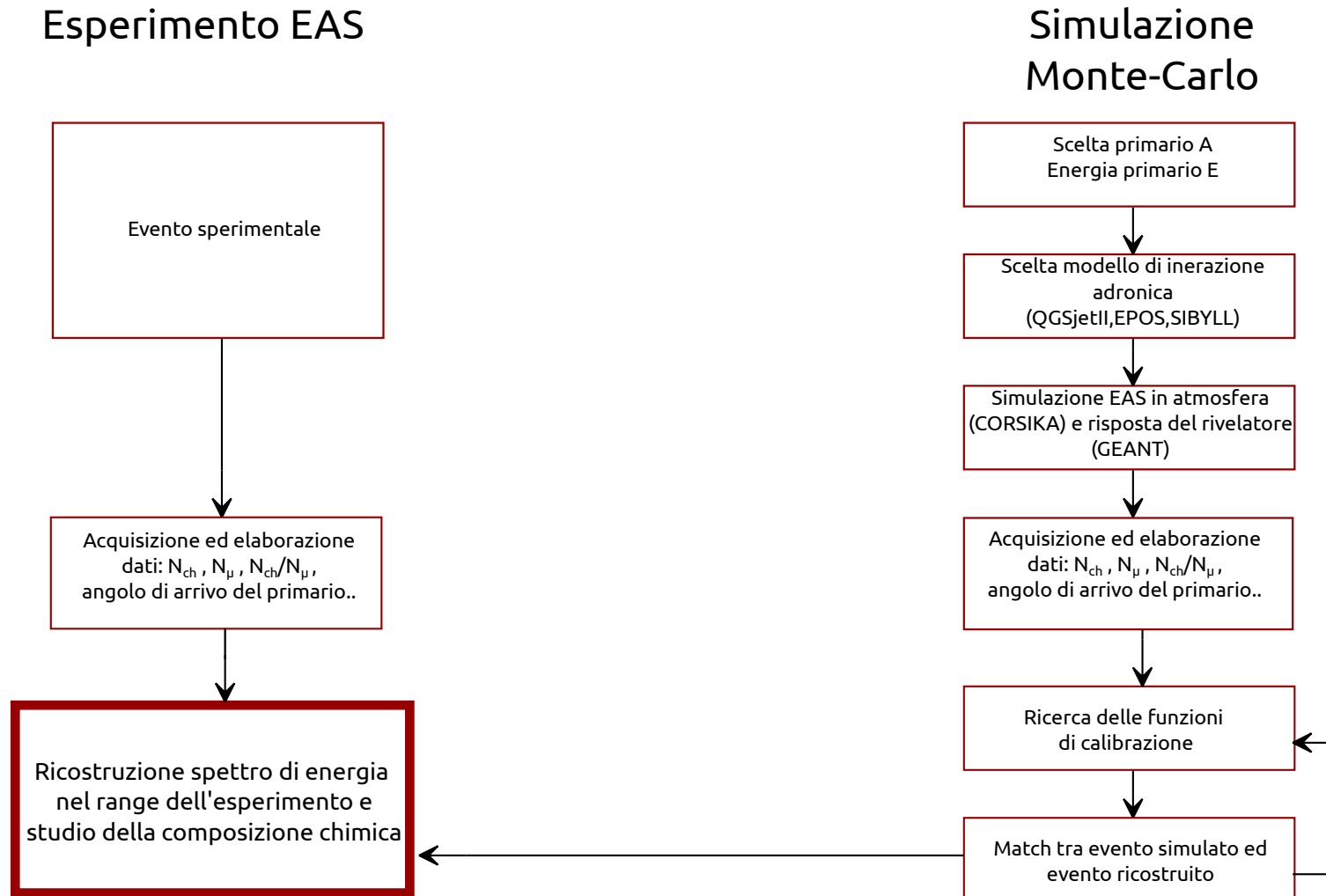
Grande:

Array da 37 rivelatori su 700x700 m

Particelle rivelate: $\mu+e$ (charged particle)



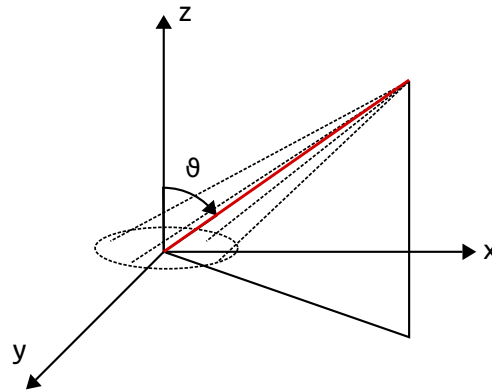
Studio EAS : simulazioni montecarlo guida per l'interpretazione dei dati sperimentali



Studio simulazioni con SIBYLL: Ricerca funzioni di calibrazione per primari di H e Fe

Dati analizzati separatamente in
5 bin angolari diversi: 5 funzioni di calibrazione

- Bin 1: $\theta < 16.7^\circ$
- Bin 2: $16.7^\circ < \theta < 24.0^\circ$
- Bin 3: $24.0^\circ < \theta < 29.9^\circ$
- Bin 4: $29.9^\circ < \theta < 35.1^\circ$
- Bin 5: $35.1^\circ < \theta < 40.0^\circ$

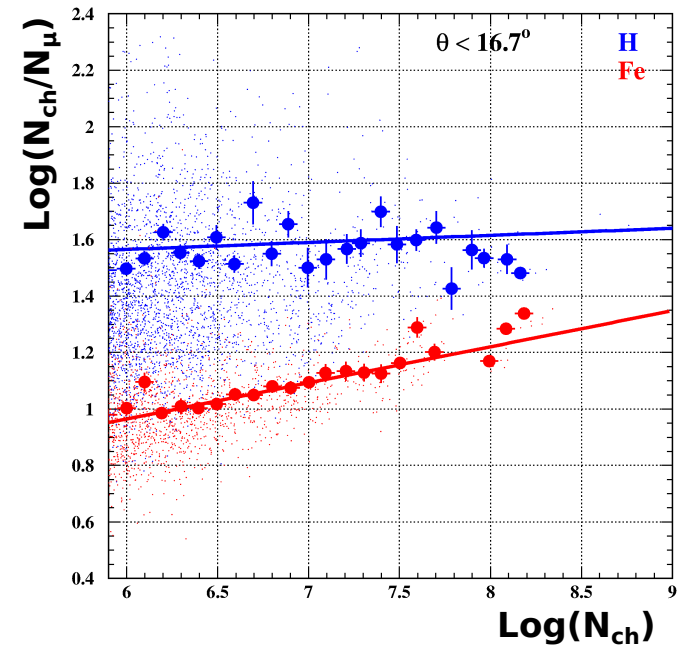
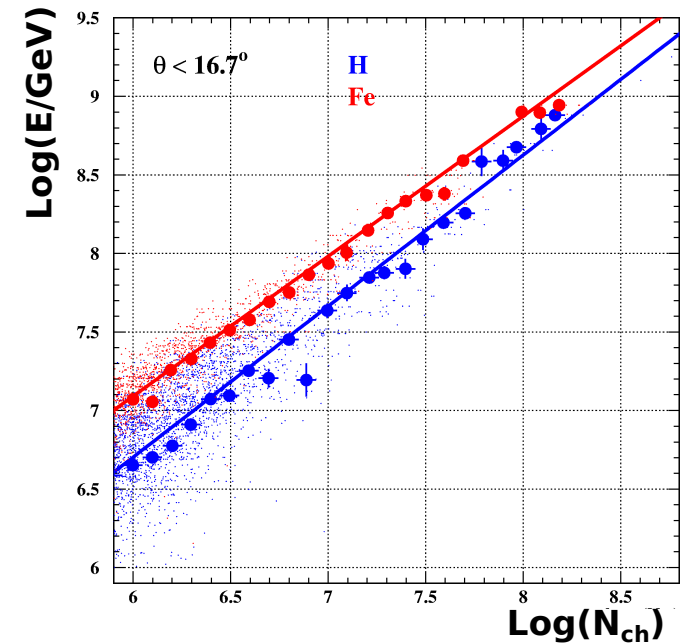


$$\log(E[GeV])_{H,Fe} = a_{H,Fe} + b_{H,Fe} \cdot \log(N_{ch})$$

$$\log(N_{ch}/N_{\mu})_{H,Fe} = c_{H,Fe} + d_{H,Fe} \cdot \log(N_{ch})$$

$$k = \frac{\log(N_{ch}/N_{\mu}) - \log(N_{ch}/N_{\mu})_H}{\log(N_{ch}/N_{\mu})_{Fe} - \log(N_{ch}/N_{\mu})_H}$$

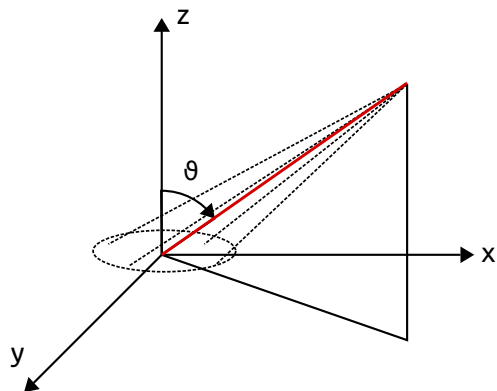
$$\log(E[GeV]) = [a_H + (a_{Fe} - a_H) \cdot k] \cdot \log(N_{ch}) + b_H + (b_{Fe} - b_H) \cdot k$$



Studio simulazioni con SIBYLL: Ricerca funzioni di calibrazione per primari di H e Fe

Dati analizzati separatamente in
5 bin angolari diversi: 5 funzioni di calibrazione

- Bin 1: $\theta < 16.7^\circ$
- Bin 2: $16.7^\circ < \theta < 24.0^\circ$
- Bin 3: $24.0^\circ < \theta < 29.9^\circ$
- Bin 4: $29.9^\circ < \theta < 35.1^\circ$
- Bin 5: $35.1^\circ < \theta < 40.0^\circ$

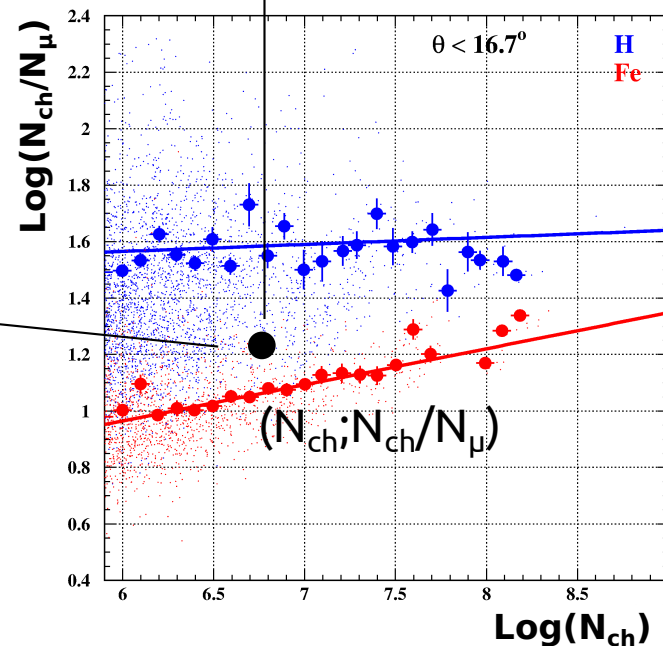
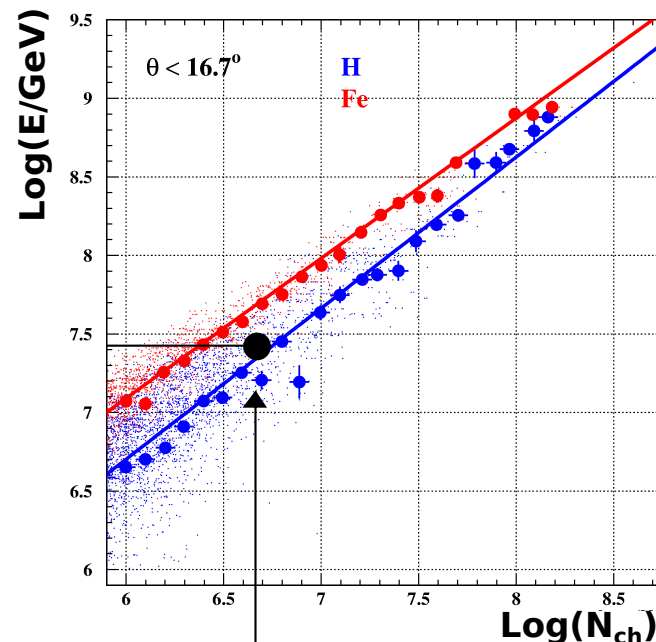


$$\log(E[GeV])_{H,Fe} = a_{H,Fe} + b_{H,Fe} \cdot \log(N_{ch})$$

$$\log(N_{ch}/N_{\mu})_{H,Fe} = c_{H,Fe} + d_{H,Fe} \cdot \log(N_{ch})$$

$$k = \frac{\log(N_{ch}/N_{\mu}) - \log(N_{ch}/N_{\mu})_H}{\log(N_{ch}/N_{\mu})_{Fe} - \log(N_{ch}/N_{\mu})_H}$$

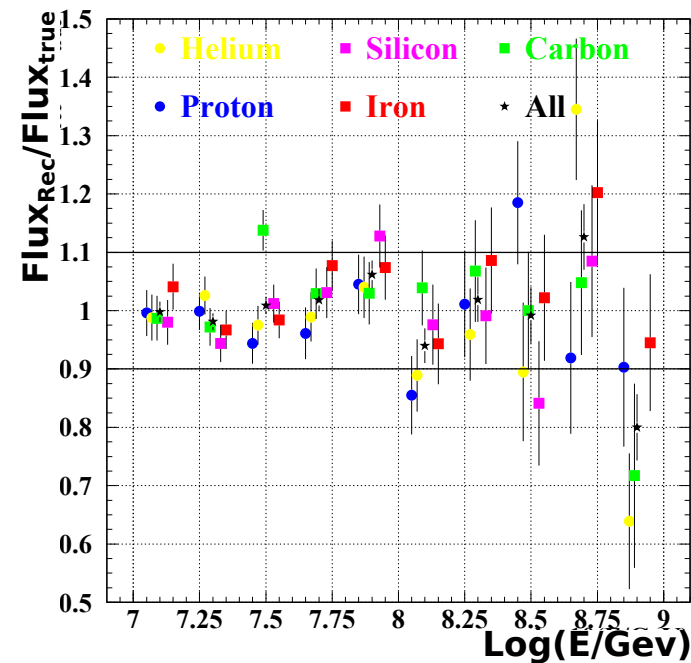
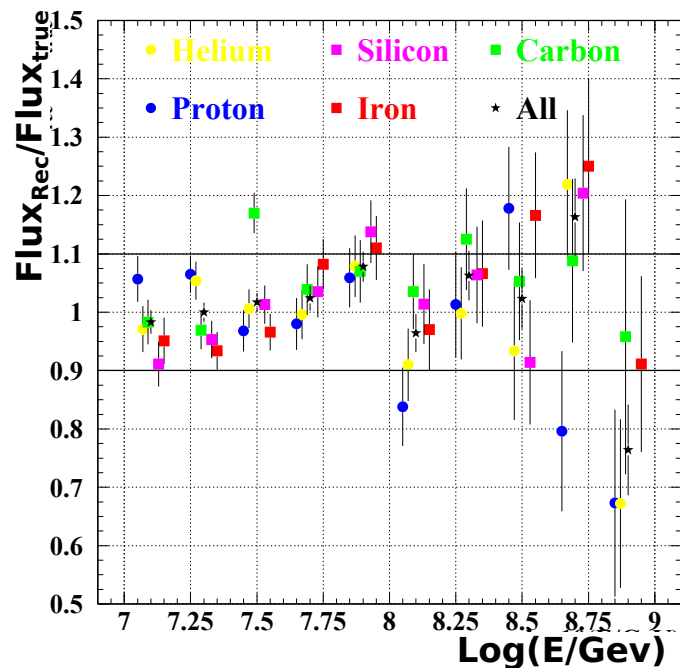
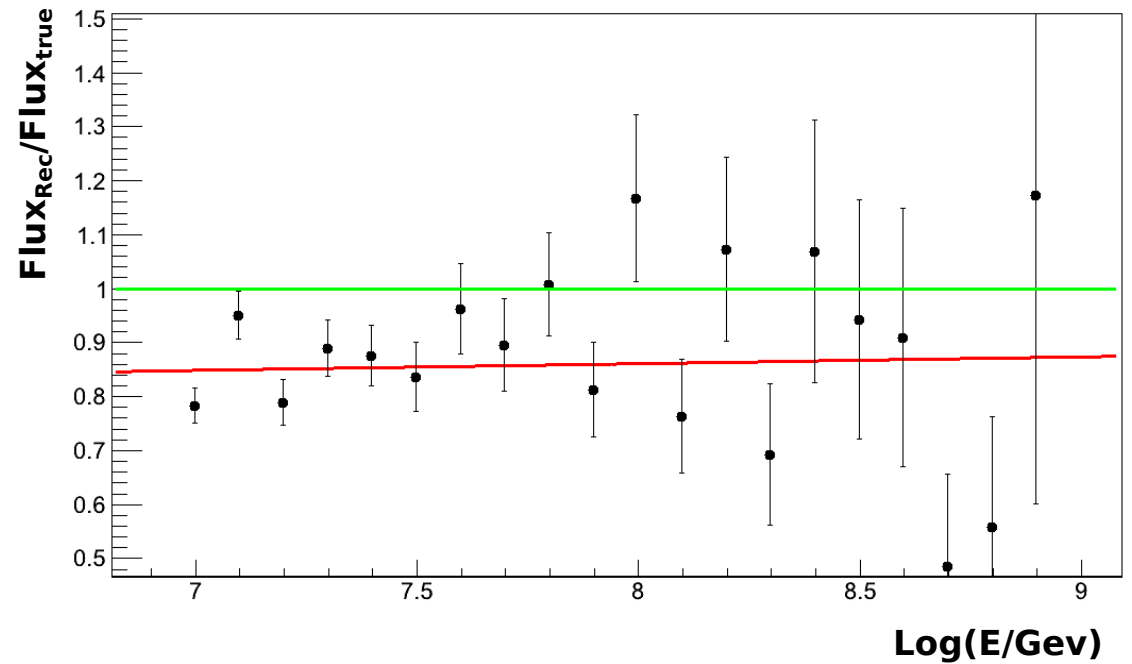
$$\log(E[GeV]) = [a_H + (a_{Fe} - a_H) \cdot k] \cdot \log(N_{ch}) + b_H + (b_{Fe} - b_H) \cdot k$$



Studio simulazioni con SIBYLL: Scelta delle funzioni di calibrazione

$$\log(E[GeV])_{H,Fe} = a_{H,Fe} + b_{H,Fe} \cdot \log(N_{ch})$$

$$\log(N_{ch}/N_{\mu})_{H,Fe} = c_{H,Fe} + d_{H,Fe} \cdot \log(N_{ch})$$

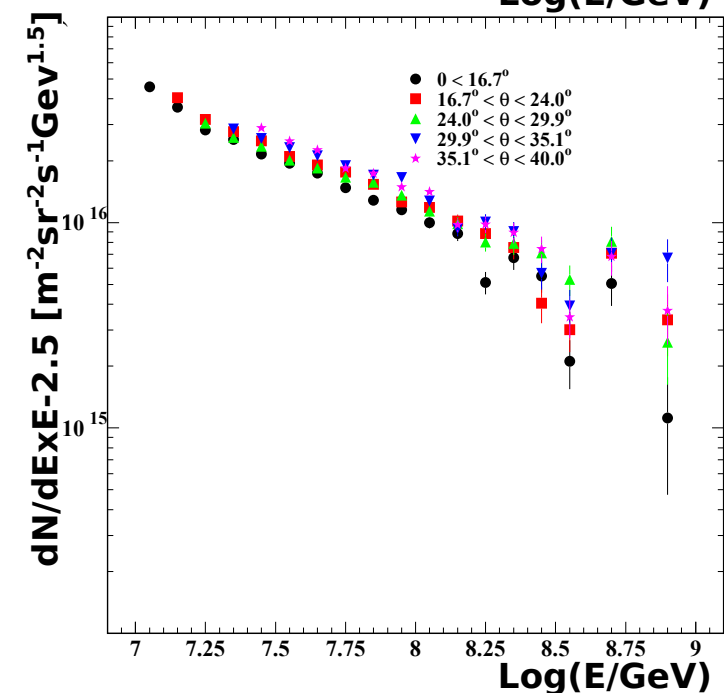
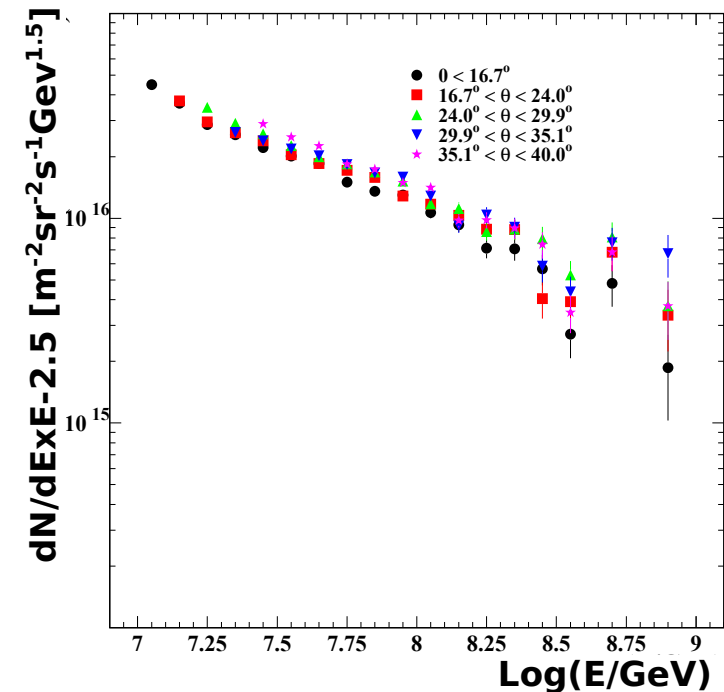


Ricostruzione all-particle spectrum di KASCADE-Grande usando le calibrazioni di SIBYLL

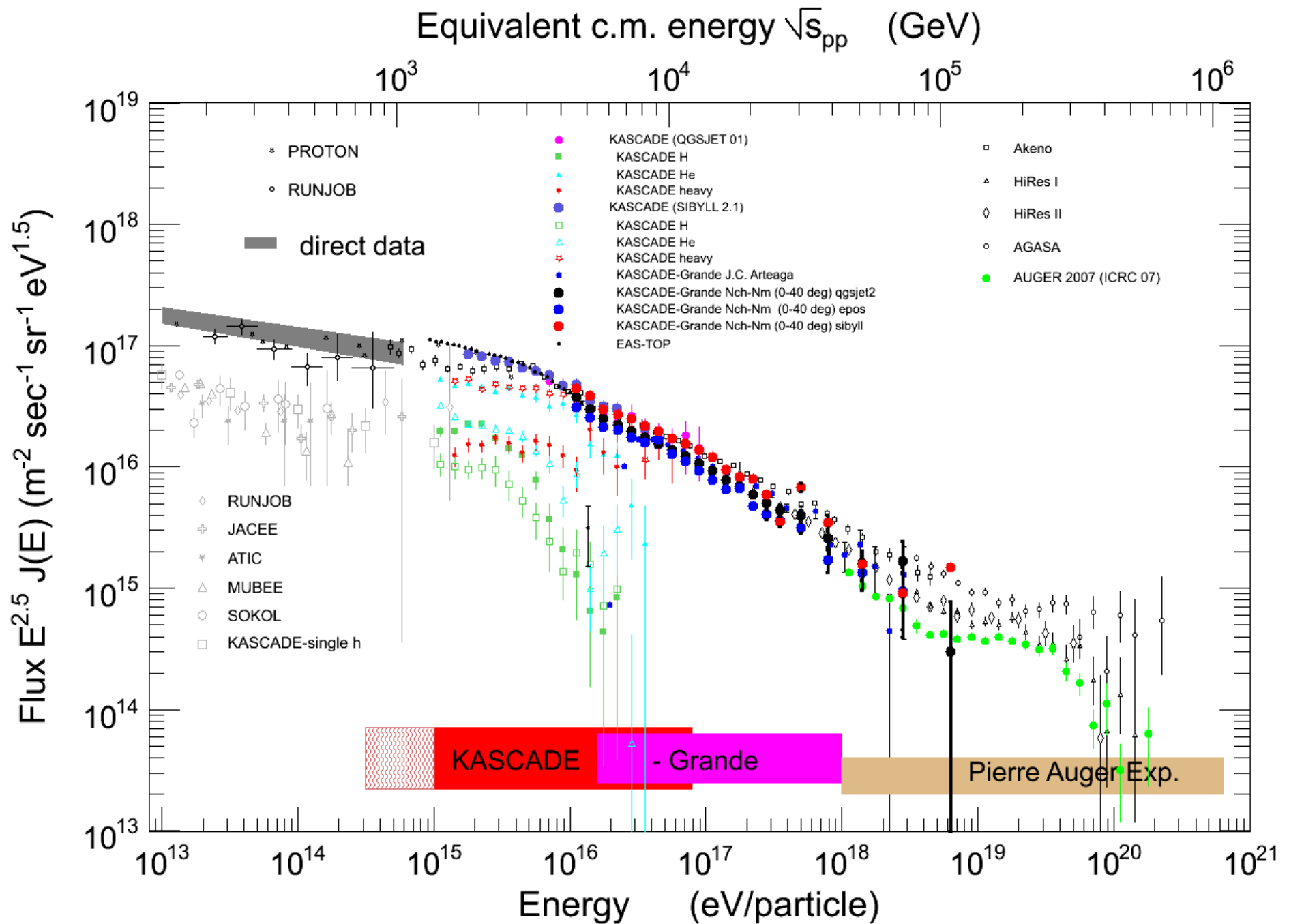
Il flusso differenziale ricostruito non separando i vari primari è stato moltiplicato per $E^{-2.5}$ per evidenziare strutture più fini.

Per osservare un cambiamento dell'indice spettrale è opportuno ricostruire il flusso separando i primari.

Il flusso ricostruito con 2 valide funzioni di calibrazione risulta praticamente indistinguibile se non alle alte energie dove però gli eventi sono più rari e la statistica diminuisce.

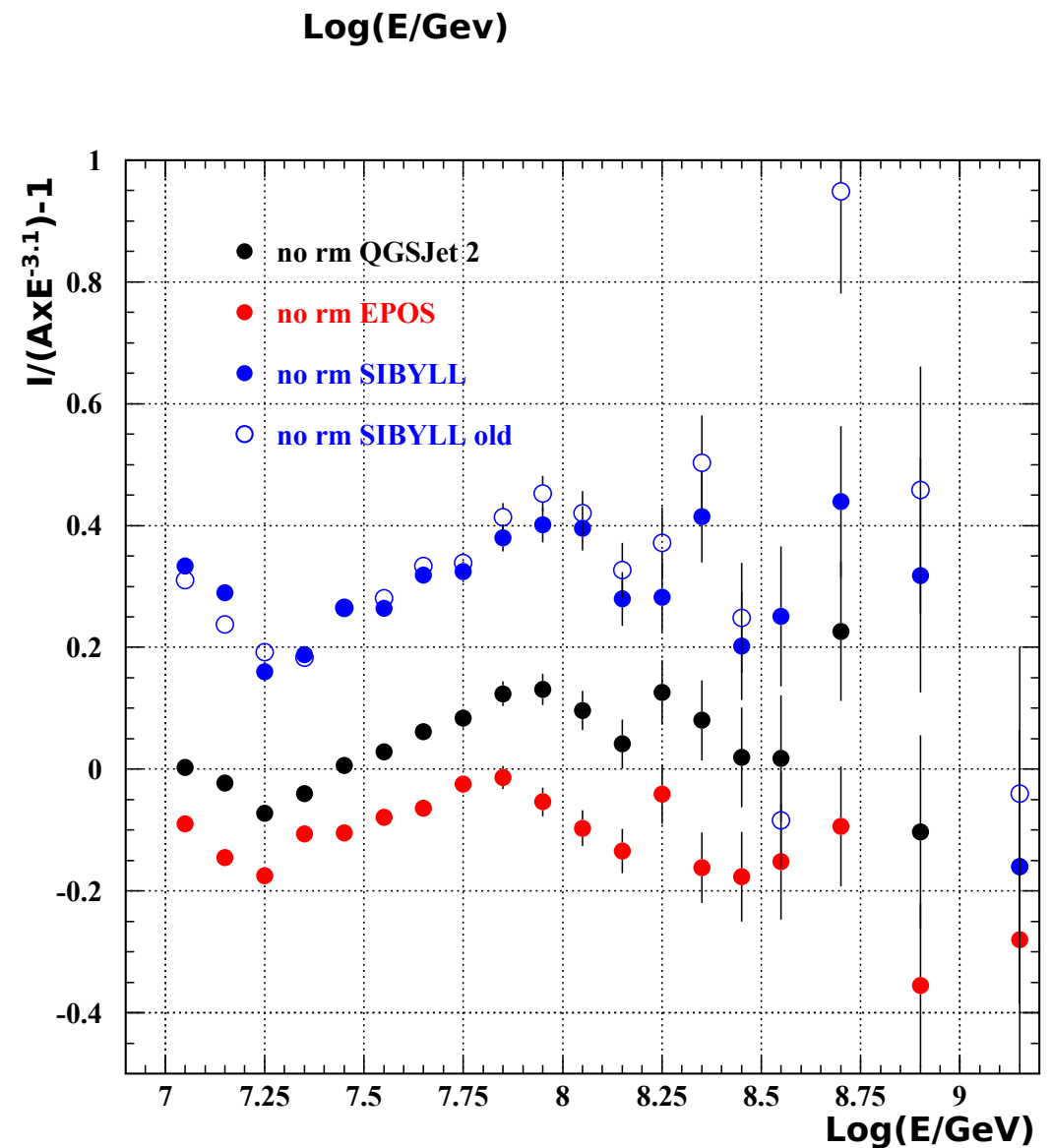


Stato attuale dei principali esperimenti sui raggi cosmici analizzati con diversi modelli adronici



Studio simulazioni con SIBYLL: Parametrizzazioni differenti vs. differente modello adronico

La scelta di diverse parametrizzazioni per le funzioni di calibrazioni è trascurabile rispetto la scelta di un diverso modello di interazione adronica per l'interpretazione dei dati.



Analisi composizione chimica dei raggi cosmici utilizzando il parametro k

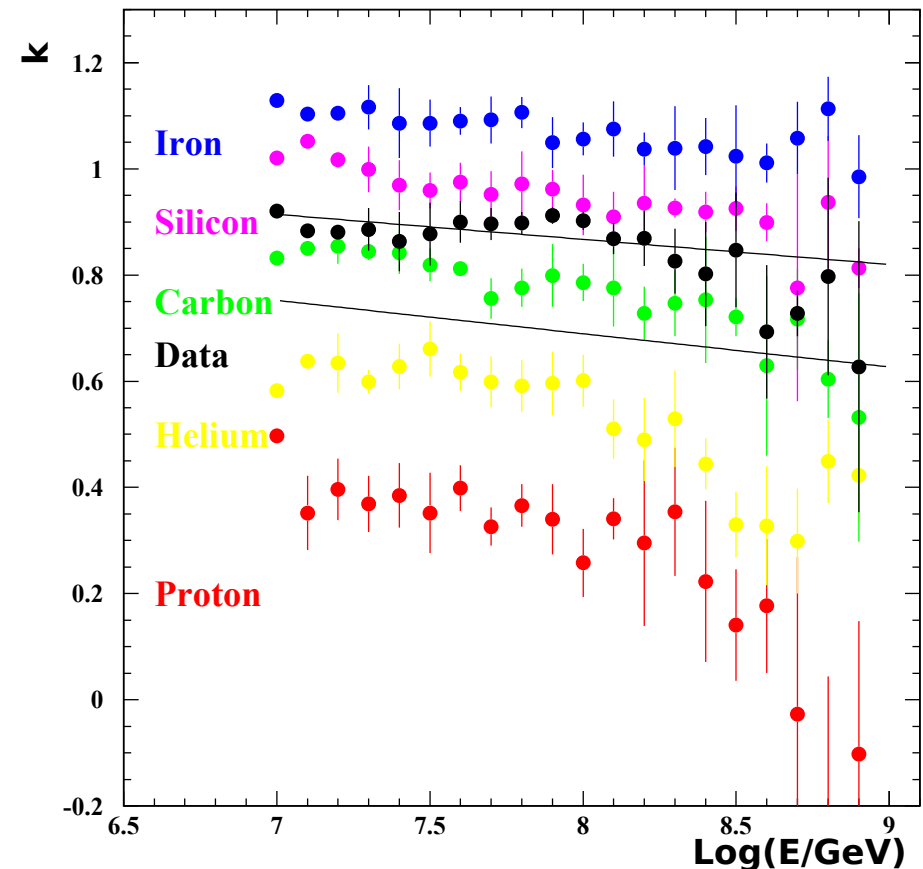
Il grafico mostra l'evoluzione del valor medio di k come funzione dell'energia.

$$k = \frac{\log(N_{ch}/N_{\mu}) - \log(N_{ch}/N_{\mu})_H}{\log(N_{ch}/N_{\mu})_{Fe} - \log(N_{ch}/N_{\mu})_H}$$

Impossibile ricostruire evento per evento la natura del primario.

E' però possibile una distinzione tra leggeri, medi e pesanti..

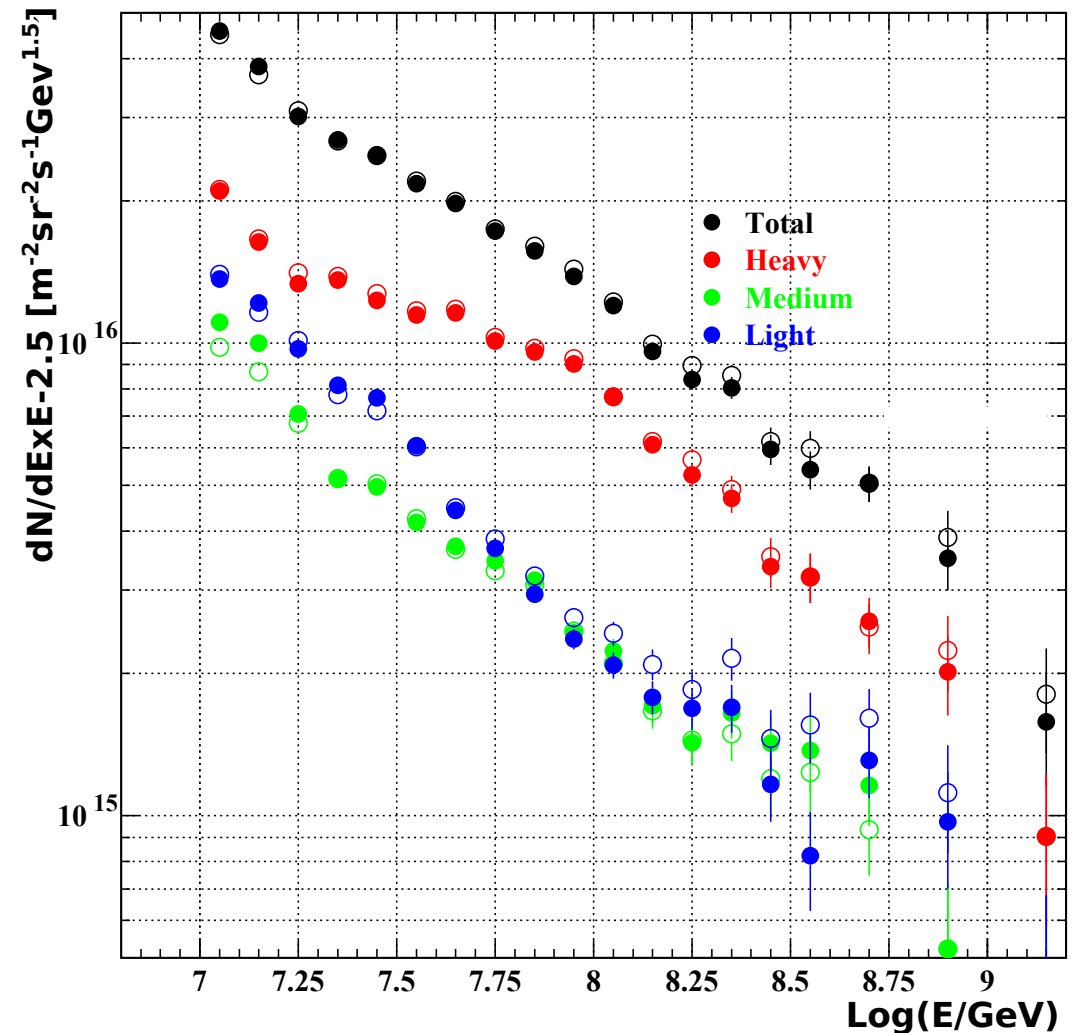
Dai punti sperimentali (neri) si osserva una composizione prevalentemente "pesante" a confermare ginocchio dei leggeri già osservato in EAS-TOP



Ricostruzione spettro di energia leggeri, medi, pesanti con SIBYLL

Anche ad un analisi qualitativa è evidente un ginocchio dei pesanti intorno ai $E \sim 10^{17}$ eV

Nessun cambiamento dell'indice spettrale nei medi e nei leggeri.



Conclusioni:

E' stata compiuta un analisi completa dei dati di KASCADE-Grande usando il modello di interazione adronica SIBYLL.

- Il flusso misurato da KASCADE-Grande nel range di energia 10^{16} - 10^{17} eV è in ottimo accordo con il flusso misurato da KASCADE utilizzando lo stesso modello di interazione (SIBYLL).
- Si osserva una differenza sistematica nel flusso analizzando i dati con diversi modelli di interazione; in particolare SIBYLL da un flusso più elevato rispetto a QGSjetII ed EPOS, però le strutture presenti nello spettro sono comuni a tutti e tre i modelli di interazione segno che non sono delle strutture generate dal modello di interazione adronica ma devono avere un origine fisica.
- L'ambiguità dovuta al grado di arbitrarietà nella scelta delle funzioni di calibrazione risulta essere piccola rispetto la differenza che si otterrebbe nell'interpretazione dei dati scegliendo un diverso modello di interazione.
- Dall'analisi del parametro k risulta che la componente pesante domina il flusso, inoltre si osserva un ginocchio di questa componente intorno ai 10^{17} eV mentre il flusso della componente leggera non presenta nessuna struttura di rilievo in quest'intervallo di energia.