

Raggi cosmici alle energie attorno al ginocchio dello spettro: le potenzialita` di LHAASO

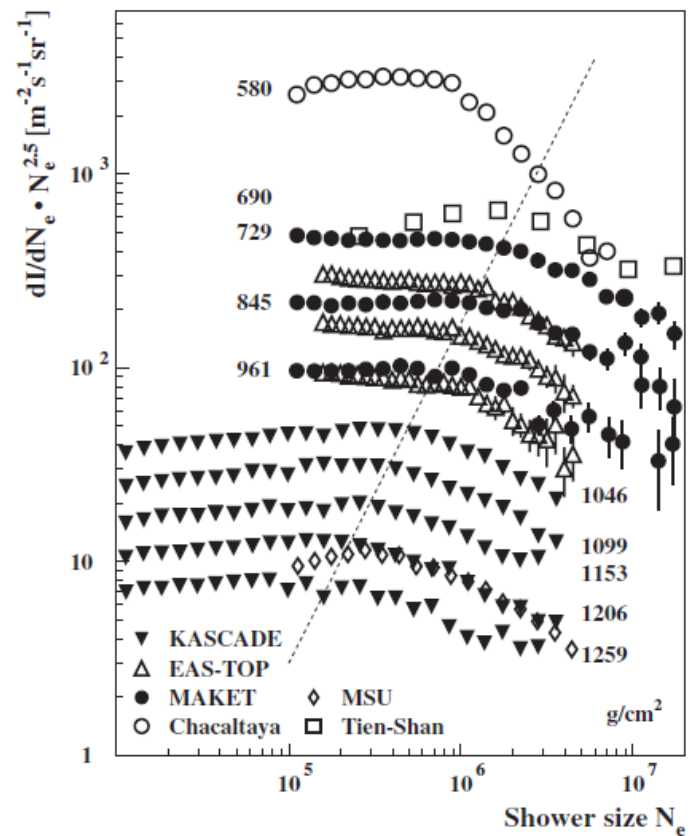
Andrea Chiavassa
Universita` di Torino

Claim Sperimentali

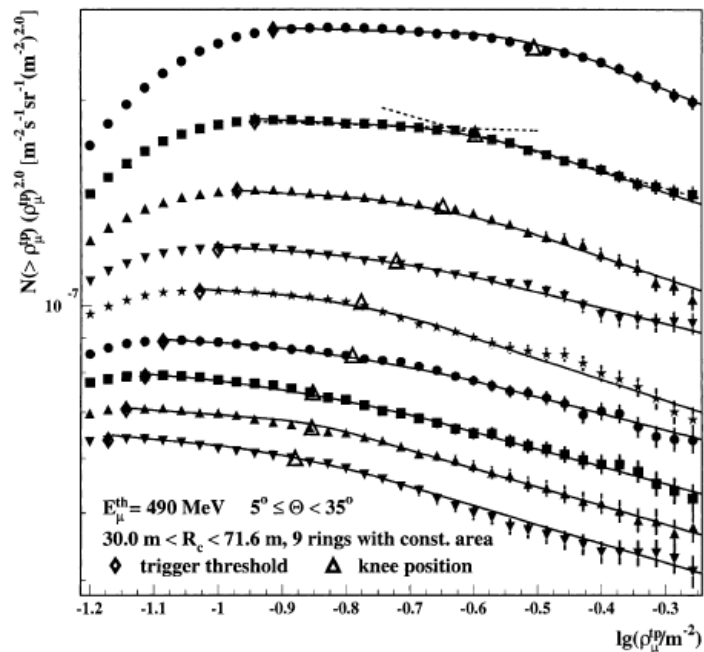
- Ginocchio presente in tutte le componenti degli EAS (+ esperimenti a diverse altezze sul livello del mare)
- Cambio di pendenza osservato solo per la componente leggera (KASCADE - livello del mare)
- Composizione chimica diventa piu` pesante attraversando le energie del ginocchio
- All particle spectrum sopra il ginocchio mostra strutture: concavita` a 10^{16} eV, steepening a circa 10^{17} eV (KG, IceTop, Tunka, TALE)
- Spettro della componente pesante cambia pendenza a circa 8×10^{16} eV (KASCADE-Grande - livello del mare)
- Spettro della componente leggera mostra un “hardening” a 1.2×10^{17} eV (KASCADE-Grande - livello del mare)
- Spettro della componente leggera al ginocchio cambia pendenza attorno 6.5×10^{14} eV (ARGO-YBJ - 4300 m slm)
- Spettro della componente leggera a 10^{15} eV ha una pendenza simile a quella sopra il ginocchio (TIBET-As γ - 4300 m slm)

1) Ginocchio osservato in tutte le componenti degli EAS.
(diversi esperimenti a diverse altezze sul livello del mare)

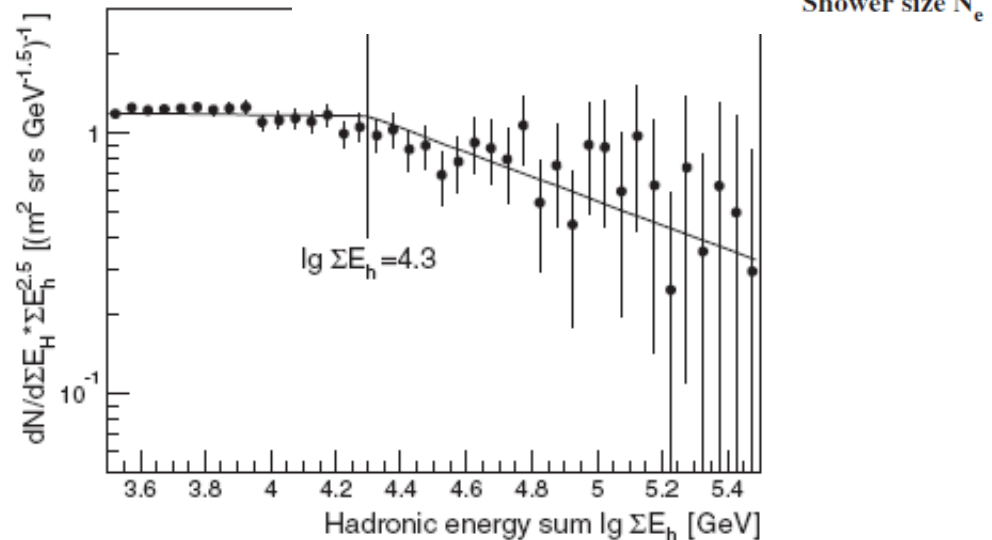
elettroni



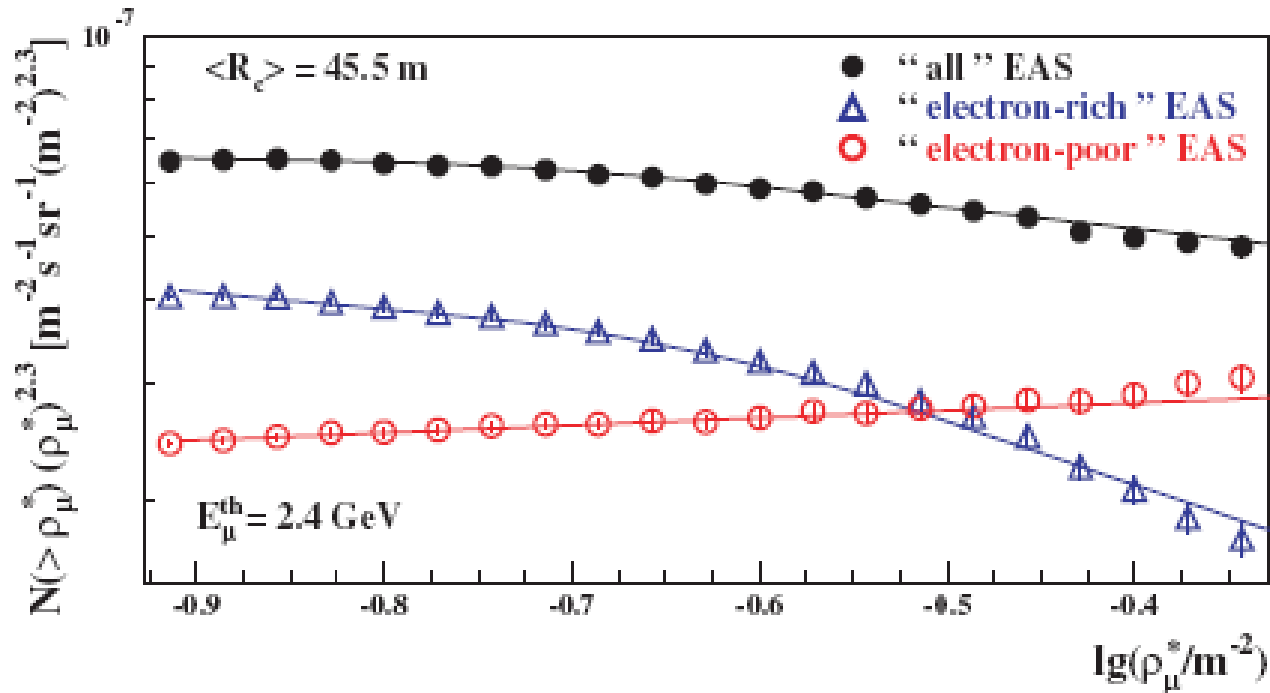
muoni



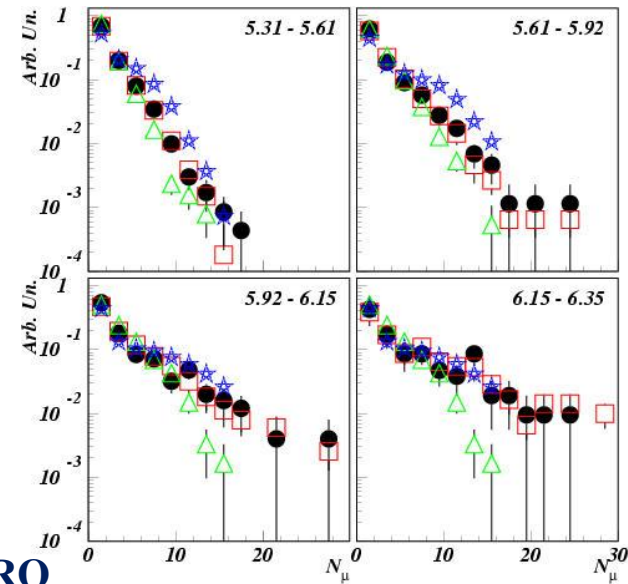
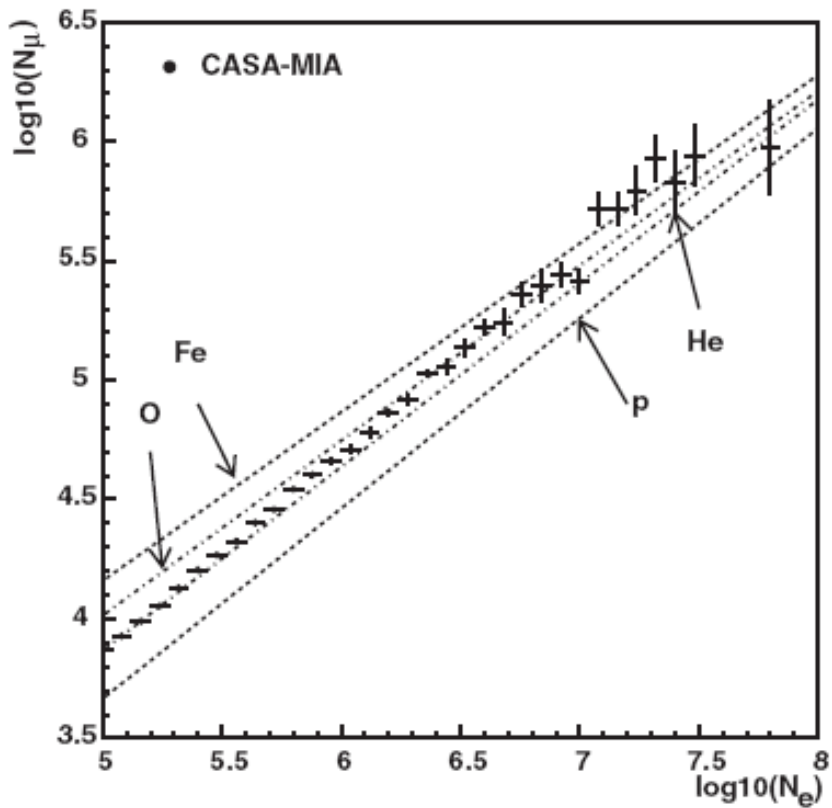
adroni



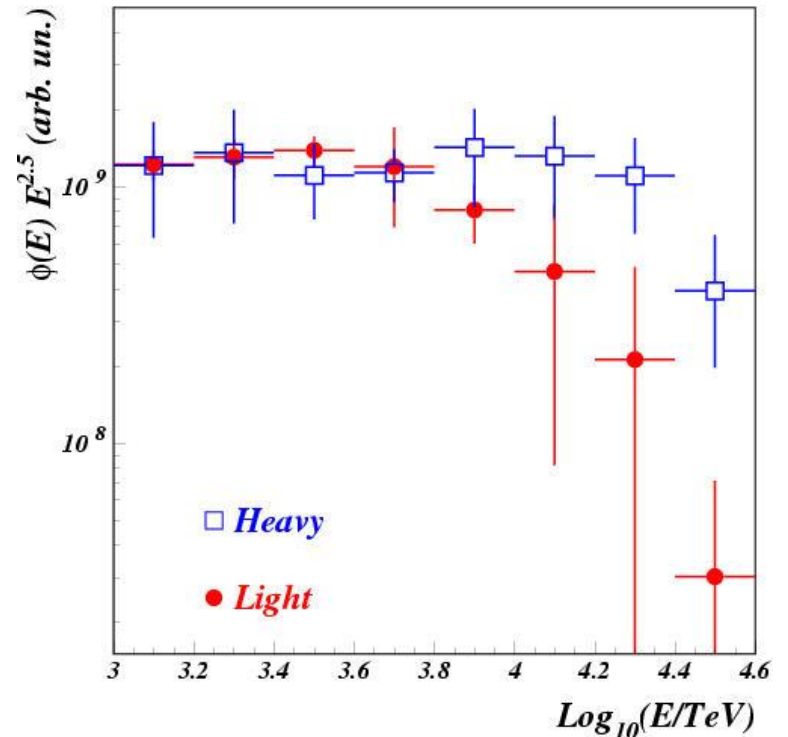
2) Cambio di pendenza osservato solo per la componente leggera (KASCADE - livello del mare)



3) Composizione chimica diventa piu' pesante attraversando l'energia del ginocchio



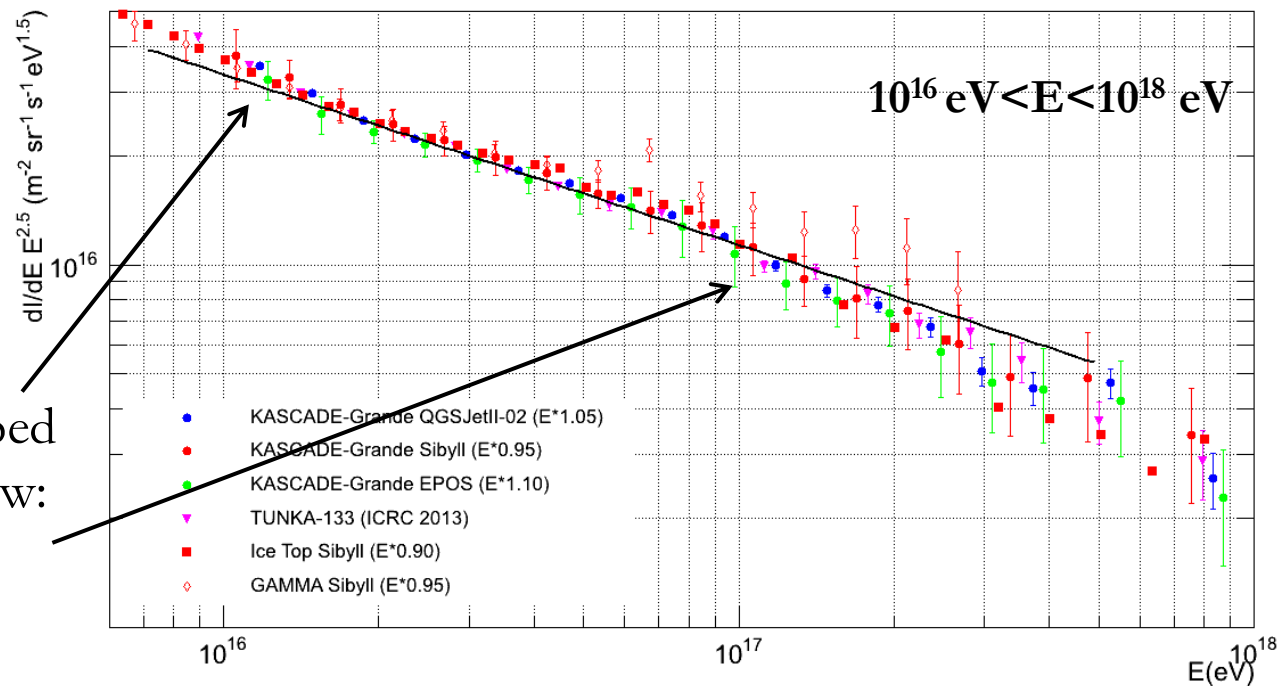
EAS-TOP+MACRO



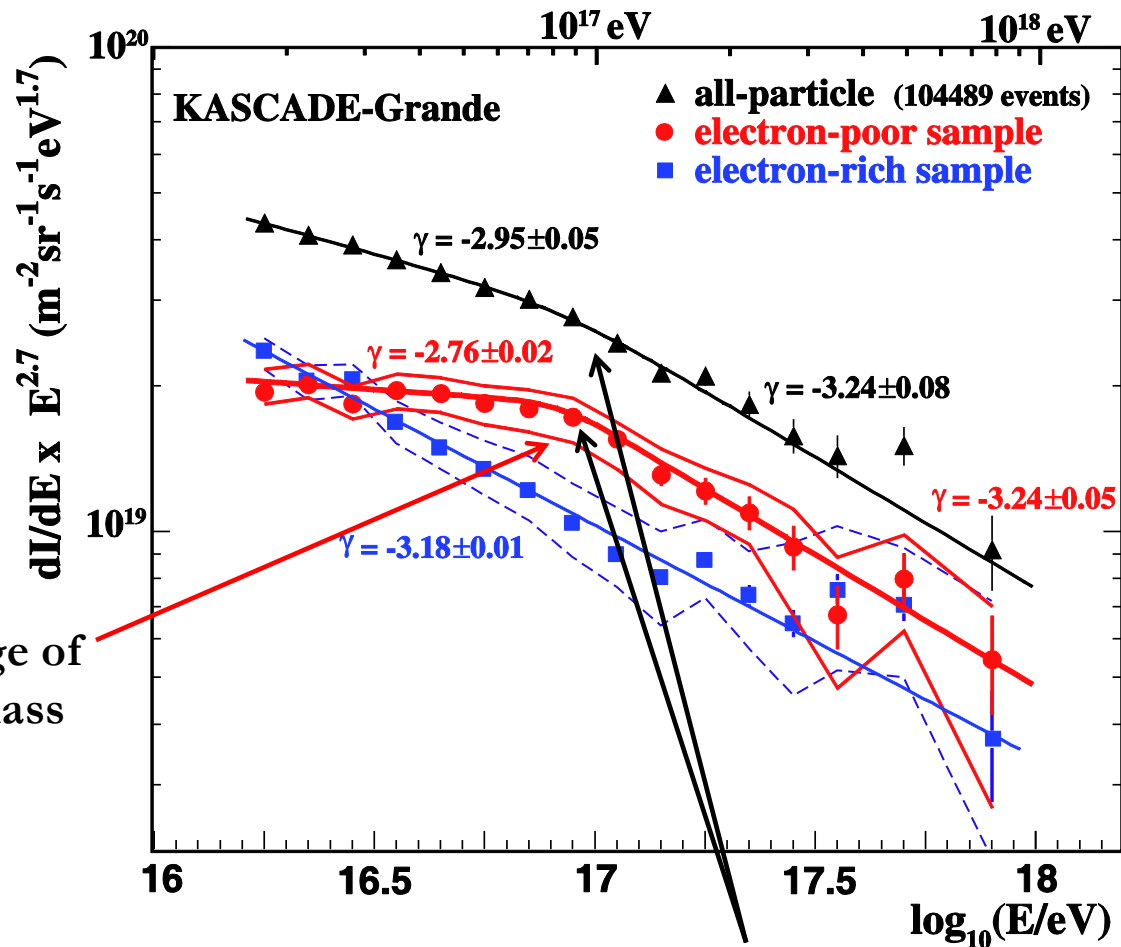
4) Strutture nell'all particle spectrum sopra il ginocchio:
 concavita` a 10^{16} eV,
 steepening a circa 10^{17} eV
 (KASCADE-Grande, IceTop, Tunka, TALE)

All particle spectra obtained shifting
 the energies by a factor smaller than
 what can be estimated as systematic
 error: i.e. 15-20%

Spectra cannot be described
 by a single slope power law:
 hardening ($\sim 10^{16}$ eV)
 steepening ($\sim 10^{17}$ eV)



5) Spettro della componente pesante cambia pendenza a circa 8×10^{16} eV (KASCADE-Grande - livello del mare)



Evidence of a change of slope in the heavy mass group spectrum.
 $E_{\text{knee}} = 8 \times 10^{16}$ eV

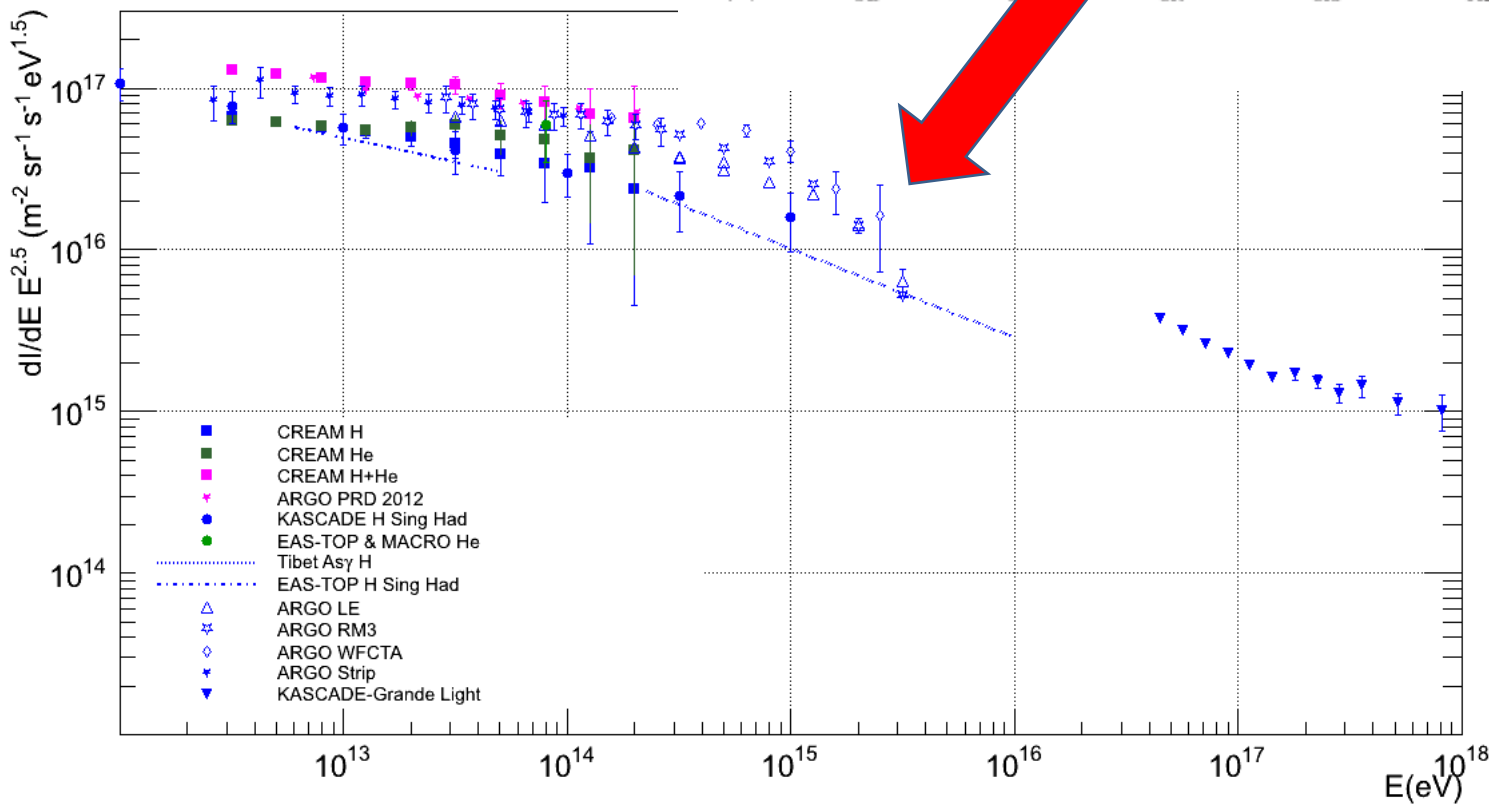
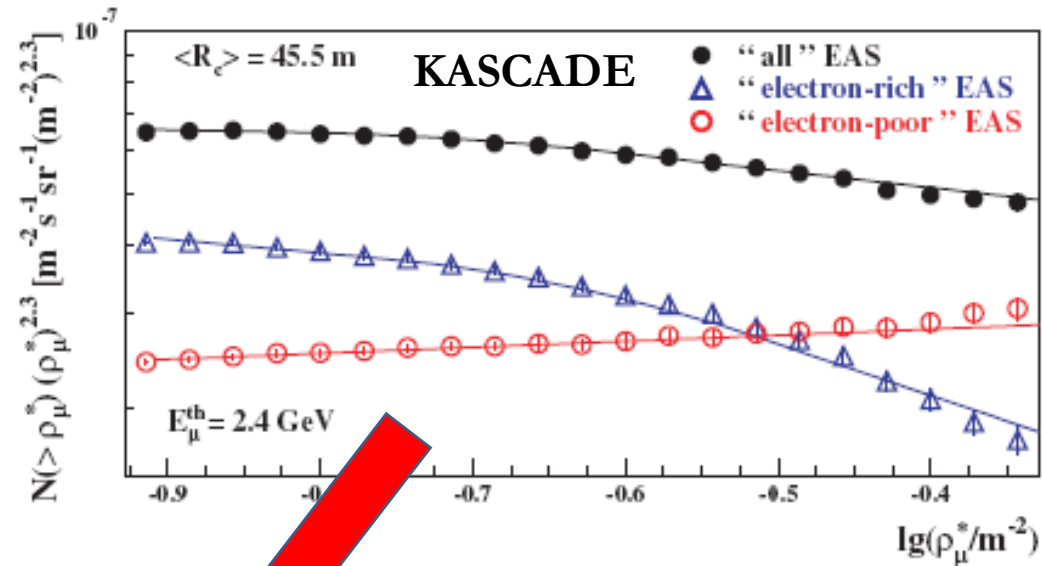
All particle and heavy mass group spectra show a steepening at similar energy

Risultati sulla componente leggera

- 6) Spettro della componente leggera al ginocchio cambia pendenza attorno a 6.5×10^{14} eV (ARGO-YBJ - 4300 m slm)
- 7) Spettro della componente leggera a 10^{15} eV ha una pendenza simile a quella sopra il ginocchio (TIBET-As γ 4300 m slm)
- 8) Spettro della componente leggera mostra un “hardening” a 1.2×10^{17} eV (KASCADE-Grande livello del mare)

Light mass group spectra

Integral flux above the change of slope $\rightarrow \sim 10^{-7} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$
 $\rightarrow \sim 2-4 \times 10^{15} \text{ eV}$



Exercise(*) to check the experimental data

- Calculate the element spectra:

$$\Phi(E) = KE^{\gamma_1} \left[1 + \left(\frac{E}{E_{knee}} \right)^\varepsilon \right]^{\frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\varepsilon}}$$

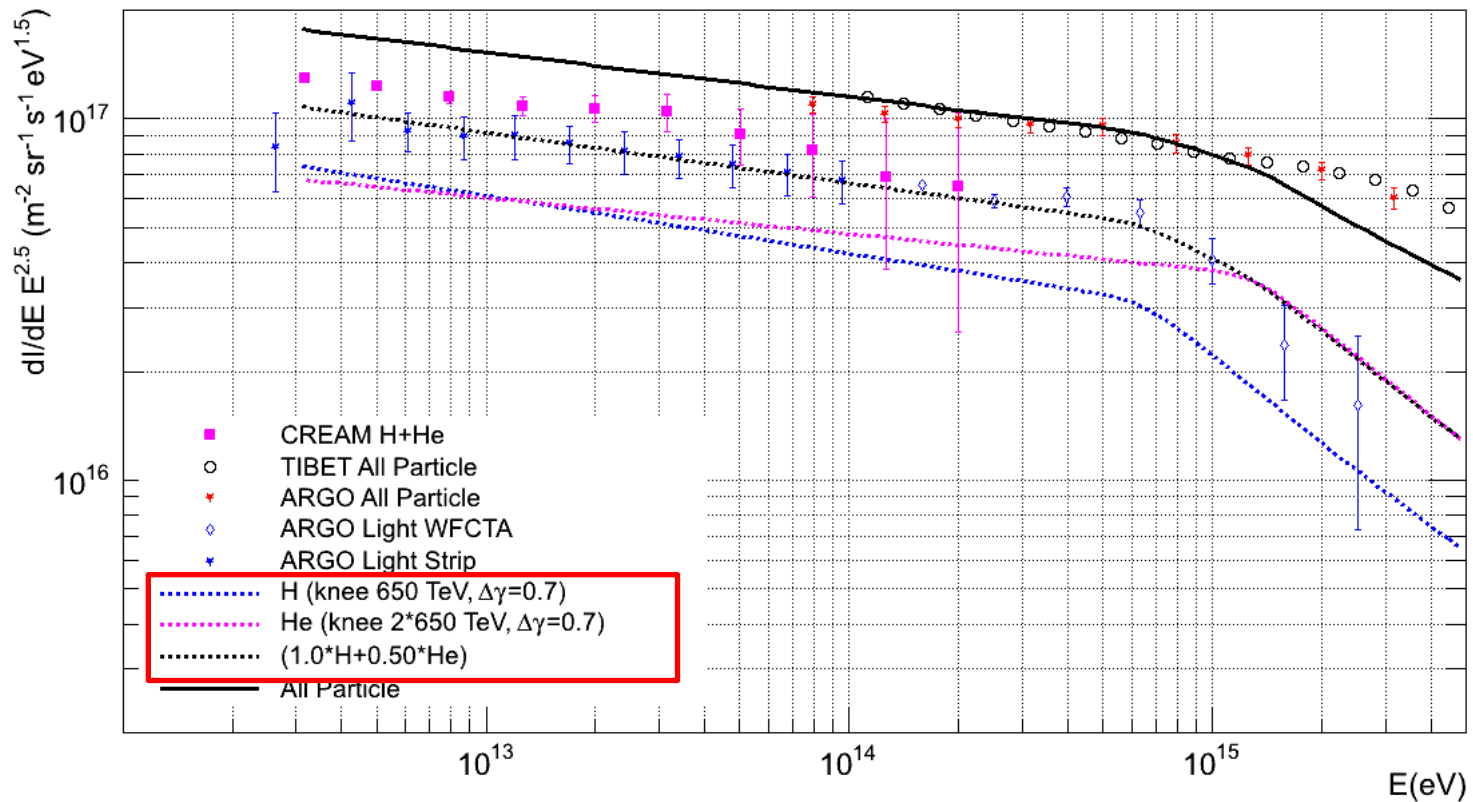
- Assuming:
 - Fluxes normalized to CREAM measurements at 10^{13} eV
 - γ_H & γ_{He} from CREAM measurements ($\gamma_{CNO} = \gamma_{Fe} = \gamma_{He}$)
 - $E_{knee}(Z) = Z E_{knee}(p)$
 - Same $\Delta\gamma$ for all elements
 - All particle = H+He+CNO+Fe
- Add an harder H component ($\gamma = -2.66$) dominating the H flux above 10^{17} eV

(*) inspired by T. Gaisser et al. Front. Phys.2013

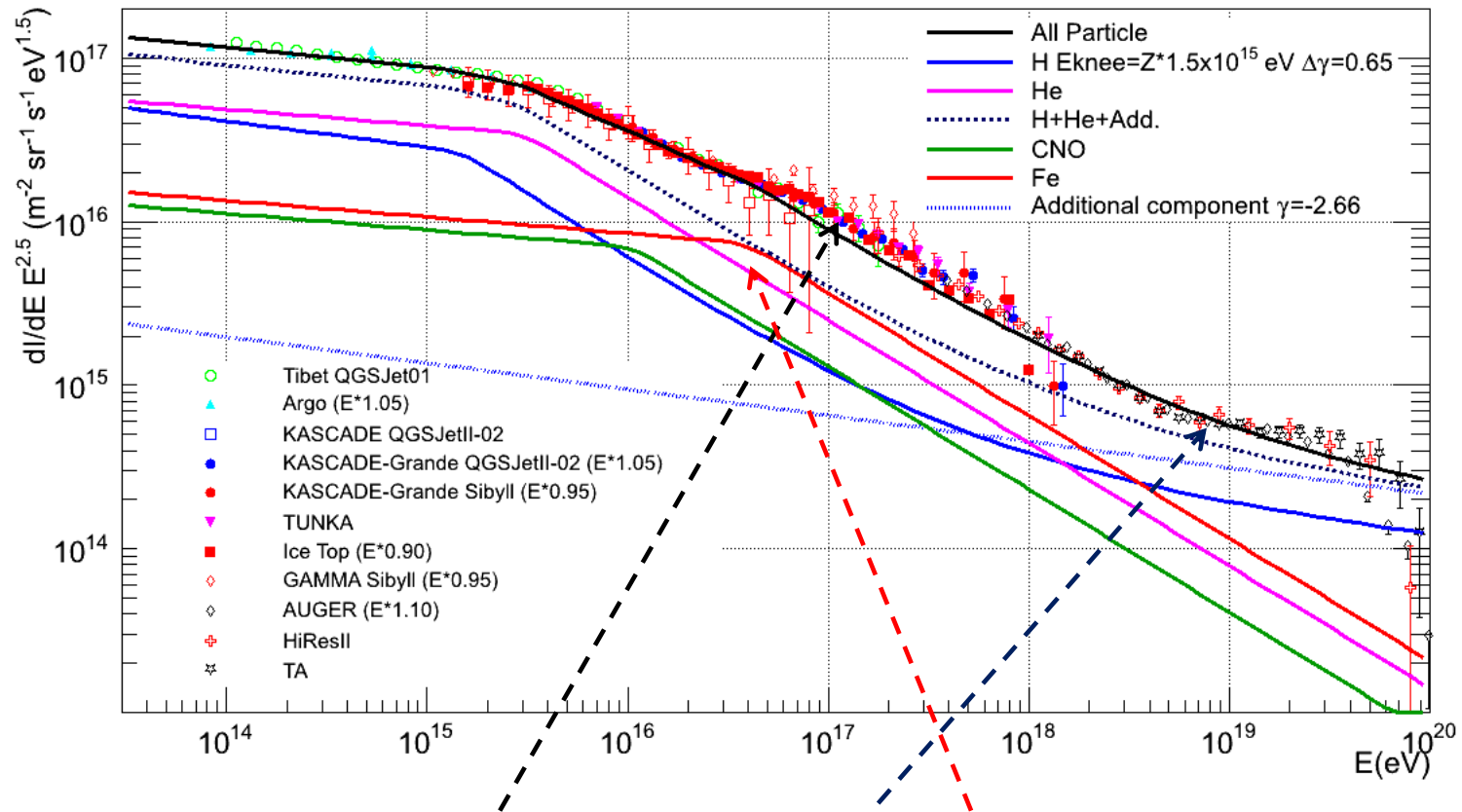
ARGO-YBJ + WFCTA analysis

The knee seems to be at a greater primary energy

All particle spectrum cannot be reproduced by the simple hypothesis of knees scaling with Z (also scaling with A)



Main qualitative features of the **all particle spectrum** can be described by this simple exercise.....



Faint structures at $\sim 10^{16}$ and $\sim 10^{17}$ eV cannot be reproduced \rightarrow another component is necessary (heavy??)
(see T. Gaisser et al.)

Heavy E_{knee} is at too low energy?

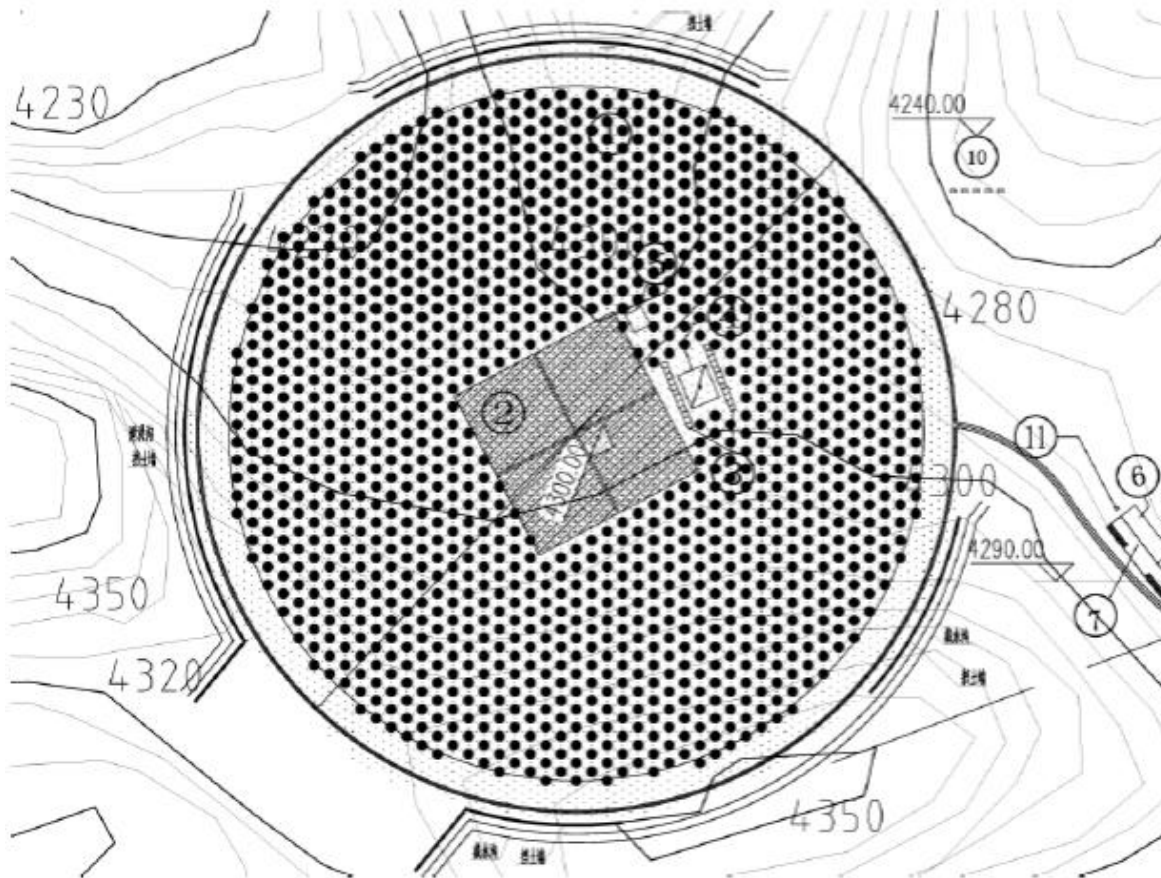
$E > 10^{18}$ eV the chemical composition maybe too light

Questioni aperte

- Quale è il comportamento della componente leggera tra 10^{14} e 5×10^{15} eV?
- Esistono contraddizioni tra misure in alta quota e al livello del mare?
 - Possibili problemi nella descrizione dello sviluppo degli EAS nelle simulazioni attuali?
- Determinare quale è la componente (elemento) dominante al ginocchio
- Arrivare a separare più di due gruppi di massa con tecniche “evento per evento”
 - Spettri singoli elementi accessibili a misure dirette, ma, oltre ai problemi di statistica, bisogna valutare la risoluzione in E che si può ottenere con misure calorimetriche
 - Misure di EAS sono limitate dalle fluttuazioni nello sviluppo della cascata → minime al massimo dell'EAS, fondamentale operare con alta risoluzione.
- Misura dell'anisotropia per più gruppi di massa.
 - Grande area (i.e. statistica) + misura, con grande precisione, di N_e e N_μ (o parametri equivalenti) per ogni evento
- Transizione tra radiazione galattica e radiazione extra-galattica.

LHAASO

- Esperimento di grande superficie (1 km²) e alta risoluzione, posto in alta quota



LHAASO – KM2A

- 5635 scintillatori per la misura della componente elettromagnetica.
- Singolo rivelatore composto da 4 moduli da 25x25x2 cm³
- $\Delta r = 15$ m
- 1221 rivelatori per muoni
rivelatori a Cherenkov ad acqua: 3.6 m diametro e 1.2 m di altezza.
- Sotterrati a una profondita` di 2.5 m
- $\Delta r = 30$ m

Ulteriori informazioni sperimentali dai (previsti) rivelatori wide field of view cerenkov detectors (WFCTA) e dai shower core detectors: SCDA, scintillatori coperti da Pb per rivelare le particelle piu` energetiche nella regione vicina al core dello sciame

Principali parametri sperimentali rilevanti per la misura di rc carichi

Time resolution	$<2\text{ns (ED)}, <10\text{ns (MD)}$
Dynamic range	1-10,000 Particles
Accuracy of particle number measurement	$<25\% @ 1 \text{ Particle}, <5\% @ 10,000 \text{ Particles}$

➤ **Rapporto tra area attiva e area totale molto alto (soprattutto per la componente muonica) → alta risoluzione**

➤ Area em/Area totale

$$\text{KASCADE} \rightarrow 5 \times 10^2 / 4 \times 10^4 = 1 \times 10^{-2}$$

$$\text{KASCADE-Grande} \rightarrow 370 / 5 \times 10^5 = 7 \times 10^{-4}$$

$$\text{IceTop} \rightarrow 4 \times 10^2 / 10^6 = 4 \times 10^{-4}$$

$$\text{LHAASO} \rightarrow 5 \times 10^3 / 10^6 = 5 \times 10^{-3}$$

➤ Area m/Area totale

$$\text{KASCADE} \rightarrow 6 \times 10^2 / 4 \times 10^4 = 1.5 \times 10^{-2}$$

$$\text{LHAASO} \rightarrow 5 \times 10^4 / 10^6 = 5 \times 10^{-2}$$

✓ **Ad energie superiori ai 10^{17} eV LHAASO potrà operare come esperimento ibrido sfruttando i rivelatori di Luce Cherenkov come rivelatori di luce di fluorescenza**

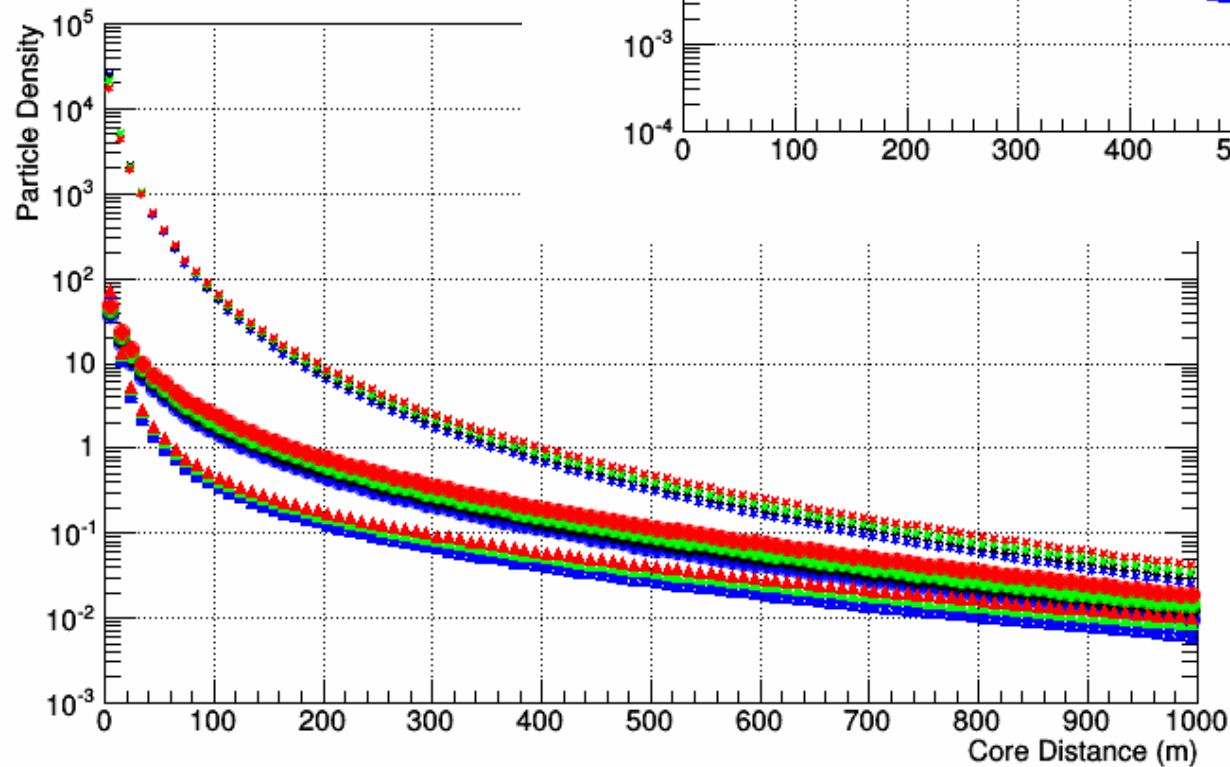
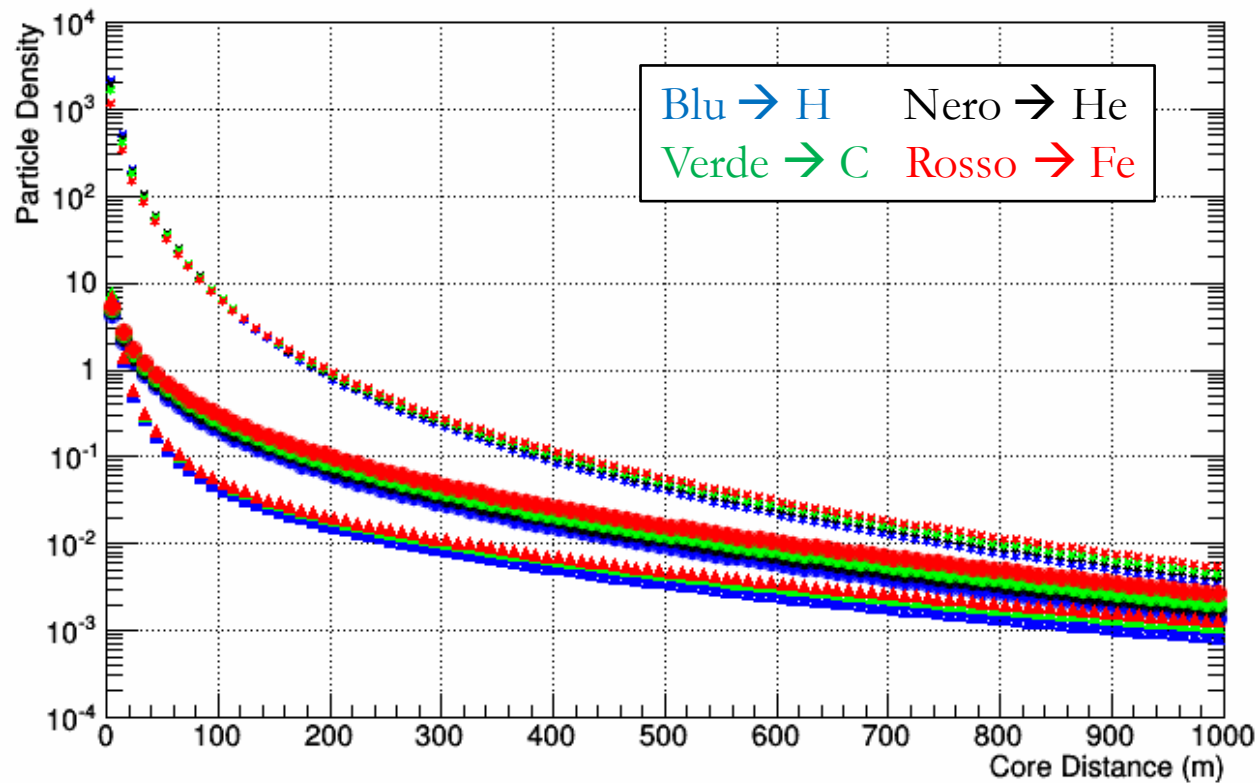
$$E_0 = 5 \times 10^{15} \text{ eV}$$

$$\theta = 0$$

♣ → elettroni

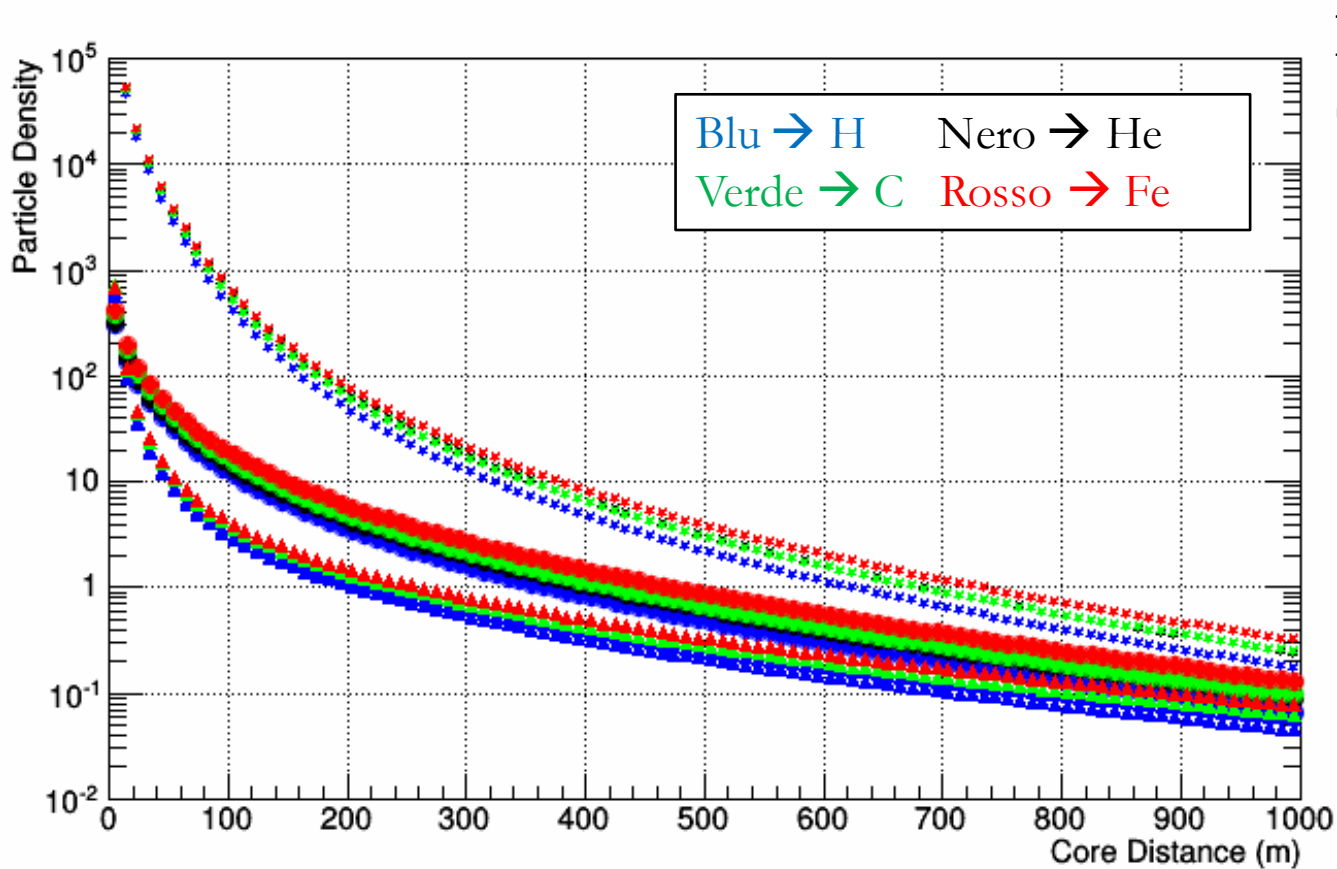
● → muoni

▲ → pioni



$$E_0 = 5 \times 10^{16} \text{ eV}$$

$$\theta = 0$$



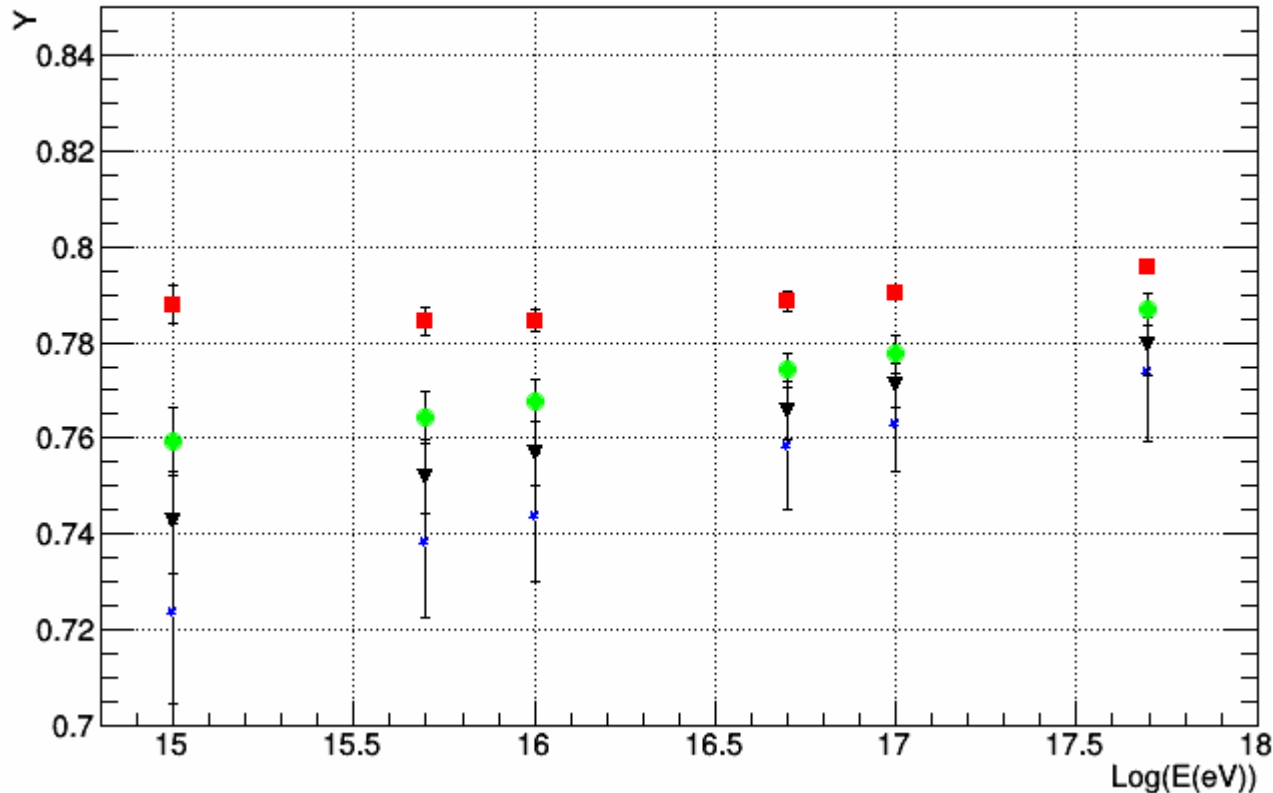
$$E_0 = 5 \times 10^{17} \text{ eV}$$

$$\theta = 0$$

- I rivelatori della componente elettromagnetica sembrano saturare a distanza minore di 50 m alle energie più alte
- Da approfondire la saturazione dei rivelatori di muoni

Osservabile introdotta da KASCADE per separare diverse componenti primarie:

$$Y = \text{Log } N_{\mu}(\theta=0) / \text{Log } N_e(\theta=0)$$



Barre di errore
→ RMS delle
distribuzioni

Studio preliminare, senza considerare l'apparato sperimentale, ottenuto per energie fisse e angoli fissi. Verrà ripetuto utilizzando il tempo di CPU e lo spazio disco concessoci al CNAF

Conclusioni

- **Perche` ancora un esperimento che studia il range di energia attorno al ginocchio:**
 1. Misura degli spettri di piu` di due gruppi di massa (spettro dei singoli elementi ???)
 2. Ricerca delle anisotropie per diversi gruppi di massa
 3. Identificazione dei “Pevatrons”
- **LHAASO**
 - Nel futuro prossimo e` l’unico esperimento previsto che unisce grande area di misura e alta risoluzione (oltre alle potenzialita` in astronomia γ)