

Problemi aperti
in simulazioni MC
di Raggi Cosmici
ad alta energia

Luigi Cossio
MeraTeV- 05/10/2011

Problemi aperti in simulazioni MC di Raggi Cosmici ad alta energia

- Intro: uso delle simulazioni per lo studio delle EAS
- I principali codici
- Motivazione fisica delle problematiche: showers elettromagnetiche e showers adroniche
- Parametri utilizzati nell'osservazione e discrepanze
- Modelli fisici e problematiche collegate

Uso delle simulazioni nello studio delle EAS:

- classificazione dei dati sperimentali,
- riconoscimento del primario,
- determinazione dei parametri fisici (energia, momento, angolo di entrata...)

METODO DI CLASSIFICAZIONE: varia da esperimento ad esperimento: Reti Neurali, Random Forest, Model Analysis...

- in generale, necessitano di un training con un “adeguato” numero di eventi di vario tipo che permettano al sistema di “imparare” a distinguere gli eventi gli uni dagli altri
- Problema: forte livello di degenerazione: cascate con parametri della particella primaria estremamente diversi possono formare showers estremamente simili. Ad esempio...

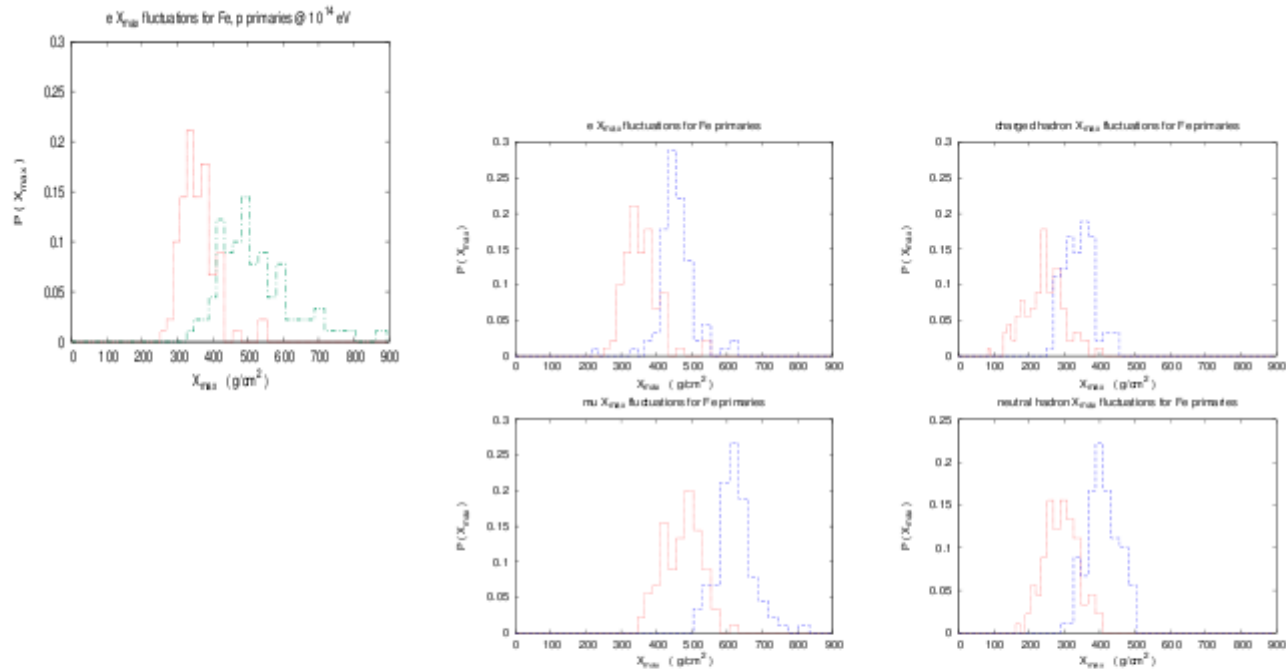


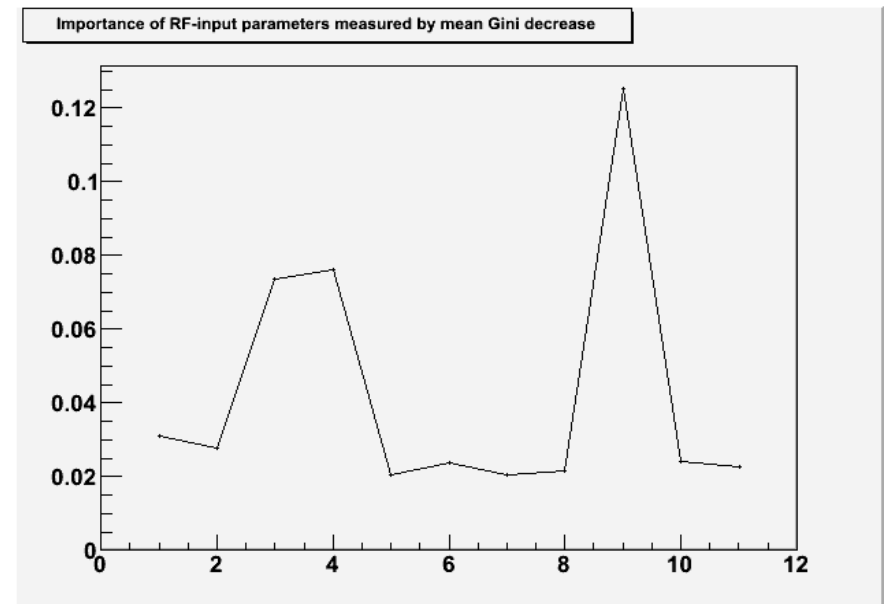
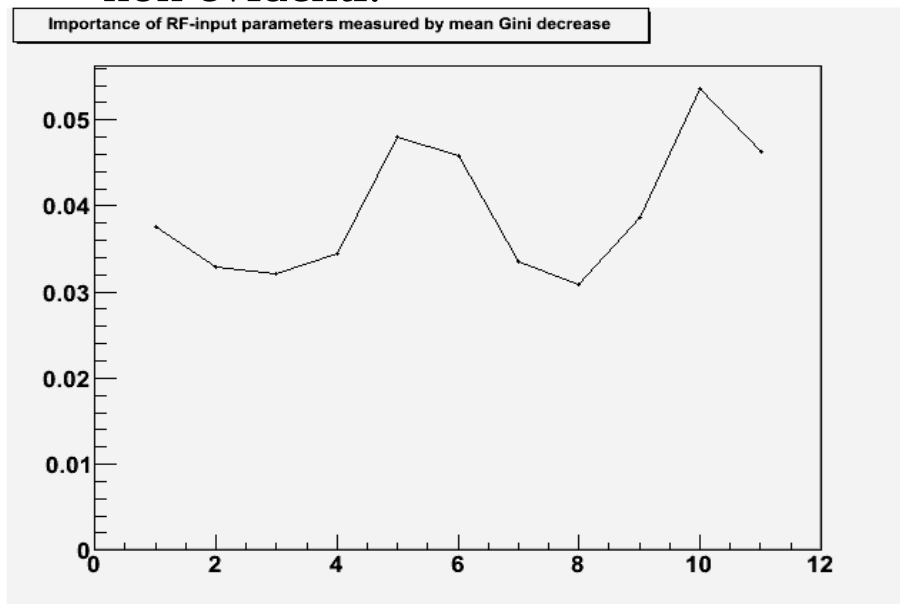
Figure 3: *Left panel:* fluctuations in the distribution of $e X_{\text{max}}$ for a few hundred vertical showers induced by p (dot-dashed green line) and Fe ions (dotted red line) at 10^{14} eV energy. *Central and Right panels:* fluctuations in the distribution of $e X_{\text{max}}$ (central upper panel), μX_{max} (central lower panel), charged hadron X_{max} (right upper panel) and neutral hadron X_{max} (right lower panel) for a few hundred vertical showers induced by Fe ions at 10^{14} eV (dotted red line) and 10^{15} eV (dashed blue line) energies.

Confronto delle fluttuazioni di distribuzione di X_{max} tra P e Fe (Battiston et al., 2009)

Tendenzialmente, maggiore è il numero di parametri che si utilizzano e minore è la degenerazione, **anche se questo non è sempre vero:**

→ All'aumentare del numero di parametri può essere necessario incrementare il numero di eventi MC per raggiungere livelli sufficienti di discriminazione

→ Può avvenire che la fisica sottostante alle showers sia estremamente simile e che i parametri significativi siano pochi o non evidenti.



Ovviamente i dettagli d'uso e di produzione dipendono dall'esperimento:

→ Un telescopio Cherenkov raccoglie tendenzialmente luce diffusa in un cono piuttosto ristretto e tendenzialmente il trigger viene fatto scattare solo da showers piuttosto vicine all'asse di simmetria

→ Auger, Kascade... hanno una dimensione caratteristica estremamente più ampia e collezionano dati anche su muoni, elettroni...

→ Ne consegue che per il primo caso sarà meno importante avere una buona simulazione di quello che avviene “lontano” dall'asse di simmetria, mentre nel secondo caso ottenere una distribuzione spaziale realistica di tutte le particelle risulta fondamentale

Showers elettromagnetiche: Piuttosto ben stabilite ed affidabili.

Motivo: QED.

Costante di accoppiamento EM: $1/137 \Rightarrow$ Diagrammi di Feynman con più vertici contribuiscono sempre meno ed è possibile trascurarli.

IN QCD QUESTO NON AVVIENE!

La costante di accoppiamento in effetti non è costante ma dipende dalla distanza di interazione \Rightarrow dall'energia delle particelle coinvolte. Diventa <1 solo a distanze inferiori alla dimensione tipica di un protone (libertà asintotica).

CONSEGUENZA: I parametri fisici fondamentali (sezione d'urto, funzione di distribuzione...) per descrivere le interazioni adroniche devono essere misurati sperimentalmente alle varie energie e in linea di principio per ogni possibile coppia di particelle-distinguendo peraltro tra il caso libero e il caso legato a causa del principio di indeterminazione di Pauli.

Interazioni adroniche.

Costante di accoppiamento non costante => Esistono in modo “naturale” due regimi di energia, “alta” e “bassa”, dove rispettivamente è possibile e non è possibile utilizzare modelli perturbativi (pQCD).

Necessità di codici diversi:

Bassa energia:

- Fluka
- Gheisha...

Alta energia:

- DPMJet
- QGSJet
- EPOS
- SIBYLL...

Primo Problema!

Dove inserire il taglio in energia?

- Un taglio netto non è “naturale”
- Il taglio dipende da particella a particella!

E.G.:

Kaoni: energia critica 1500 GeV

Pioni: energia critica 150 GeV

CONSEGUENZA GRAVE: AFFIDABILITÀ DELLE PREVISIONI SUI MUONI!

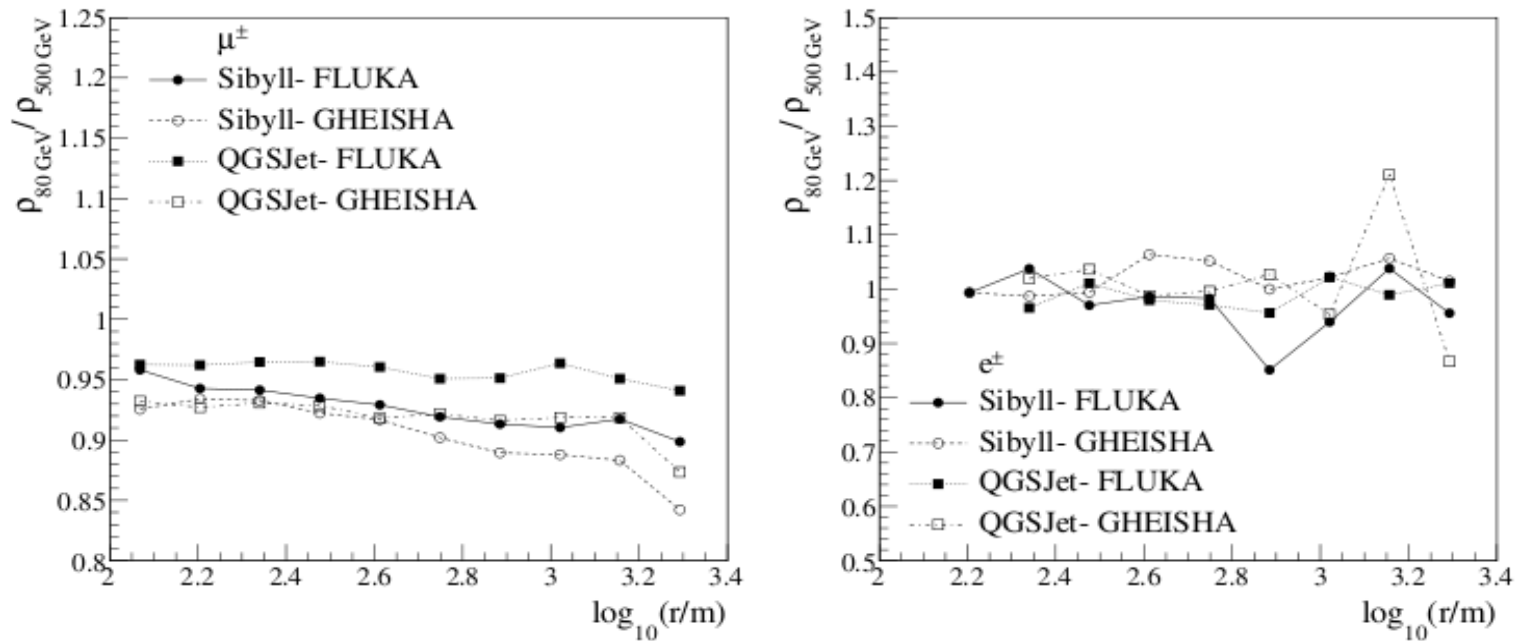


Figure 3. Lateral distribution of the ratio of the predicted number of muons (left) and electrons (right) obtained by switching the transition energy from 80 GeV to 500 GeV.

(Maris et al., 2009)

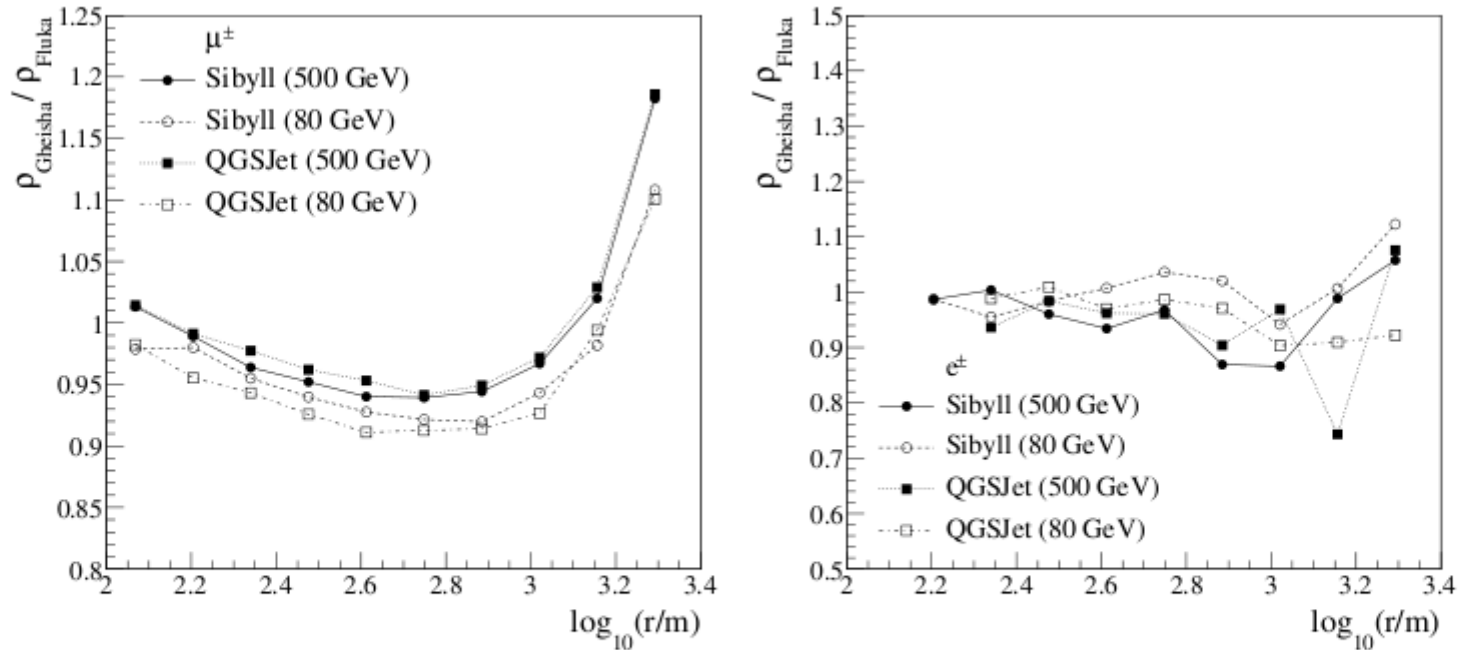


Figure 2. Lateral distribution of the ratio of the number of muons (left) and electrons (right) as predicted by GHEISHA and FLUKA. The same hadronic interaction model is used for the description of the hadronic interactions above the transition energy indicated in brackets.

(Maris et al., 2009)

Secondo problema:

Quali parametri utilizzare per capire se un dato codice fitta o meno i dati?

Tipicamente:

- **DISTRIBUZIONE LATERALE** delle particelle (legata ai simulatori a bassa energia)
- **SVILUPPO LONGITUDINALE** della cascata (legata ai simulatori ad alta energia: non è un'osservabile diretta ma va ricostruito)
- X_{\max}
- **FLUENCE** (particles/cm²/primary)
- **DENSITÀ** della luce Cherenkov prodotta.

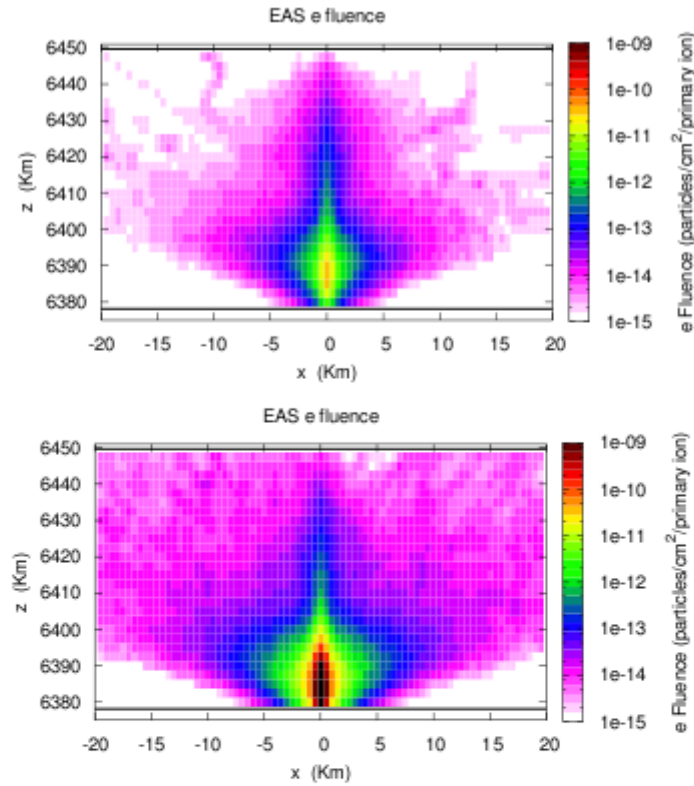


Figure 5. Spatial distribution of e fluence (particles/cm²/primary) for vertical showers induced by Fe primaries with 10^{13} eV (upper panel) and 10^{15} eV (lower panel) energies. The results are obtained as an average on ~ 100 events for each energy. The primaries come from the top of the atmosphere (top of each figure) and propagate towards the Earth's surface located at ~ 6378

(Battistoni et al., 2009)

Processo aperto:

Stesura di librerie di parametri
per confronto diretto tra i dati rilevati e le librerie stesse. (Model Analysis)

- Necessita parametrizzazione adeguata
- Enorme quantità di simulazioni necessarie a coprire tutto lo spazio dei parametri
- Limiti fisici intrinseci?

Vantaggi:

- Velocità dell'analisi (in prospettiva perfino in tempo reale)
- Automatizzazione
- Una libreria è per sempre.

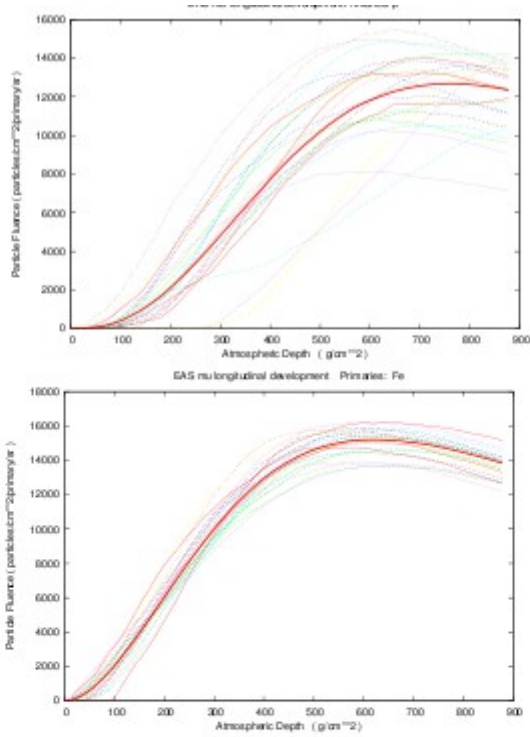


Figure 4. μ fluence as a function of the atmospheric depth for vertical showers induced by p (upper panel) and Fe (lower panel) primaries with 10^{15} eV energy. Each line in each figure is the result for a different shower. In case of p showers, the development of the hadronic component shows larger fluctuations, also related to the depth of the first interaction. See also Fig. [3](#)

Limiti fisici intrinseci per la MA? (Battiston et al. 2009)

Codici per le alte energie:

→ QGSJet

→ DPMJet

→ EPOS

QGSJet

Basato sul Quark-Gluon string model.

Modello numerico **non perturbativo** della famiglia delle espansioni $1/N$.

“Parte dal presupposto che i colori siano infiniti, ed applica una serie di correzioni per tenere conto del fatto che non è vero” (Griffiths)

“Combina l'espansione $1/N$ con la teoria di Regge (pomeroni) utilizzando la struttura partonica degli adroni” (Kaidalov – Poghosyan, 2009)

“In QGS model the production of a particle is defined through production of showers, and each shower corresponds to the cut-pomeron pole contribution in the elastic scattering amplitude. For hadron-hadron collisions the cross-section of n cut-pomeron exchange (among arbitrary number of uncut pomerons) is calculated in “quasi-eikonal” approximation and has the following form :

$$\sigma_n(\xi) = 4\pi \frac{\lambda}{nC} \left[1 - \exp\{-z\} \sum_{l=0}^{n-1} \frac{z^l}{l!} \right]. \quad (1)$$

dove tutti i parametri utilizzati fanno riferimento a K.A. Ter-Martirosyan, 1986.

DPMJet

Basato sul Dual Parton Model

Modello **non perturbativo** quasi classico à la Feynmann.

L'idea di base è che a basse energie una particella vede solo il partone di valenza, mentre ad alte energie interagisce con il mare di partoni che “permea” l'adrone.

Il parametro fondamentale non è più la sezione d'urto ma la “parton distribution function”, ossia “la densità di probabilità di trovare una particella con frazione di momento longitudinale x in funzione del momentum transfer Q^2 ”: si tratta di quantità che devono essere misurate sperimentalmente ed estrapolate alle energie a cui stiamo lavorando.

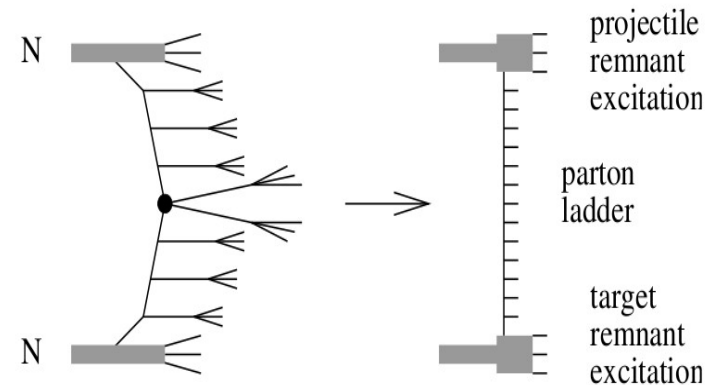
EPOS

Energy conserving quantum mechanical multiple scattering approach, based on:

Partons and parton ladders

Off-shell remnants

Splitting of partons ladders



(inserire figura ladder “reale” e “simbolico”)

Anche qui l'interazione viene trattata come una shower, ma ha il vantaggio che la parte “hard” dell'interazione è ottenuta direttamente dalla **pQCD**, con parametri sperimentali provenienti dal deep inelastic scattering, e ladder “simbolico” che schematizza la discretizzazione. La parte “soft” è fenomenologica e di nuovo parametrizzata à la Regge, ma con aggiunta la conservazione dell'energia.

Sta andando per la maggiore, dopo che le versioni precedenti avevano dimostrato vari problemi nel riprodurre i dati di Kascade-Grande, l'ultima versione dà risultati comparabili, e si ritiene quindi che sia utilizzabile ad energie fino all'ordine dell' EeV.

Conclusioni - Consigli:

- Le simulazioni adroniche non sono ancora ben stabilite.
- Soprattutto alle alte energie dove non arrivano gli acceleratori è necessario ricordare che gran parte di quello che facciamo si basa su estrapolazioni: su queste estrapolazioni noi tarriamo i nostri strumenti: effettuare simulazioni MC con più codici e controlli incrociati sui risultati ottenuti da codici diversi.
- Procurarsi un feedback continuo da parte di particellari, tenere d'occhio costantemente non solo il codice con cui si lavora ma anche gli altri affini, seguirne gli aggiornamenti.
- La fisica è tanta!