

# RICOSTRUZIONE DELL'ENERGIA E TAGLI

V.Valente novembre 2001

Basandomi sui risultati riportati nel memo precedente (PRIME INDAGINI SULLA POSSIBILITA' DI DETERMINARE L'ENERGIA DI UNA TRACCIA) ho cercato di costruire criteri atti a fare un taglio inferiore all'energia di una traccia e a dare una sua valutazione.

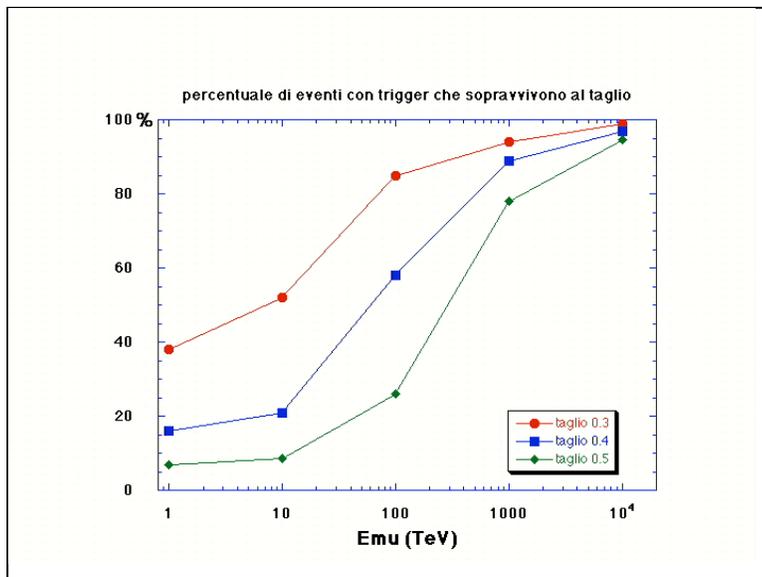
L'utilizzo delle grandezze "carica totale", "carica media", "carica totale sottratta del contributo del muone" e "carica media sottratta del contributo del muone" non sembra, al momento, dare grandi possibilità.

Cio' e' dovuto alla presenza di un gran numero di segnali piccoli o poco superiori a quello di un muone "nudo": questo fa' si' che le distribuzioni di tali grandezze presentino, a tutte le energie, il valore massimo subito dopo lo zero. Come gia' detto, tutto cio' dipende in gran parte dalle enormi fluttuazioni della luce raccolta e dal fatto che gli sciami stocasticamente prodotti sono poco campionati dai PM. Sarebbe, a questo proposito, utile indagare sulla distanza media fra la traccia ed i PM che la vedono in funzione del numero di segnali prodotti.

In questa nota utilizzerò, pertanto, le grandezze "numero totale di hit" e "percentuale di hit con segnale superiore a quello del muone" definite nel memo citato ed ivi riportate nelle Figure 2 e 20.

La piu' promettente, a causa delle rms piu' contenute, sembra essere la percentuale di hit.

Vediamo, nella Figura 1, l'effetto di tagli su tali grandezza in funzione dell'energia.



**Figura 1** – Frazione di eventi che hanno triggerato (Trigger 0b) e che superano un taglio nella variabile "percentuale di segnali con ampiezza superiore a quella di un muone". L'apparato e' quello standard 20\_40\_180.

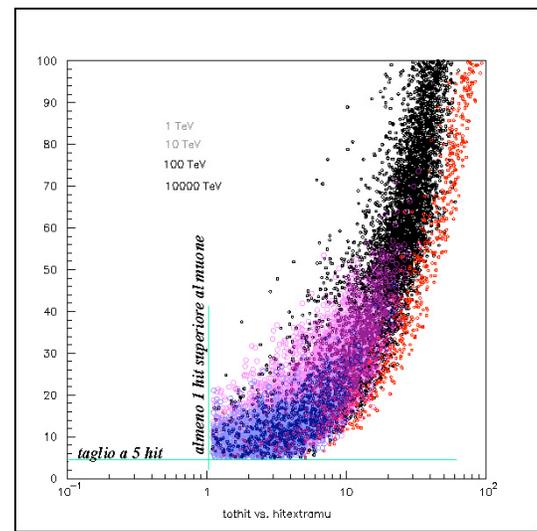
Usando questa sola variabile appare difficile fare un taglio netto nella zona 10 – 100 TeV: il rapporto di riduzione fra queste due energie e' circa 3:1.

Proviamo perciò ad usare un taglio in-

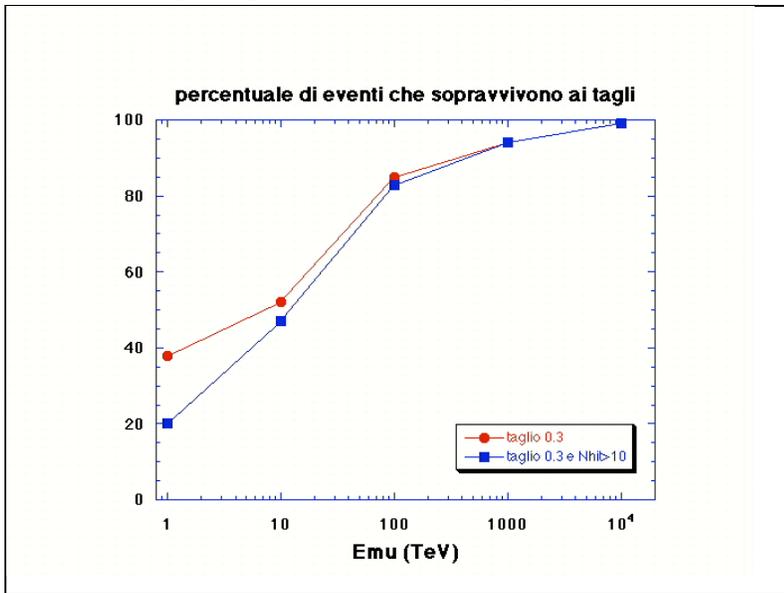
crociato percentuale/numero totale.

Nella Figura 2 e' riportata la distribuzione degli eventi in numero totale di hit e numero di hit di ampiezza superiore ad un muone per quattro energie. Appare evidente che una separazione fra 10 (punti lilla) e 100 (punti neri) TeV sarebbe possibile solo con tagli molto alti in entrambe le grandezze.

**Figura 2** – Distribuzione degli eventi in numero totale di hit e numero di hit di ampiezza superiore ad un muone per quattro energie.



Per confermare l'affermazione fatta, vediamo, in Figura 3, la riduzione di eventi causata da un doppio, ma blando, taglio : percentuale di hit superiori al muone > 0.3 e numero totale di hit > 10.

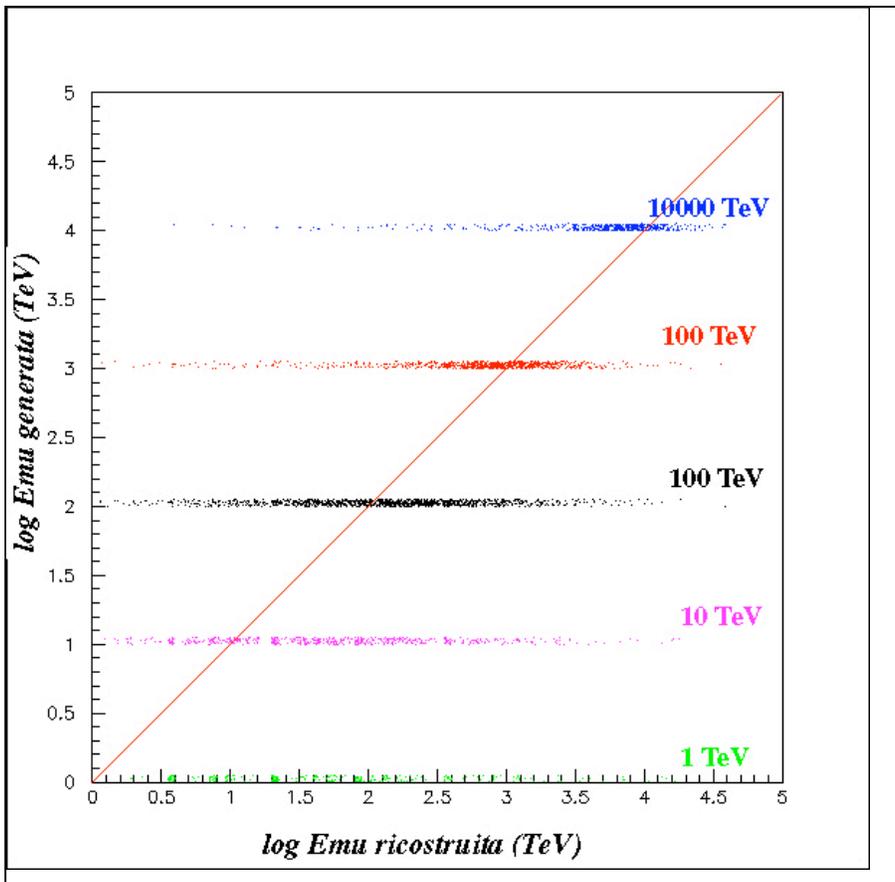


La situazione non sembra variata di molto rispetto a quella mostrata in Figura 1.

**Figura 3** - Riduzione di eventi causata dal doppio taglio : percentuale di hit di ampiezza superiore al muone > 0.3 e numero totale di hit > 10, in funzione dell'energia.

Accantoniamo, per il momento, il problema di porre un taglio inferiore all'energia di una traccia nell'apparato standard, taglio che darebbe modo di isolare i contributi di muoni da neutrini non-atmosferici e non provenienti da sorgenti localizzate (fondo diffuso di AGN, per esempio) e passiamo ad analizzare la possibilita' di valutare l'energia di una traccia.

Di nuovo la variabile piu' promettente sembra essere la percentuale di hit con ampiezza superiore a quella del muone (vedi Figura 20 del memo precedente). Ho provato a fittare ed invertire la funzione che lega detta percentuale all'energia nell'intervallo 10-10000 TeV.



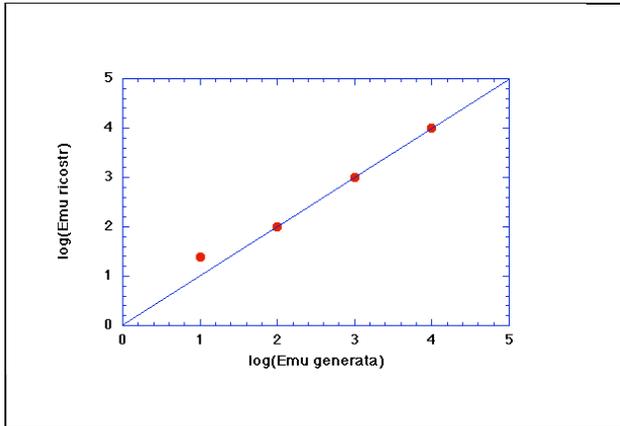
Nella Figura 4 gli eventi sono rappresentati nel piano "log dell'energia generata/ log dell'energia ricostruita".

**Figura 4** - Relazione fra energia ricostruita ed energia generata per energia della traccia superiore ad 1 TeV.

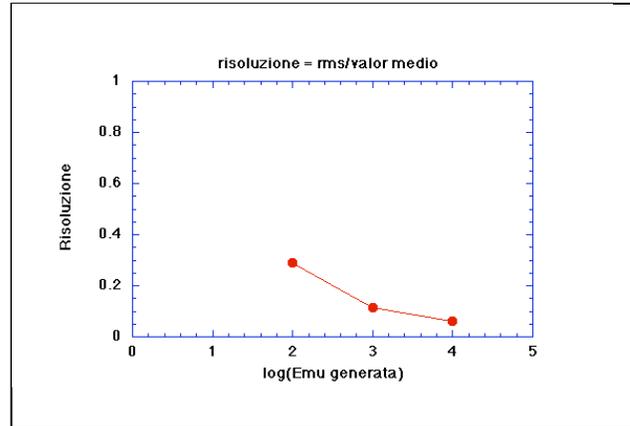
Le fluttuazioni sono ampie ma almeno per le energie superiori sembra possibile dare una valutazione dell'energia della traccia.

I risultati del calcolo dell'energia a partire dalla variabile "percentuale di hit con ampiezza superiore a quella del muone " sono riportati in termini di linearita' e risoluzione nelle Figure 5 e 6.

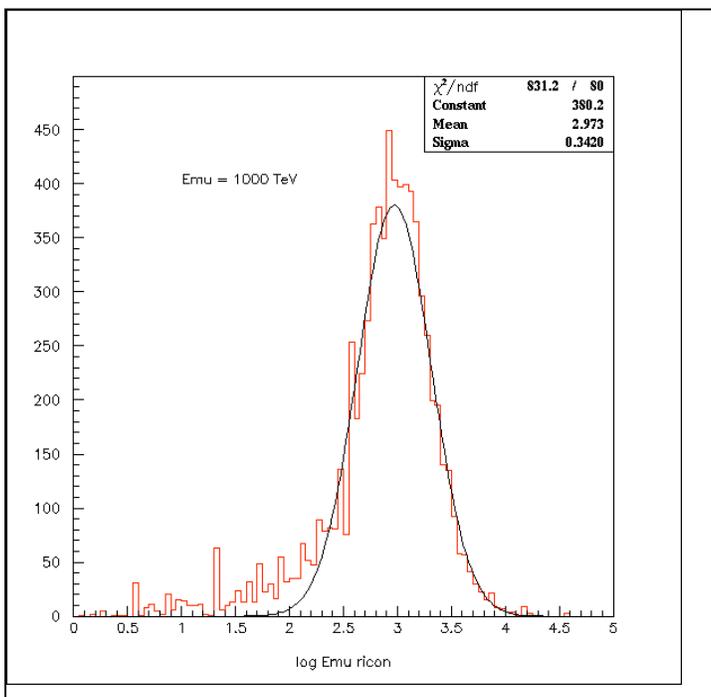
Sono riportati i valori medi di un fit gaussiano sulla distribuzione dell'energia ricostruita ed i valori del rapporto "sigma/valor medio". Un esempio del fit e' riportato in Figura 7, relativamente al punto a 1000 TeV.



**Figura 5** – Relazione fra Energia ricostruita ed Energia generata nell'apparato standard 20\_40\_180.



**Figura 6** – Risoluzione dell'Energia ricostruita, definita come il rapporto fra la sigma della distribuzione ricostruita ed il suo valor medio. Il punto a 10 TeV non e' riportato in quanto fuori dalla curva di linearita'.



**Figura 7** – Distribuzione del valore ricostruito di energia e suo fit gaussiano a 1000 TeV.

I risultati sembrano promettenti, almeno da 100 TeV in su, anche se e' necessario tener presenti le seguenti circostanze:

- un taglio sul valore della "percentuale di hit superiori al muone", necessario per invertire la funzione, lascia solo la parte superiore della distribuzione alle energie minori, 1-10 TeV, facendo ricostruire energie maggiori di quella reale;
- la circostanza citata produce un effetto, anche se piccolo, ancora a 100 TeV;
- la coda a bassi valori di "percentuale di hit superiori al muone" alle energie maggiori abbassa il valor medio dell'energia ricostruita, ma non dovrebbe essere difficile eliminarla lavorando su qualche altro parametro.

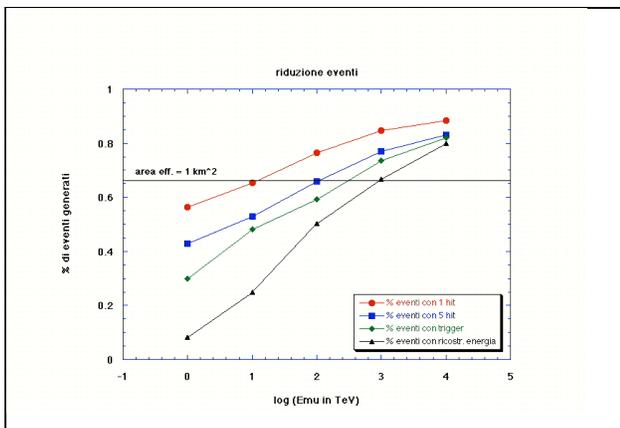
In conclusione, l'analisi esposta mostra qualche possibilita' sia di porre un taglio sull'energia minima di una traccia, sia di avere, con risoluzione ragionevole, una valutazione dell'energia stessa. Purtroppo tali possibilita' sembrano efficaci solo ad energie piu' alte di quelle che vorremmo. Sembra molto probabile che un aumento della densita' di fotomoltiplicatori migliorerebbe di molto tale situazione. Verso una verifica di tale affermazione si indirizzera' il lavoro che segue.

Ripeto che nell'apparato standard il range di energia in cui il metodo sembra applicabile e' troppo ristretto: alle energie basse, 10 TeV per intenderci, il numero di hit con segnale grande e' piccolo ed impedisce una ricostruzione che abbia significato; alle energie alte il limite al valore 1 della variabile usata porta alla saturazione del valore di energia ricostruibile. La possibilita' di estendere la sensibilita' della misura a 10 TeV e' essenziale in quanto e' a tale energia che il contributo dei neutrini atmosferici comincia a diventare inferiore a quello dei neutrini da sorgente.

Come prima variante dell'apparato ho assunto un apparato che conservi il numero totale di PM, la lunghezza dei bracci trasversali e la distanza fra essi, ma abbia una distanza fra le torri verticali di 100 metri. In questo modo, ovviamente, l'apparato risulta piu' piccolo di volume e per questo sara' nel seguito indicato come "apparato piccolo".

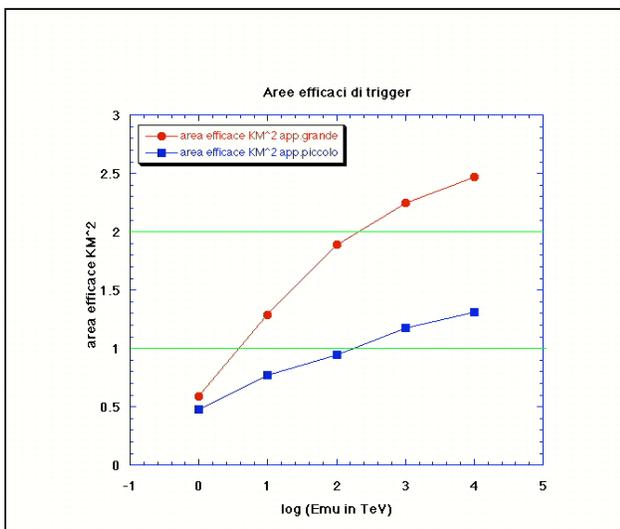
L'area efficace, come dalla definizione standard senza tagli di OPNEMO Box, passa da 2.9 km<sup>2</sup> a 1.6 km<sup>2</sup>, con una perdita di circa il 45%.

La nuova catena di riduzione degli eventi e' riportata nella Figura 8.

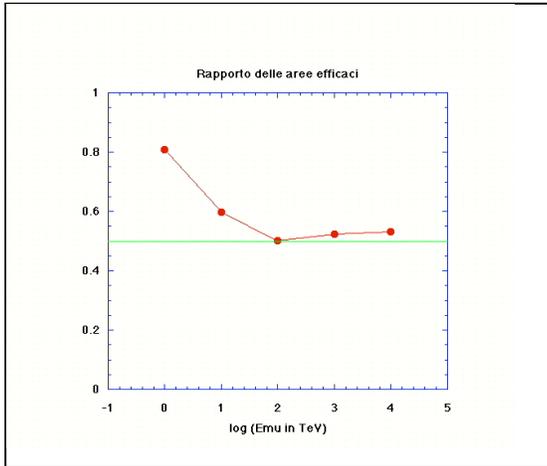


**Figura 8** – Catena di riduzione degli eventi nell'apparato piccolo. L'ultima curva, relativa al taglio per la ricostruzione dell'energia, verra' spiegata in seguito.

La perdita in area efficace e' riassunta nelle Figure 9 e 10.



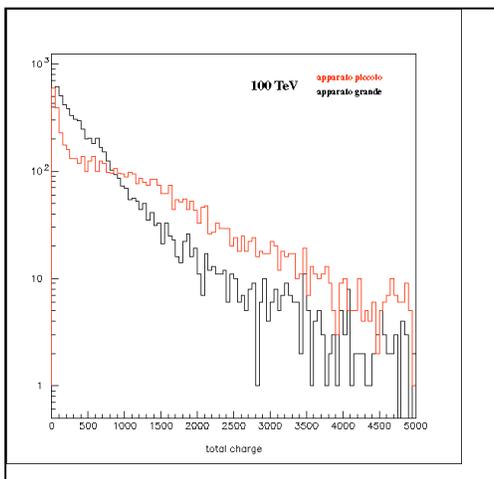
**Figura 9** – Aree efficaci di trigger per l'apparato grande (distanza torri 180 metri) e l'apparato piccolo (distanza torri 100 metri).



**Figura 10** – Rapporto delle aree efficaci di trigger fra i due apparati.

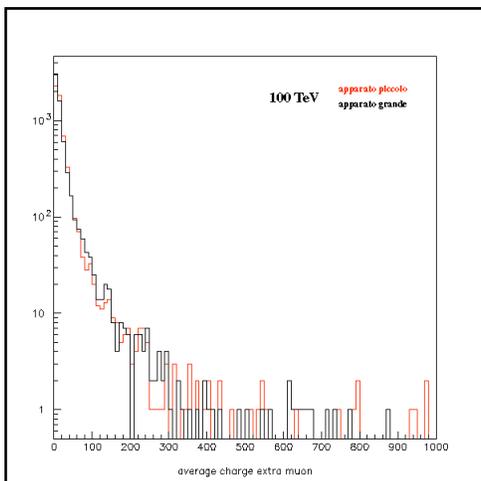
A fronte della riduzione dell'area efficace, quale vantaggio si otterrebbe a compattare l'apparato a parità di numero di PM?

La minore distanza di una traccia dai PM porta ad una maggior carica raccolta, anche se il percorso di questa all'interno dell'apparato è più breve. Questo si può vedere, ad esempio, nella Figura 11.



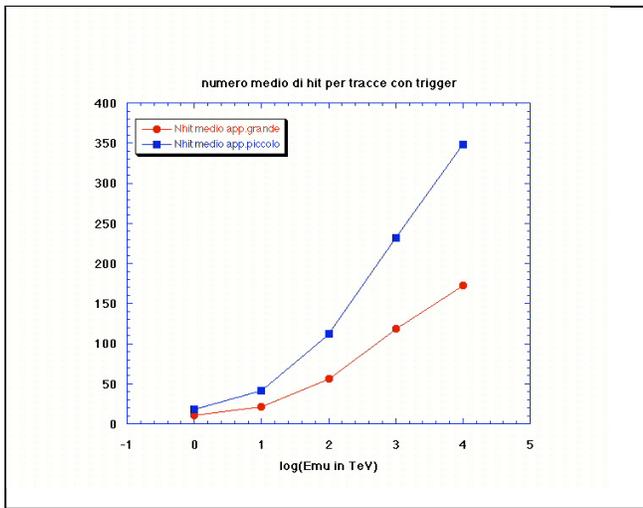
L'aumento di carica totale è dovuto al maggior numero di segnali prodotti: la carica media da sciame (carica raccolta sottratta del segnale del muone) per PM, infatti, non varia fra i due apparati (Figura 12).

**Figura 11** – Distribuzione di carica totale raccolta dai due apparati per tracce da 100 TeV.



**Figura 12** – Distribuzione di carica media, sottratta del contributo del muone, raccolta dai due apparati per tracce da 100 TeV.

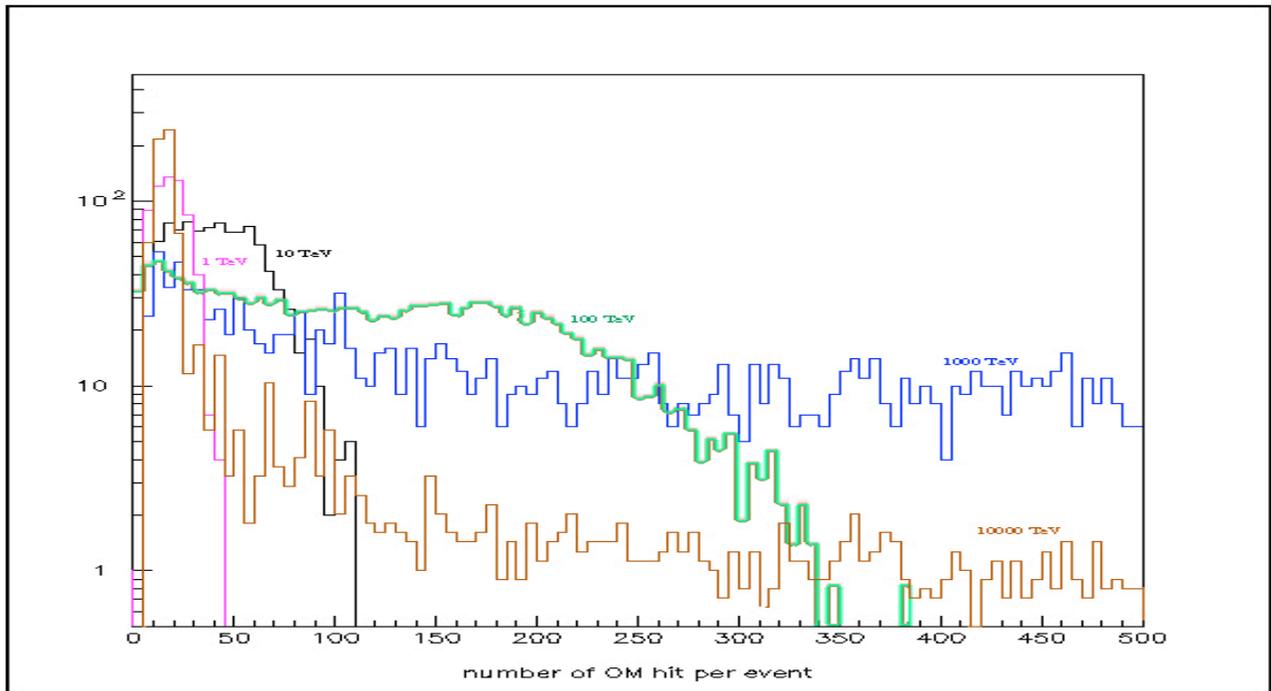
Da quanto detto appare evidente che un eventuale vantaggio dell'apparato piccolo rispetto a quello grande puo' derivare dal numero maggiore di segnali prodotti da una traccia. Quantifichiamo l'aumento di segnali nella Figura 13.



**Figura 13** – Numero medio di hit per traccia nei due apparati.

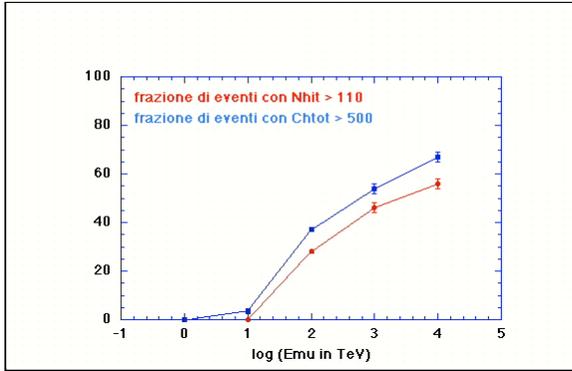
Il sensibile aumento del numero di segnali dovrebbe rendere possibile nell'apparato piccolo porre un affidabile taglio all'energia minima agendo sul numero di hit: questo puo' vedersi nella Figura 14. Nei limiti della statistica usata, 2000-3000 eventi per energia, un taglio a 110 hit eliminerebbe tutte le tracce con energia inferiore a 10 TeV. Senza grandi perdite alle energie maggior si potrebbe incrementare il valore di taglio se necessario.

Analogo risultato si potrebbe ottenere operando un taglio sulla carica totale.



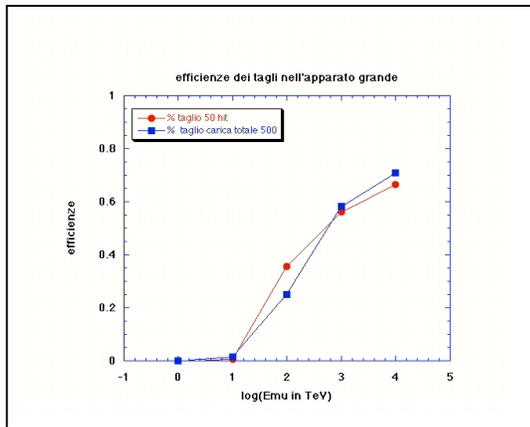
**Figura 14** – Distribuzioni del numero totale di segnali prodotti da tracce di diverse energie nell'apparato piccolo.

L'efficienza, in funzione dell'energia, dopo questi tagli e' riportata in Figura 15.



**Figura 15** – Efficienza dei tagli a 110 PM ed a Chtot = 500 in funzione dell'energia della traccia nell'apparato piccolo.

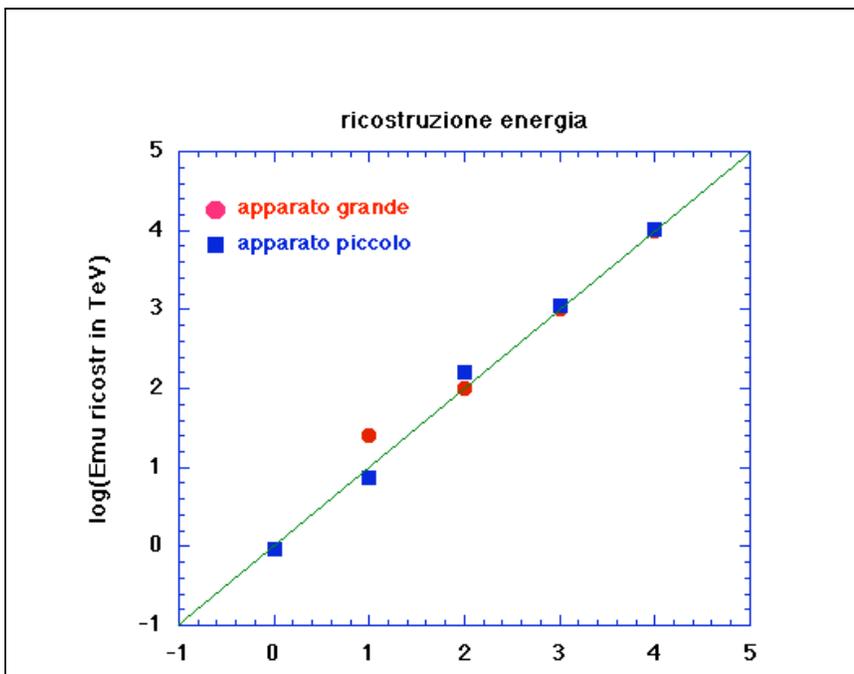
Avendo verificato la possibilita' di taglio torniamo all'apparato grande per il quale riportiamo, nella Figura 16, l'analogo risultato per. Anche qui un taglio e' possibile ma, per il minor numero di hit per traccia, il taglio sugli hit va abbassato a 50, in una zona delle distribuzioni piu' ripida alle alte energie.



**Figura 16** – Efficienza dei tagli a 50 PM ed a Chtot = 500 in funzione dell'energia della traccia nell'apparato grande.

Dove, pero', il compattamento dell'apparato sembra produrre gli effetti piu' evidenti e' nella ricostruzione dell'energia.

Utilizzando il metodo gia' descritto si e' ottenuta la curva di linearita' di Figura 17.



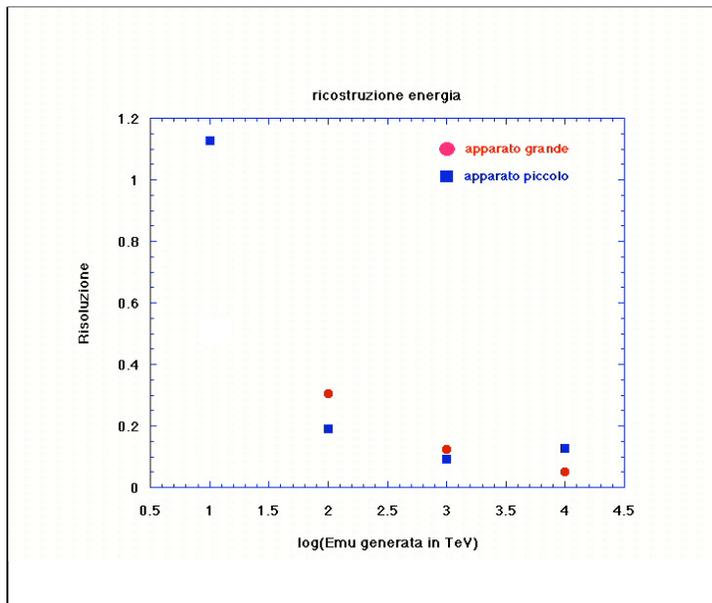
**Figura 17** – Curve di linearita' della ricostruzione dell'energia di una traccia nei due apparati. Ad 1 TeV nell'apparato piccolo e' riportato il valor medio dell'energia ricostruita anche se non e' definibile un rms significativo

Come si vede, si ottiene una ottima linearita' nella zona di energia 10 – 10000 TeV, a differenza di quanto accade nell'apparato grande nel quale la ricostruzione comincia a funzionare bene solo dopo 100 TeV. Il non ricostruire bene la parte inferiore di uno spettro di energia puo' portare una grande distorsione dello stesso se le energie inferiori non possono essere tagliate con sicurezza. Quanto detto apparira' piu' chiaro nel seguito.

Per ricostruire l'energia si e' dovuto operare un taglio inferiore sulla variabile "percentuale di hit con ampiezza superiore a quella di un muone"; all'efficienza di tale taglio si riferisce la curva inferiore di Figura 8, per quanto riguarda l'apparato piccolo. Tale taglio lascia pochissimi eventi ad 1 TeV; dal valor medio dell'energia con essi ricostruita e' ricavato il punto riportato in Figura 17.

Anche la risoluzione in energia ricostruita si avvantaggia della maggiore compattezza dell'apparato, anche se piu' piccolo, in quanto recupera la misura a 10 TeV.

Il confronto fra le risoluzioni dei due apparati e' riportato in Figura 18.



**Figura 18** – Risoluzione dell'energia ricostruita per i due apparati. Il punto a 10 TeV per l'apparato grande non e' riportato in quanto il risultato della ricostruzione e' fuori dalla linearita'. Ad 1 TeV nell'apparato piccolo non e' possibile definire una risoluzione.

In conclusione, un apparato piu' compatto, a fronte di una riduzione di area efficace di circa un fattore 2 alle energie maggiori, presenta evidenti vantaggi nella ricostruzione dell'energia delle tracce in quanto:

- e' piu' facile porre un taglio inferiore affidabile all'energia nella regione d'interesse per la neutrino-astronomia,
- anche con un algoritmo semplice che non usa direttamente l'ampiezza dei segnali si ricostruisce con buona linearita' e risoluzione l'energia nell'intervallo ~1-10000 TeV.

La diminuzione di area efficace, se non si intenda estendere subito l'apparato fino alle dimensioni originali con la stessa densita' e, quindi, con un numero ben maggiore di PM, potrebbe essere sopportabile.

**Il miglioramento sostanziale dovuto alla aumentata densita' di rivelatori mi sembra ben stabilita.**

I risultati riportati in questa nota servono solo ad indicare la possibilita' di ricostruire l'energia di una traccia e la dipendenza della qualita' della ricostruzione dalla disposizione e dalla densita' dei rivelatori. Altre prove sono necessarie con apparati parzialmente modificati rispetto alla struttura base. E' inoltre necessario provare a ricostruire spettri d'energia "ragionevoli" per valutare la bonta' dei metodi.

Infine :

**tutto quanto detto va confermato dopo che sia stata controllata la corretta simulazione della emissione di luce dagli sciame, sia stato introdotto il fondo di  $^{40}\text{K}$  e ricostruite le tracce.**