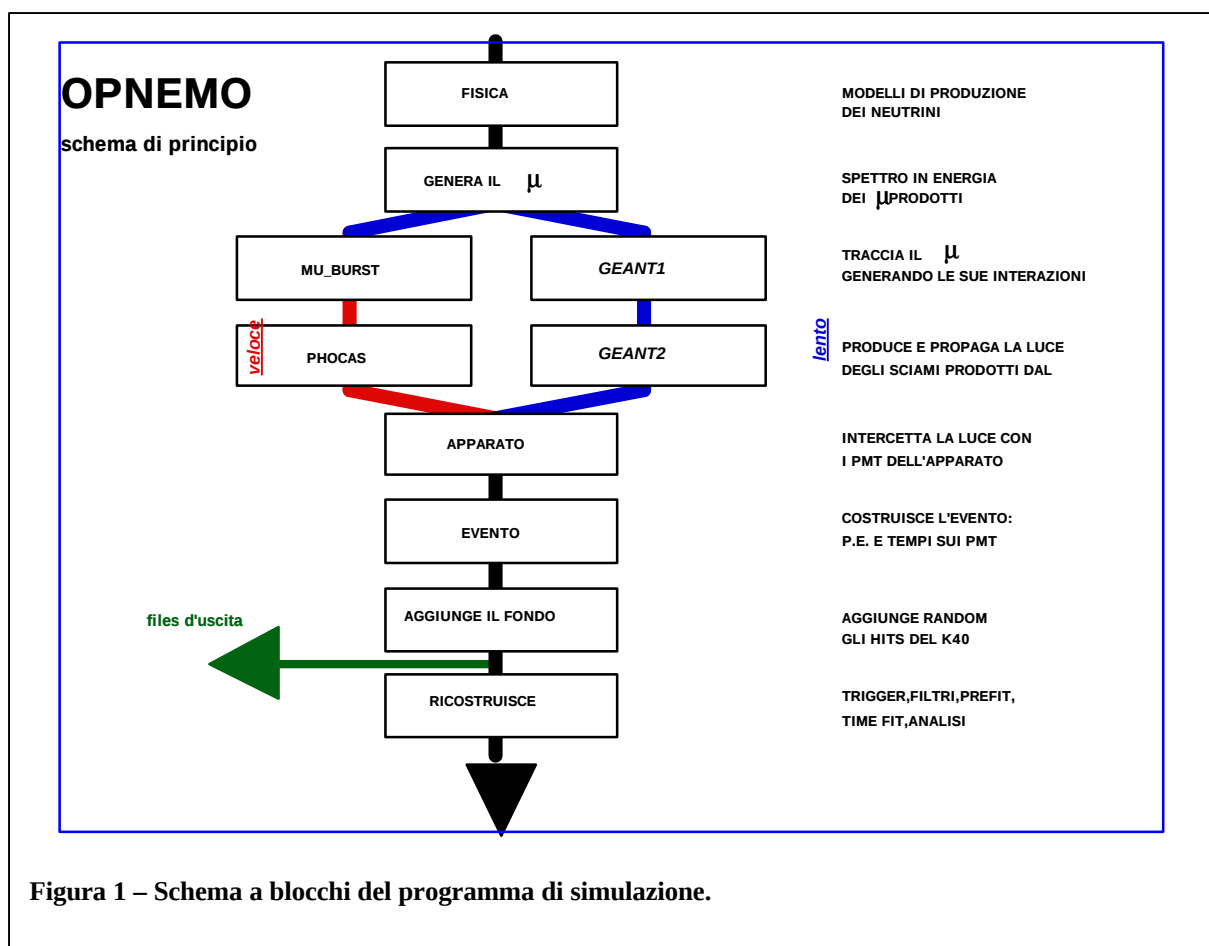


Simulazioni

Simulazione dell'apparato

Generalità del programma di simulazione

Lo schema di principio del programma di simulazione utilizzato, è riportato nella figura 1. Le varie sezioni ed il loro stato di avanzamento sono nel seguito descritte seguendo il diagramma a blocchi di figura 1.



FISICA: questa parte, non ancora implementata, conterrà i flussi di neutrini diversificati per tipo di sorgente ed i conseguenti flussi di muoni prodotti.

GENERA IL μ : in assenza della parte di fisica, vengono qui generati gli spettri in energia ed angolo dei muoni. Per la maggior parte dei risultati riportati nel seguito viene usata generando flussi ad energia fissa, ed isotropi sia in $\cos\theta$ che in ϕ .

MU_BURST: produce le interazioni del μ generando il punto d'origine e l'energia degli sciame elettromagnetici da questo prodotti.

PHOCAS: per ogni sciame generato dal μ produce la quantità di luce emessa per effetto Cerenkov e la sua distribuzione angolare

MU_BURST e **PHOCAS** appartengono al cosiddetto MonteCarlo veloce

GEANT 1: in questa parte il tracciamento del μ , la sequenza, cioè, delle sue interazioni, é eseguito utilizzando GEANT.

GEANT 2: la produzione di luce avviene seguendo tutte le particelle dello sciame e tutti i fotoni da queste prodotti.

GEANT 1 e **GEANT 2** appartengono al cosiddetto MonteCarlo lento: programma estremamente lento e di uso proibitivo per energie molto elevate ed apparati complessi.

APPARATO: in questa parte, che consta di diverse componenti, la luce viene propagata fino ai PMT, tenendo conto dell'attenuazione nell'acqua, convertita al fotocatodo in fotoelettroni ed, eventualmente. Viene prodotta la carica totale e la struttura temporale dell'impulso in ciascun PMT per i segnali al di sopra della soglia minima.

EVENTO: viene costruito l'evento come sequenza di PMT colpiti per ciascuno dei quali si registra il tempo d'inizio dell'impulso, la sua struttura temporale e l' ampiezza integrale.

AGGIUNGE IL FONDO: in un intervallo temporale opportuno che contiene l'evento aggiunge casualmente gli impulsi generati dal decadimento del ^{40}K , in accordo con la frequenza di decadimento e la soglia d'ampiezza prescelta. Questa parte esiste per ora solo in una versione molto preliminare e non é stata ancora usata.

A questo punto vengono generati dei file dati.

RICOSTRUISCE: la ricostruzione dell'angolo della traccia nello spazio si articola nei passi seguenti:

Soglia: applica la soglia in fotoelettroni ai segnali dei PMT

Trigger: definisce la configurazione minima di rivelatori;

Filtri: eliminano il maggior numero possibile di hits di fondo;

Prefit: determina preliminarmente la traccia;

Fit: effettua con un procedimento iterativo di minimizzazione il fit finale della traccia;

Analisi.

La ricostruzione dell'energia della traccia non é stata ancora implementata.

Simulazione del fotomoltiplicatore e costruzione del segnale

I fotoni generati allorché colpiscono uno dei fotomoltiplicatori dell'apparato vengono convertiti in fotoelettroni tenendo conto delle seguenti caratteristiche:

- angolo e posizione d'impatto del fotone sul fotocatodo;
- efficienza catodica;
- risoluzione temporale.

La struttura temporale del segnale generato in fotoelettroni viene costruita tenendo conto della risoluzione e della dispersione temporale del PMT.

Per i risultati riportati nel seguito non é stata usata la struttura temporale del segnale.

Generazione dei muoni e loro tracciamento nell'acqua

I muoni sono generati, con definita distribuzione in energia ed angolo, in punti distanti dal bordo fisico dell'apparato e propagati nell'acqua, prima all'esterno e poi all'interno del rivelatore stesso. Due diversi tipi di generazioni sono stati utilizzati:

- a) generazione con un disco di diametro pari alla distanza massima fra i moduli ottici dell'intero apparato più quattro volte la lunghezza di attenuazione della luce nell'acqua e posto ad una distanza dal centro dell'apparato pari al raggio del disco stesso.
- b) generazione da una superficie di forma uguale a quella dell'apparato che lo contiene. I lati della superficie di generazione sono uguali ai lati del rivelatore più cinque volte la lunghezza d'attenuazione.

Nella propagazione si tiene conto della perdita di energia attraverso tutti i processi possibili: ionizzazione, bremsstrahlung, produzione diretta di coppie elettrone-positrone ed interazioni fotonucleari. Vengono quindi conservati i parametri degli sciame elettromagnetici prodotti: punto di emissione lungo la traiettoria ed energia.

Emissione e propagazione della luce emessa

La luce emessa da un muone nell'acqua é la somma di due distinte componenti: quella direttamente emessa dal muone per effetto cerenkov e quella emessa dagli elettroni degli sciame elettromagnetici prodotti nelle interazioni del muone.

Per calcolare la luce cerenkov emessa da uno sciame elettromagnetico si parte usualmente dalla distribuzione, in angolo ed energia, degli elettroni presenti nello sciame.

Tali distribuzioni sono parametrizzate in letteratura in forma analitica o espressi in tabelle a passi discreti (1).

Il limite delle parametrizzazioni correnti risiede nel fatto che gli elettroni sono assunti emessi tutti dal vertice dello sciame. Per tener conto dell'effettivo sviluppo longitudinale dello sciame, la distribuzione angolare della luce emessa viene corretta sulla base di formule empiriche ricavate da simulazioni parziali basate sul tracciamento di tutte le particelle dello sciame, includendo fluttuazioni e correlazioni fra di esse.

Un esempio delle differenze fra i vari approcci é mostrato nella figura 2 (REF). In Fig. 2 “this simulation” si riferisce alla parametrizzazione di Wiebush (REF) e la correzioni apportate a questa parametrizzazione tengono in conto gli effetti dovuti alla presenza di tracce non relativistiche nello sciame.

La parametrizzazione utilizzata per lo studio iniziale dell'apparato NEMO é sufficientemente accurata (vedasi paragrafo successivo) per la determinazione delle aree efficaci e di altri parametri globali ed ad energie non troppo elevate. Per un'analisi più dettagliata, soprattutto per eventi in cui pochi rivelatori sono stati interessati o per la creazione di algoritmi per la valutazione dell'energia della traccia, é necessaria una simulazione più realistica della distribuzione angolare della luce emessa.

Una nuova parametrizzazione é stata messa a punto ed inserita nel programma generale di

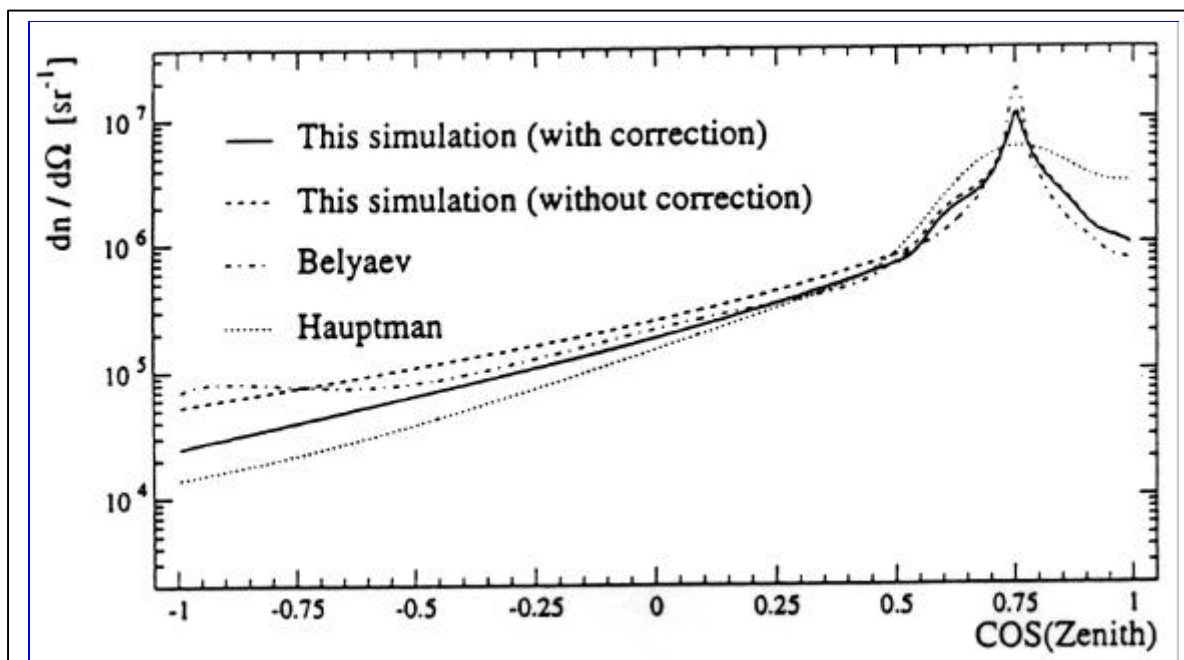


Figura 2 - Confronto fra le distribuzioni angolari della luce emessa da uno sciame elettromagnetico basate su diversi approcci di parametrizzazione. Per il significato della varie curve vedi il testo

simulazione, ma non ancora completamente controllata.

I fotoni prodotti vengono propagati nell'acqua lungo la direzione di emissione senza tener conto di eventuale diffusione. Tale approssimazione é, per il momento, sufficiente, data la distribuzione angolare dello scattering, prevalentemente in avanti ed a piccoli angoli, e la grande lunghezza di scattering misurata in siti marini. Si tiene invece correttamente conto della lunghezza d'assorbimento.

Controllo della parametrizzazione della luce emessa

Per verificare il livello d'affidabilità della parametrizzazione usata è stato effettuato un confronto fra MC lento e MC veloce. Per questo si è simulato un apparato ad hoc costituito da una sola stringa lunga 300 metri equipaggiata con 200 PMTs, 100 rivolti verso il basso e 100 verso l'alto a 3 metri di distanza l'uno dall'altro. Il PMT usato ha un'area di fotocatodo di 15'' una risoluzione temporale di 2.5 nsec ed efficienza di fotocatodo di 0.25. I muoni sono generati da un disco con una distribuzione uniforme nell'angolo θ rispetto alla stringa. Il confronto è stato effettuato fino a 10^5 GeV. Tale simulazione è stata recentemente estesa fino ad energie di 10^8 GeV inserendo la corretta simulazione della sezione d'urto fotonucleare del muone (REF).

vedasi S. Bottai e L. Perrone: Simulation of UHE muons propagation for GEANT3, hep-ex/000101018, di prossima pubblicazione su NIM).

Nelle Figure 3, 4 e 5 sono riportati i confronti relativi alla quantità di luce totale, al numero medio di PMT con segnale ed al valor medio di luce sui PMT.

Come si vede, la quantità di luce totale risulta la stessa nei due calcoli, ma nel MC veloce essa è distribuita su un numero minore di PMT, come ci si deve aspettare considerando che, in tal caso, poiché la luce degli sciame risulta emessa tutta da un punto, essa resta "compattata" in una zona più ristretta. L'effetto tende ad aumentare con l'energia, ovvero con la dimensione dello sciame.

Anche il confronto fra le asimmetrie avanti/dietro della luce emessa, in funzione dell'angolo θ è buono, come si vede nella Figura 6, relativa alla decade di energia 100-1000 GeV dove è riportata la differenza fra la carica sommata dei rivelatori up e dei rivelatori down normalizzata alla carica totale (una delle distribuzioni è stata invertita per facilitarne la

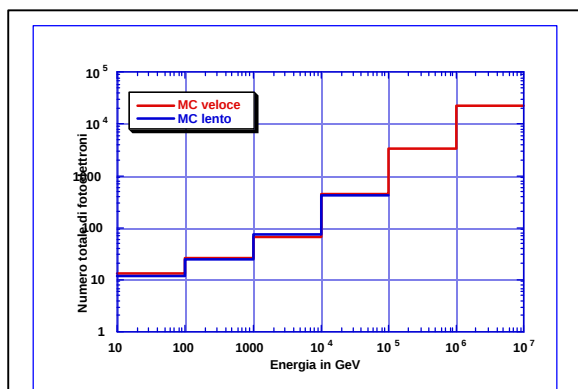


Fig. 3 – Numero totale di fotoelettroni emessi in funzione dell'energia dei muoni per il MC lento ed il MC veloce.

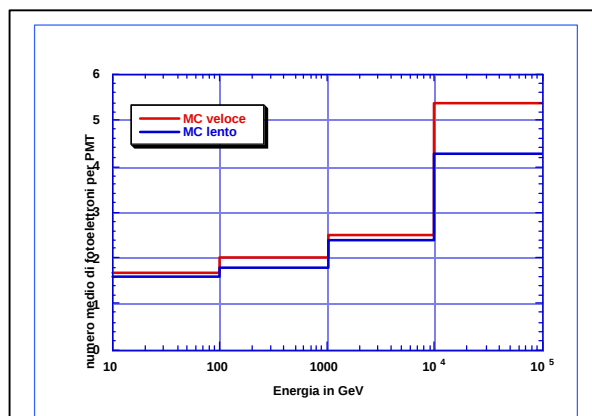


Fig. 4 – Numero medio di fotoelettroni per PMT emessi in funzione dell'energia dei muoni per il MC lento ed il MC veloce.

lettura).

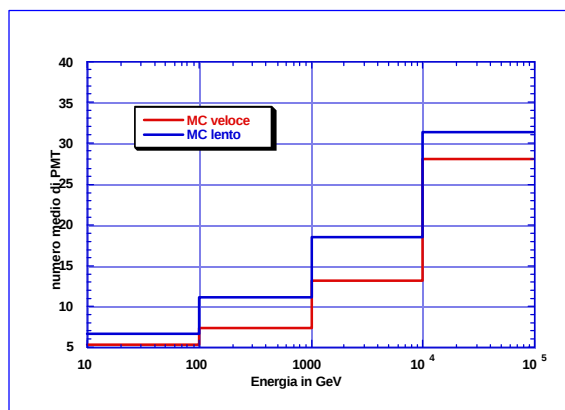


Fig. 5 – Numero medio di PMT colpiti in funzione dell'energia del muone per il MC lento e per il MC veloce.

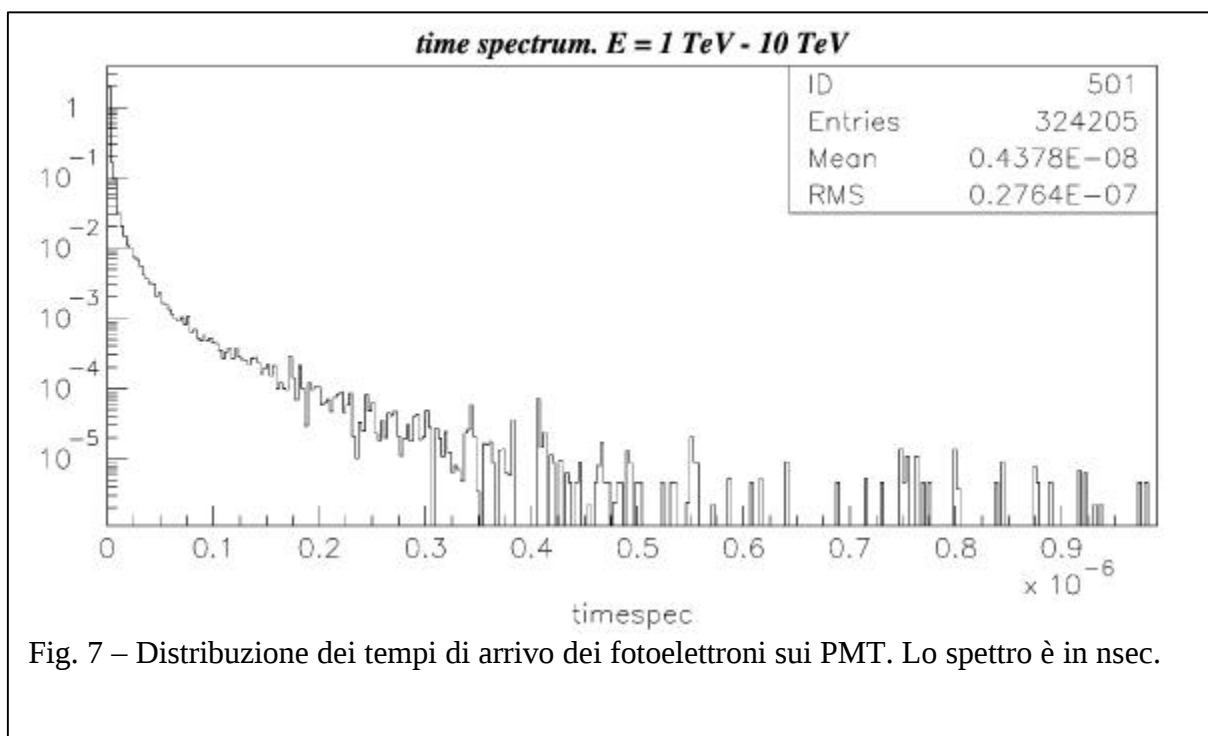
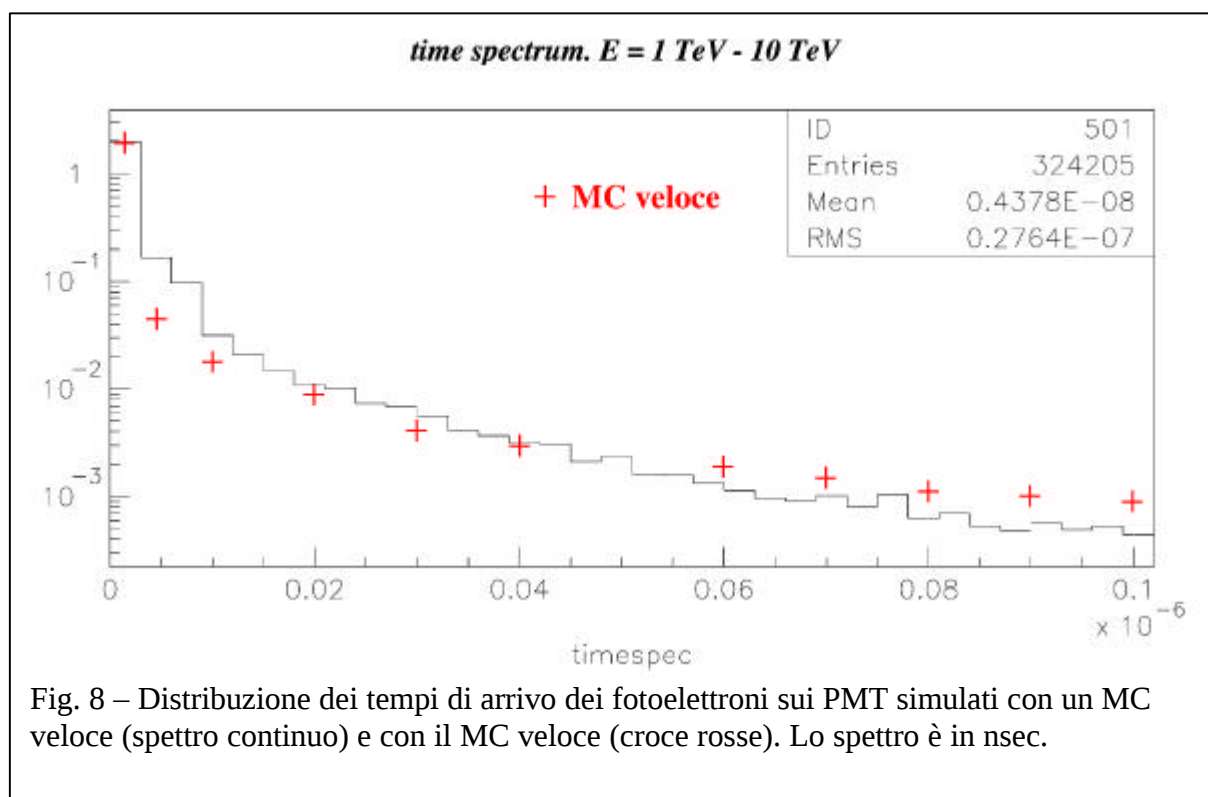


Fig. 7 – Distribuzione dei tempi di arrivo dei fotoelettroni sui PMT. Lo spettro è in nsec.

Per quanto riguarda la distribuzione temporale di arrivo dei fotoni sui PMT il confronto fra i MC non é ancora definitivo per una limitazione inserita inizialmente nel programma che memorizza i tempi d'arrivo solo dei primi 40 fotoni. Nell'intervallo 1-10 TeV, il 12% dei segnali dei PMT é prodotto da più di 40 fotoni.

Nelle figure 7 e 8 sono riportati i risultati del MC lento per l'intervallo di energia 1–10 TeV rispettivamente per un intervallo temporale di 1µsec e 100 nsec. In figura 8 è riportato il



confronto con lo spettro simulato con il MC lento (croci rosse).

La già citata approssimazione puntuale della emissione di luce dagli sciame del μ nel MC veloce influisce sulla distribuzione temporale, rendendola più allungata, come si vede nella figura 8 (i fotoni che raggiungono i PMT più lontani hanno percorso un cammino maggiore impiegandoci più tempo).

Ricostruzione

La procedura di ricostruzione utilizzata fa uso di un PREFIT analitico sulle posizioni ed i tempi di arrivo dei segnali sui fotomoltiplicatori attivati ed un successivo FIT che, verificando la compatibilità dei tempi di arrivo dei segnali, modifica gli angoli della traccia cercando una soluzione con un χ^2 inferiore ad un prefissato valore di taglio; successive iterazioni eliminano i segnali meno coerenti. Come tempo d'arrivo del segnale viene utilizzato il tempo del primo fotone convertito al fotocatodo. Il numero di PMT necessari per la ricostruzione è di almeno 6 PMT dato che questa deve essere in grado di definire 5 parametri (le coordinate della posizione nello spazio, l'angolo di zenith e l'angolo azimutale del muone). La ricostruzione descritta è sufficiente per le analisi preliminari finora condotte, ma dovrà essere sostituita da una più accurata procedura di minimizzazione.

Altri approcci completamente diversi al problema della ricostruzione basati sulle reti neurali sono in fase di messa a punto. Costruiti i sistemi base di definizioni, i due metodi sono in fase di "apprendimento". A prescindere dal contributo di velocità ed affidabilità alla ricostruzione, ci si aspetta da tali metodi un notevole aiuto nella risoluzione di casi con più tracce nel rivelatore.

Studio della struttura generale dell'apparato ed aree efficaci

Forma dell'apparato e granularità

In generale un apparato per la rivelazione di muoni attraverso la luce Cerenkov da questi emessa in acqua ha la struttura di un reticolo tridimensionale in ogni nodo del quale é situato un modulo ottico costituito da uno o più fotomoltiplicatori.

Tale caratteristica é dettata inevitabilmente dalle seguenti necessità:

- la ricerca di sorgenti localizzate in coordinate galattiche richiede apparati il più possibile isotropi in zenit ed azimut;
- un buon puntamento, cioè una buona risoluzione angolare per le tracce rivelate, richiede un numero non basso di PMT illuminati non coplanari;
- la trasparenza dell'acqua e l'eventuale esigenza di costruire un trigger locale pongono un limite superiore alla distanza fra i PMT;
- le dimensioni totali dell'apparato rendono impensabile una copertura fotocatodica elevata, d'altro canto non necessaria per tracce lunghe (tracce di alta energia possono essere ricostruite connettendo a posteriori parti separate delle stesse).

In termini generali, il reticolo può avere densità omogenea o meno di moduli ottici e può essere realizzato con stringhe verticali di moduli ancorate al fondo o con strutture equivalenti ad un cluster di stringhe verticali (torri) dislocate lontane l'una dall'altra.

Il programma GEOM fornisce le coordinate e le orientazioni di ogni modulo ottico contenente il fotomoltiplicatore per varie configurazioni geometriche dell'apparato con un volume fissato.

Per i primi calcoli destinati a fornire un disegno di massima del rivelatore per lo studio di realizzabilità, é stato assunto un volume globale di circa 1 km^3 .

Per la stima delle aree efficaci dell'apparato due tipi differenti di struttura del rivelatore, con altezze di circa 300 e 600 metri, sono stati analizzati: il reticolo cubico omogeneo e la struttura a torri.

Nel primo caso, vedi fig. 9, la distanza d tra i moduli ottici, il “passo del reticolo”, è considerata uguale in orizzontale ed in verticale e viene assunta come variabile nel calcolo. In ogni nodo del reticolo sono posti due PMT uno che guarda verso l’alto (UP) e l’altro che

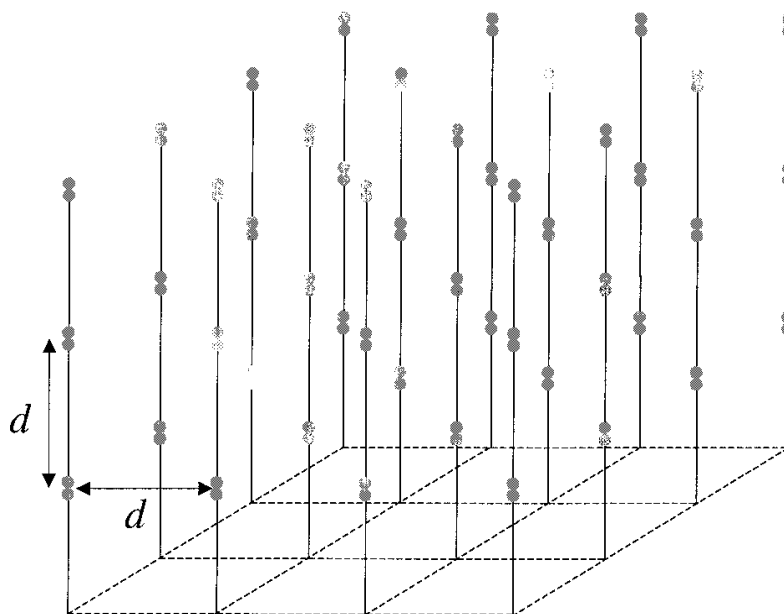


Fig. 9 - Schema della struttura a reticolo cubico omogeneo

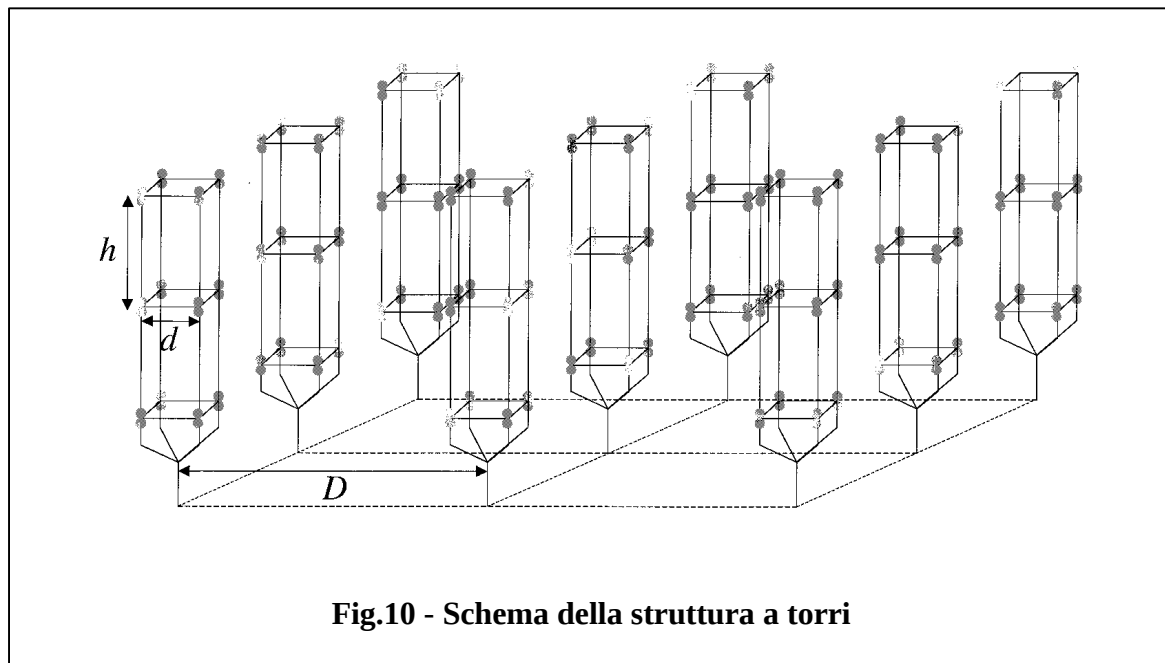
guarda verso il basso (DOWN). Le simulazioni sono state effettuate per diversi valori del passo del reticolo.

In tabella I sono riportati, per ciascun passo del reticolo le caratteristiche geometriche degli apparati.

Passo d [m]	Dimensioni [km]	Volume [km ³]	N° stringhe	PMT
50	1.3x1.3x0.60	1.014	729	18954
70	1.26x1.26x0.63	1.000	361	7220
70	1.82x1.82x0.28	0.927	729	7290
90	1.26x1.26x0.63	1.000	225	3600

Tab. I Passo d del reticolo, dimensioni del rivelatore, volume geometrico, numero di stringhe e numero di PMT per differenti geometrie.

Nel caso delle torri, vedi fig. 10, sono state considerate strutture costituite da piani di forma quadrata con moduli ottici posti ai vertici contenenti un rivelatore up e uno down. In questo caso i parametri fondamentali sono tre: il passo interno del piano d , la distanza tra i piani delle



torri h e la distanza tra le torri D . L'altezza dell'apparato sarà indicata con H .

In tabella II sono riportati, per alcuni tipi di configurazione a torri le caratteristiche geometriche salienti.

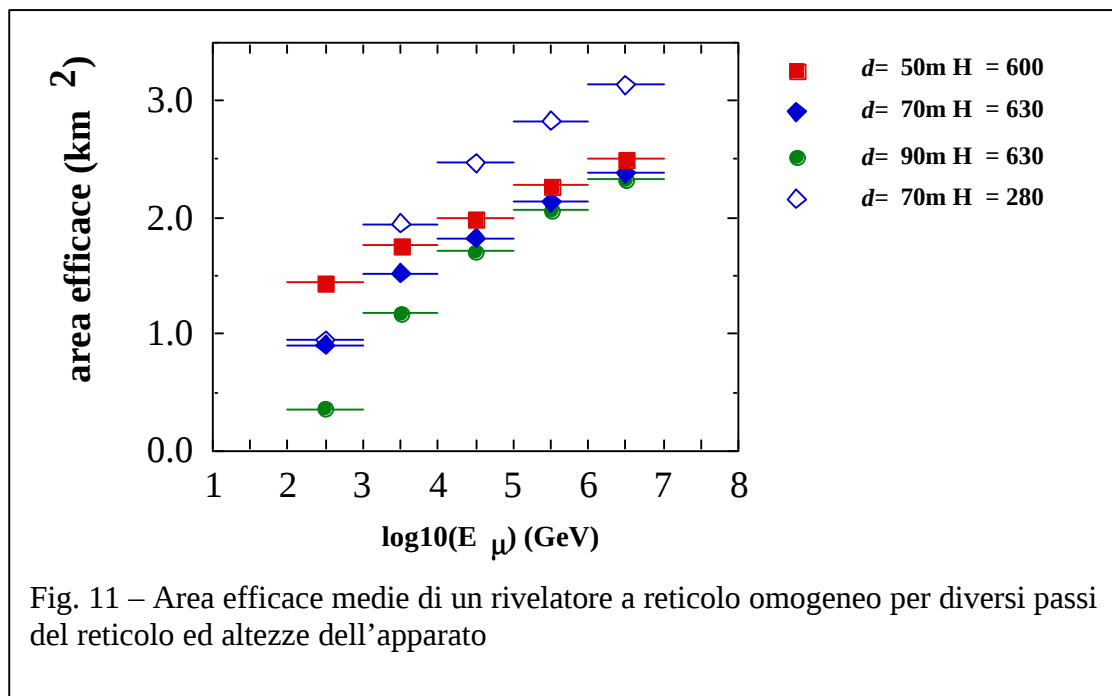
d [m]	h [m]	D [m]	Dimensioni [km]	Volume [km ³]	N° torri	PMT
14	45	110	1.34x1.34x 0.585	1.050	169	18928
14	45	180	1.28x1.28x0.585	0.958	64	7168
14	45	180	1.82x1.82x0.315	1.043	121	7774
14	45	250	1270x1270x585	1.000	36	4032

Tab. II Passo interno del piano d , distanza fra i piani della torre h , distanza fra le torri D , dimensioni del rivelatore, numero di torri e numero di PMT per differenti geometrie.

Per scopi particolari, come lo studio di una possibile ricerca sulle oscillazioni dei neutrini atmosferici, sono state generate anche strutture particolari, come torri a sezione triangolare o esagonale, con o senza una stringa di moduli ottici lungo l'asse centrale (2)

Aree efficaci ed accettazione angolare

Per confrontare le prestazioni in termini di accettazione di apparati con struttura diversa utilizzeremo il parametro "area efficace" definito di seguito.



Si definisce orizzonte del rivelatore una superficie chiusa, contenente il rivelatore, tale che la luce prodotta al di fuori venga assorbita prima di raggiungere i PMT (l'orizzonte viene cioè, assunto distare dalla superficie fisica del rivelatore circa 2 lunghezze di attenuazione dell'acqua). L'area efficace è data dal prodotto fra l'area dell'orizzonte e l'efficienza con cui le particelle che lo attraversano raggiungono il rivelatore e sono da questo rivelate. Il concetto di area efficace è utilizzato per muoni il cui range è più grande delle dimensioni caratteristiche del rivelatore nel nostro caso al di sopra di 1 TeV (regione di interesse per la neutrinoastronomia) mentre per i muoni di più bassa energia sarebbe più corretto introdurre il concetto di volume efficace. I muoni generati da neutrini provenienti da sorgenti astronomiche sono prevalentemente originati al di fuori dell'orizzonte.

L'area efficace è calcolata come prodotto fra la frazione di eventi rivelati (numero di eventi visti dall'apparato con più di 5 PMT accesi divisi il numero di eventi generati) e l'area di generazione. Nel caso di generazione da un disco la superficie di generazione è data dall'area del disco, nel caso di generazione da una box dipende dalla direzione del muone incidente.

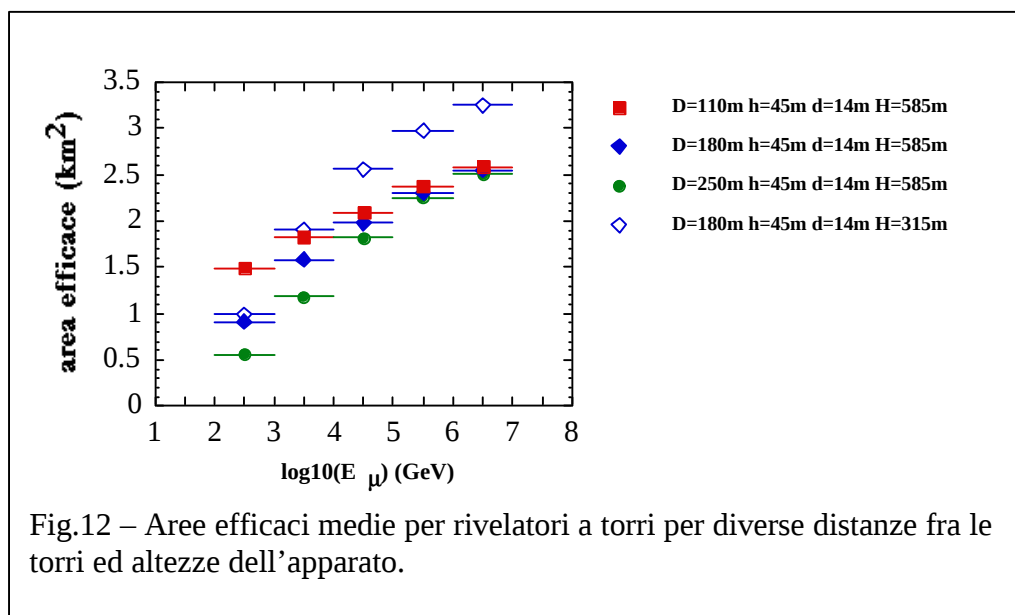
Nei calcoli presentati in seguito, salvo diverse specifiche, sono stati utilizzati i seguenti input:

- generazione da una box
- distribuzione angolare isotropa in $\cos\theta$ (θ angolo azimutale) e ϕ
- decenni di energia con distribuzione esponenziale all'interno della decade
- lunghezza di attenuazione dell'acqua fissata a 55 metri
- soglia di rivelazione 0.25 fotoelettroni
- PMT da 10'' con 2.5 nsec di risoluzione temporale e 0.25 di efficienza quantica

La Figura 11 mostra, in funzione dell'energia, le aree efficaci del rivelatore mediate sull'angolo di emissione del μ per geometrie isotrope al variare del passo del reticolo e dell'altezza dell'apparato.

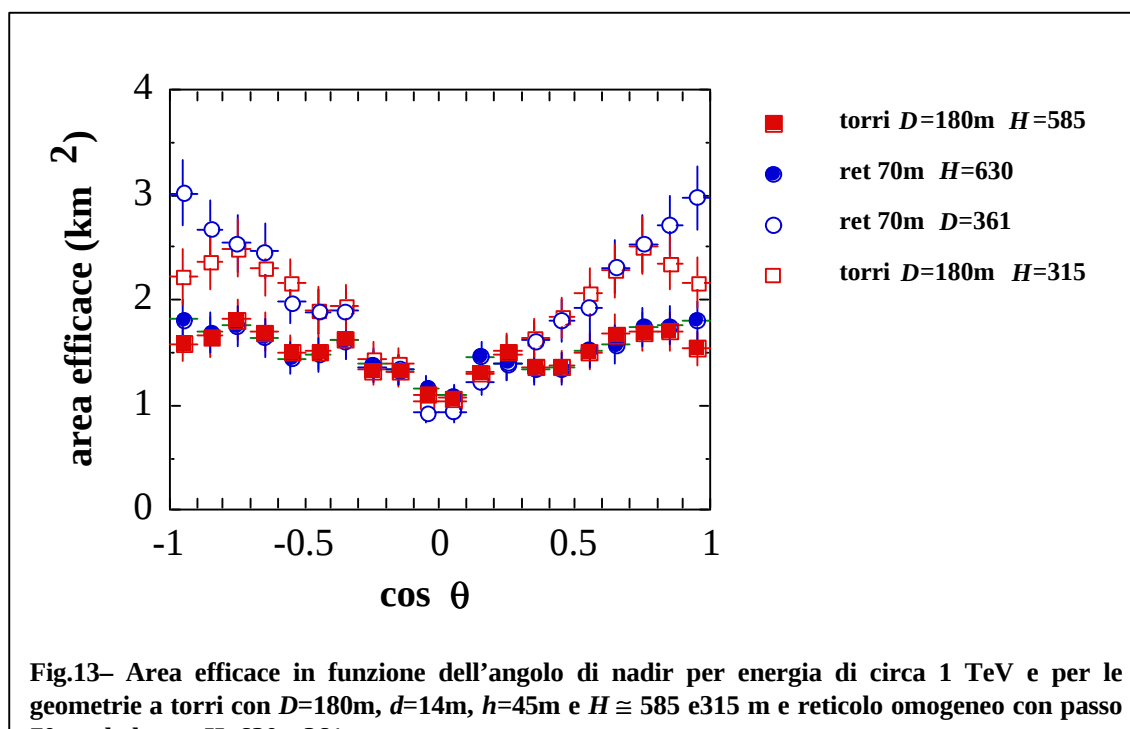
Le configurazioni con 7000 PMT circa hanno aree efficaci prossime o superiori al Km^2 nell'intervallo di energia investigato.

Nel caso della struttura a torri le aree efficaci sono riportate in fig 12. Le configurazioni a torri



danno risultati simili a quelli ottenibili con reticoli omogenei a parità di numero di PMT ed altezza dell'apparato. Per configurazioni a torri il numero di strutture è sensibilmente minore.

Il livello di isotropia dell'accettazione dell'apparato può essere analizzato dalla Figura 13 in cui la distribuzione in angolo di Nadir dell'area efficace é riportata per un reticolo omogeneo di



passo 70 m e per torri distanti 180 m per differenti altezze (600 e 300m circa)

La Figura 13 ha messo in evidenza che le strutture di altezza circa 300 m, che hanno una maggiore area efficace, presentano una maggiore asimmetria di accettazione fra tracce orizzontali e verticali dovuta alla ridotta altezza rispetto all'area di base. La minore accettazione sulla verticale per gli apparati a torri riflette la natura discontinua del rivelatore. Ad angoli fra circa 70° e 110°, l'accettazione angolare fra apparati alti circa 600 e 300 metri é confrontabile. Tale regione angolare é di particolare interesse per la neutrinoastronomia. Infatti, le tracce provenienti verticalmente dall'alto possono essere sommerse dal fondo di muoni atmosferici, mentre la crescente opacità della terra ai neutrini di altissima energia può assorbire il segnale di sorgenti; per tale motivo è di particolare importanza l'accettazione orizzontale.

Effetti della soglia dei PMT

E' stato studiato l'effetto del valore della soglia, in fotoelettroni, imposta a ciascun fotomoltiplicatore sull' accettazione dell'apparato a torri con $D=180\text{m}$ ed altezza circa 600m.

Sono state considerate tracce con energia da 0.1 a 1000 TeV, 5000 eventi per decade, con distribuzione angolare uniforme in $\cos(\theta)$. Gli eventi sono stati generati con soglia a 0.25 p.e. e le soglie superiori sono state imposte in fase di analisi.

L'andamento del numero di eventi con più di 5 PMT colpiti é riportato in figura 14 in funzione dell'energia per vari valori di soglia fra 0.25 e 2.5 p.e.. Il punto relativo ad ogni decade di energia é stato posto al valore centrale della decade.

Come si vede, a partire dalla decade di energia 100-1000 TeV non c'è, in pratica nessun effetto dovuto alla soglia, nei limiti di variabilità di questa investigati.

Dai risultati ottenuti si potrebbe concludere che una soglia posta a 1 p.e. non produce perdite

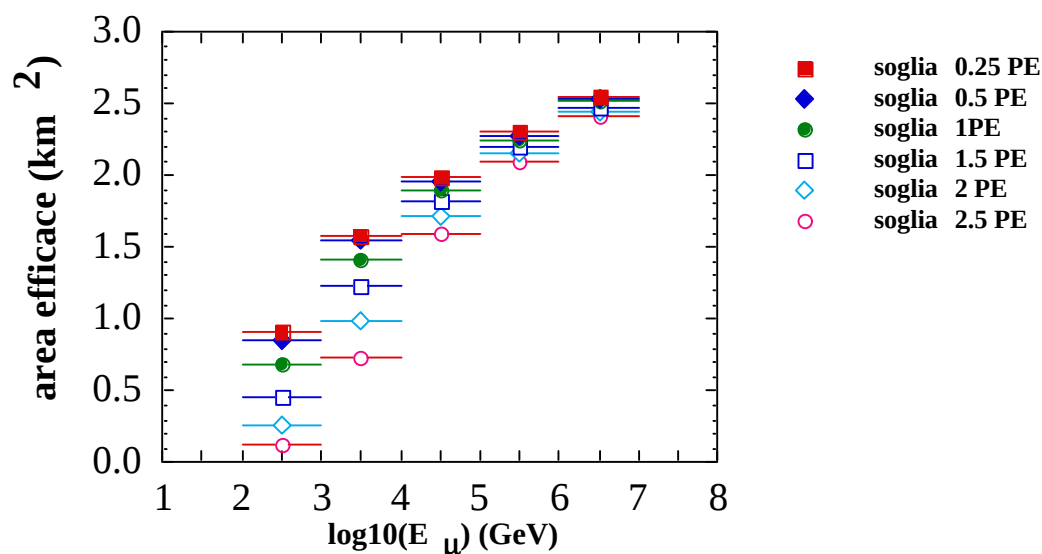


Fig. 14 – Aree efficaci medie in funzione dell'energia incidente del muone per differenti soglie di fotoelettroni nei PMT

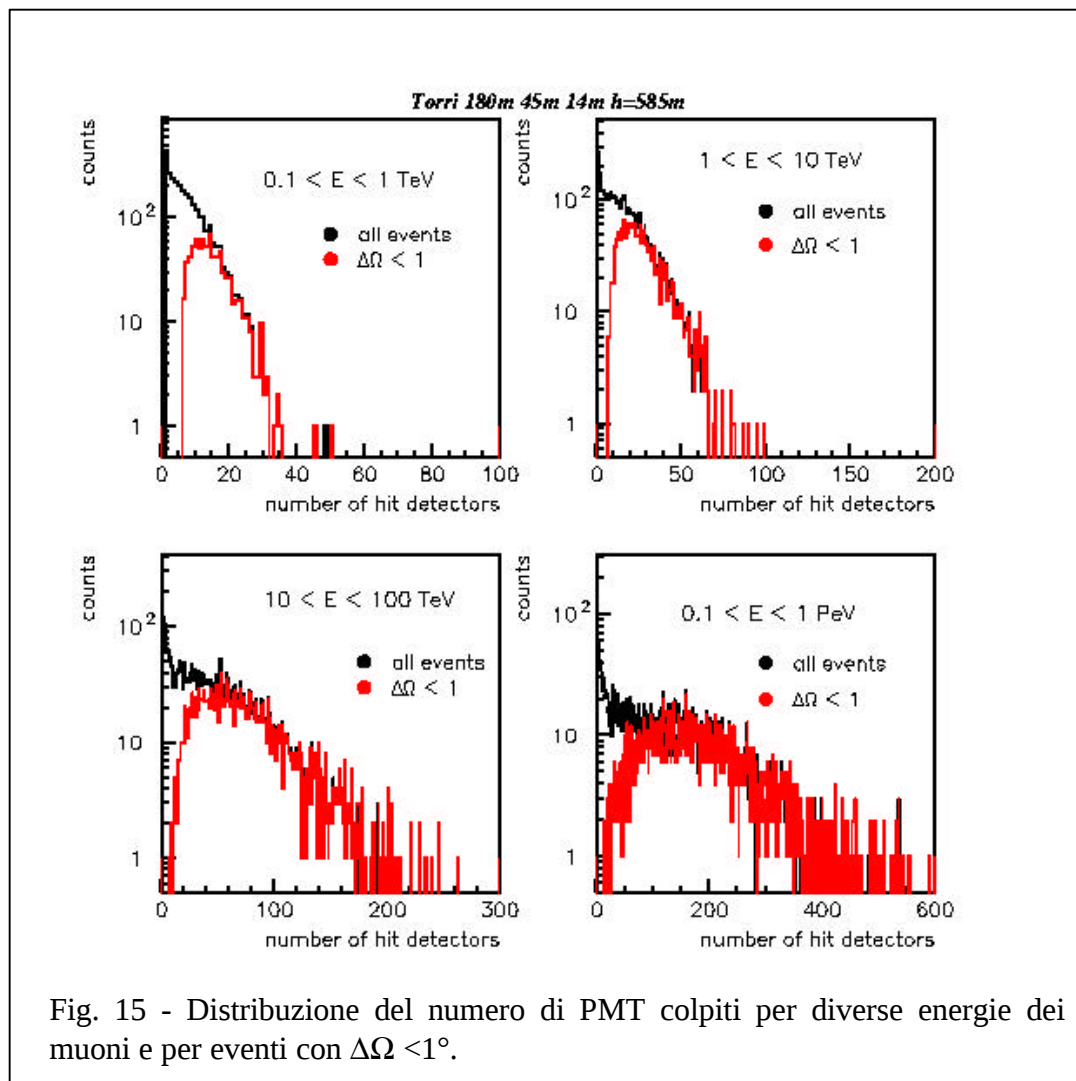
sensibili di eventi a nessuna energia. Questo dovrebbe essere vero anche nell'ipotesi che la nuova parametrizzazione della luce degli sciame (non ancora disponibile quando i risultati descritti sono stati prodotti) abbassi, in media, l'ampiezza dei segnali sui PMT (*si veda su questo argomento il paragrafo 1.2.1*). L'allungamento, infatti, dei punti di emissione della luce, prodotto da una corretta parametrizzazione, aumenta il numero di PMT interessati e dovrebbe compensare, in eventi che comunque hanno un gran numero di segnali, l'effetto di un abbassamento medio di ampiezza.

Riguardo alla neutrino-astronomia, se si tiene conto che il flusso di eventi generati da neutrini atmosferici incrocia il valore del flusso di quelli da sorgente (indipendentemente dal modello) ad energie fra 10^4 e 10^5 GeV, la soglia potrebbe essere addirittura portata verso 1.5-2.0 p.e..

Ricostruzione e topologia degli eventi

Risoluzione angolare

Come già detto *nel paragrafo 1.4* la procedura di ricostruzione deve essere affinata in modo da consentire una migliore efficienza e l'identificazione degli eventi con $\Delta\Omega$ elevato dove $\Delta\Omega$ è la differenza fra l'angolo d'incidenza del muone simulato e l'angolo del muone ricostruito.



L'identificazione e classificazione degli eventi con $\Delta\Omega$ elevato permette di ottimizzare per tali eventi la procedura di ricostruzione. In Fig. 15 sono riportate per l'apparato a torri con distanza $D=180\text{m}$ ed altezza circa 600m le distribuzioni del numero di fotomoltiplicatori colpiti per tutti gli eventi per differenti energie dei muoni e per gli eventi in cui $\Delta\Omega < 1^\circ$.

Come si vede dalla figura 15 a tutte le energie si ha una buona ricostruzione ($\Delta\Omega < 1^\circ$) per eventi in cui il numero di PMT è sufficientemente elevato.

Nella Figura 16 é riportata la distribuzione dell'angolo $\Delta\Omega$ per tutti gli eventi ricostruiti per

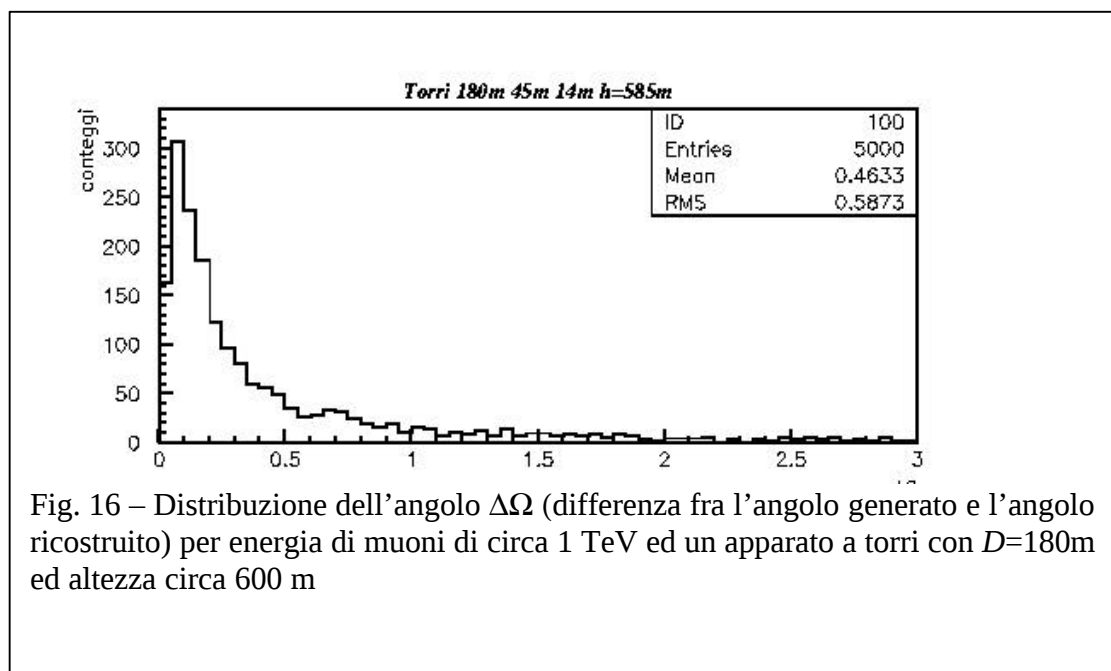


Fig. 16 – Distribuzione dell'angolo $\Delta\Omega$ (differenza fra l'angolo generato e l'angolo ricostruito) per energia di muoni di circa 1 TeV ed un apparato a torri con $D=180\text{m}$ ed altezza circa 600 m

energia di muoni di circa 1 TeV.

La risoluzione risulta dell'ordine di circa 0.2 (larghezza a mezza altezza) con una percentuale di circa il 70% di eventi con $\Delta\Omega < 1^\circ$. Come già detto, per eliminare gli eventi con grandi valori di $\Delta\Omega$ è necessario sia scartare a priori alcune topologie di eventi (*vedi paragrafo XX*), che migliorare la procedura di ricostruzione.

Topologia degli eventi

Allo scopo di ottimizzare le procedure di riconoscimento e ricostruzione degli eventi e di scegliere opportune strategie di "trigger", si é studiata la topologia degli eventi in un apparato a torri.

Un primo calcolo é stato fatto all'energia fissa di 100 TeV, con distribuzione uniforme in $\cos\theta$ e ϕ , geometria a torri con passo fra le torri di 180m ed altezza circa 600m. Il risultato é riportato in tabella III nella quale per ricostruiti s'intende eventi comunque ricostruiti.

	> 2 torri	2 torri	1 torre	totale
con almeno un PMT	20268	2909	3164	26341
con >5 PMT e comunque ricostruiti	19815	1393	742	21950
ricostruiti $\Delta\Omega < 1.0^\circ$	15288	163	13	15464

TAB. III – Numero di eventi classificati per topologie. Gli eventi generati erano in totale 30000.

Ricordiamo che a questa energia la probabilità che un evento con più di 5 PMT sia comunque ricostruito é di circa il 95%. $\Delta\Omega$ indica la differenza fra l'angolo nello spazio della traccia generata e l'angolo ricostruito. Il 70% circa di tutti gli eventi ricostruiti é ricostruito entro 1.0 dalla direzione vera.

La percentuale di eventi che, non riproduce bene l'angolo é alta nelle categorie a 1 e 2 torri, che contengono, rispettivamente, circa il 3 ed il 6% di tutti gli eventi ricostruiti.

Trigger e fondo da ^{40}K

La presenza di segnali prodotti dal decadimento del ^{40}K presente nell'acqua marina, segnali che ammontano a decine di kHz per ogni PMT, crea due tipi di problemi nella raccolta ed analisi dei dati di un apparato sottomarino.

Il primo consiste nell'individuazione degli eventi. Nell'ipotesi che in un apparato sottomarino sia più prudente inviare al laboratorio a terra tutti i segnali dei fotomoltiplicatori senza che nessuna logica di selezione (ovvero trigger) sia operata in acqua, si crea un flusso continuo di segnali, dall'apparato a terra, in cui la stragrande maggioranza é formata da segnali scorrelati. E' evidente che non vi é alcuna segnatura d'inizio o fine evento come negli esperimenti classici.

Per individuare un possibile evento occorrerà fissare una topologia minima definita in uno stretto intervallo di tempo e di spazio (che possiamo definire trigger) che segnali la probabile presenza di una traccia. Questa procedura rimane la stessa nel caso si decidesse di costruire elettronicamente un trigger in acqua.

Una traccia che attraversi tutto l'apparato é lunga, in tempo, circa 10 μsec , per cui vanno presi in considerazione tutti i segnali compresi in un intervallo di 20 μsec intorno ad un tempo centrale definito dalla combinazione che definisce il trigger. In tal modo, sono state calcolate le frequenze di coincidenze casuali fra i segnali di fondo.

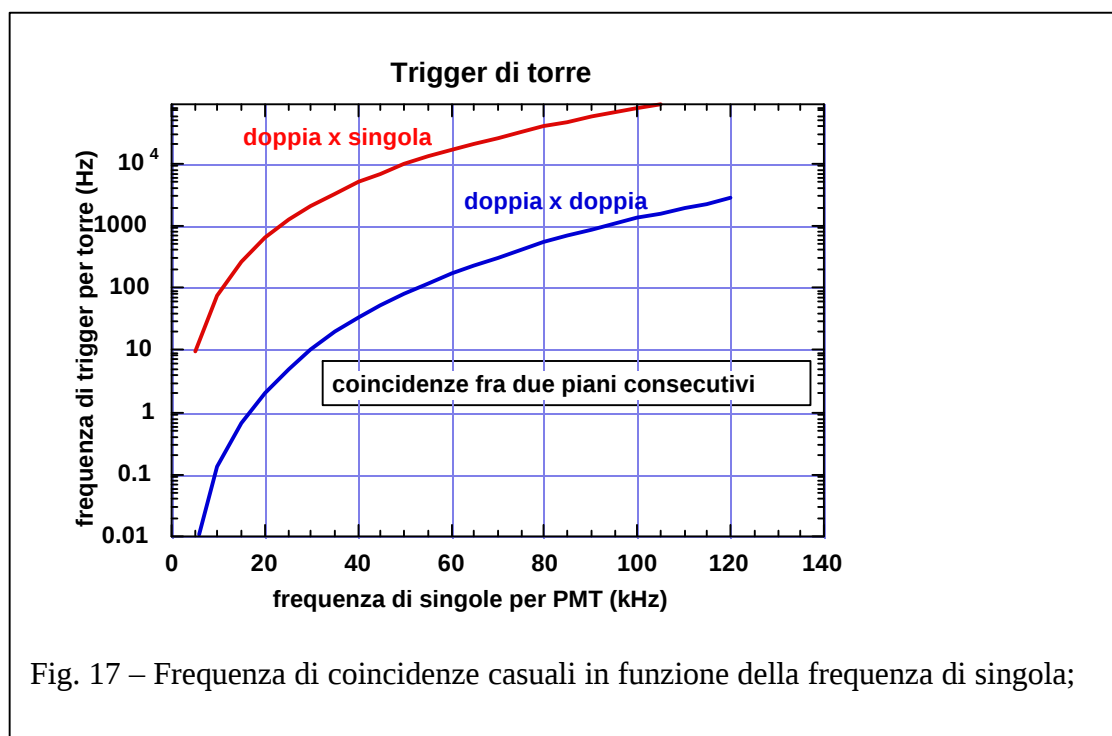
Data la distanza fra le torri é naturale pensare ad un trigger costruito internamente ad una torre. Poiché, qualunque logica si pensi di costruire, il trigger farà uso di coincidenze maggioritarie sarà opportuno diminuire le possibili combinazioni e nel seguito la coppia SU/GIU, formata da 2 PMT posti allo stesso vertice, viene considerata come un tutt'uno, con frequenza di fondo pari al doppio di quella di un singolo PMT: si evita, cioè, di considerare coincidenza quella fra due PMT della stessa coppia.

Tale scelta, poco o nulla influente nella rivelazione di tracce vere, elimina la possibilità che coincidenze vere causate dal ^{40}K partecipino al trigger.

Un trigger di torre semplicemente definito come un ordine n di coincidenza fra i vertici della torre é improponibile, per qualunque n , a causa dell'elevatissimo numero di combinazioni possibili.

Consideriamo allora delle correlazioni topologiche nei piani della torre e fra diversi piani.

La frequenza di coincidenze casuali definite con una tripla fra due piani consecutivi (2 vertici in un piano ed 1 nell'altro) é riportata, in funzione della frequenza di singola, nella Figura 17.



Nella stessa figura é riportato anche l'andamento di una diversa configurazione: una coincidenza doppia per piano su due piani consecutivi (doppia di doppie)

La perdita di efficienza causata da tali richieste su tracce simulate non é stato ancora calcolato.

Il secondo problema citato all'inizio del paragrafo riguarda l'eliminazione dei segnali di fondo presenti nell'intervallo temporale intorno al nucleo definito dal trigger. Il filtraggio deve avvenire prima della procedura di ricostruzione della traccia in quanto i segnali di fondo, sovrachianti per numero, possono forzare il fit e far eliminare i segnali pertinenti alla traccia.

Un criterio basato sulla coerenza spazio-temporale fra i segnali é stato, in una fase molto preliminare, sperimentato in una torre e sembra poter essere sviluppato ed esteso a tutto l'apparato.

Conclusioni

Il lavoro descritto ha come scopo primario quello di fissare le principali caratteristiche strutturali e di impiego dell'apparato. Le informazioni prodotte sono state sufficienti per iniziare lo studio di fattibilità della struttura meccanica (forma e dimensioni globali, clusterizzazione dei rivelatori ecc.) e a progettare l'architettura dell'elettronica di acquisizione e di trigger. Tuttavia la simulazione dell'apparato finale richiede ancora un importante lavoro di approfondimento che consentirà di fornire informazioni più dettagliate e necessarie alla progettazione esecutiva.