

**AGILE**

**AST**

**DOCUMENT TYPE: TECHNICAL REPORT**

**TITLE: Calcolo dell' Area Efficace del Minicalorimetro di AGILE**

**DOCUMENT Ref. No.: AGILE-ITE-RE-004**

**N° OF PAGES: i-ii, 26**

IASF Report 366

**ISSUE No.: 01**

**DATE: 27/03/03**

**PREPARED BY: M. Galli, N. Auricchio, E. Celesti, C. Labanti**

**CHECKED BY:**

**PRINCIPAL INVESTIGATOR: M. TAVANI DATE:**

**P/L MANAGER: A. ZAMBRA DATE:**

**PAPM: R. A. BERNABEO DATE:**

**CONFIGURATION: C. MANGILI DATE:**

# AGILE

Ref:	AGILE-ITE-RE-004
Project Ref. :	AGILE
Issue: 1	Page:ii
Date:	27/03/2003

## SOMMARIO

INTRODUZIONE	2
1. OBIETTIVI	2
2. REQUISITI DI MCAL	3
3. PROCEDURA DI CALCOLO	3
4. AREA EFFICACE	6
5. EFFICIENZA	9
6. PSF DEL GAMMA E PRODUZIONE SECONDARI	13
7. EFFETTO DI SCATTERING	14
8. INFORMAZIONE SPAZIALE SUL FOTONE INCIDENTE	15
9. NUMERO DI BARRE COLPITE	17
10. RICONOSCIMENTI	21
11. BIBLIOGRAFIA	21
12. APPENDICE 1: PRESTAZIONI DEL MONTECARLO	22

## INTRODUZIONE

Utilizzando il programma GAMS [1], basato su GEANT3 [2], sono state effettuate simulazioni Montecarlo per caratterizzare le performances scientifiche del minicalorimetro di Agile, come definito dalle specifiche della geometria E [1].

Scopo del presente rapporto è di illustrare i risultati delle simulazioni e di confrontarli con quelli ottenuti nella configurazione a 16 barre per ogni piano del minicalorimetro.

## 1. OBIETTIVI

In particolare gli obiettivi sono stati:

- 1) il calcolo delle aree efficaci del minicalorimetro;
- 2) il calcolo dei casi in cui è possibile determinare la posizione d'impatto del fotone sul Minicalorimetro;
- 3) la stima delle incertezze introdotte dallo scattering e dall'assorbimento dei gamma su tracker e superagile;
- 4) il calcolo di quante barre vengono fatte scattare da eventi di diversa energia.

## 2. REQUISITI DI MCAL

Nella tabella 1 sono riassunte le performances scientifiche del MiniCalorimetro, mentre nelle tabelle 2 e 3 sono riportati i requisiti fisici e quelli relativi alle prestazioni.

SCIENTIFIC PERFORMANCES		
	GRID MODE	BURST MODE
Operating energy loss range	1÷500 MeV	250 keV÷250 MeV
Energy resolution	22÷24% FWHM @ 1 MeV 0.7 % @ 100 MeV	
Spatial resolution	15 mm @ 1 MeV 2 mm @ 100 MeV	
Timing resolution	NA	2µsec (3σ)
Processing time/event	< 30 µsec	~10 µsec/event/bar side

**Tabella 1.**

PHYSICAL REQUIREMENTS	
MCAL total volume	440X440X87 mm <sup>3</sup>
Bar size	37.5 x 2.30 x 1.5 cm <sup>3</sup>
Mass	24.5 Kg (CsI 17.5 Kg)
Power	Nominal 4.72 W Maximum 5.10 W
Operative Temperature Range	-20°C ÷ 40°C

**Tabella 2.**

PERFORMANCE REQUIREMENTS	
Light Output at 1 cm from PD	15 e <sup>-</sup> /keV
Light Attenuation Coefficient	0.035 ÷ 0.045 (cm <sup>-1</sup> )
Noise Level	800 e <sup>-</sup> <sub>rms</sub>
Linearity	better than 1%

**Tabella 3.**

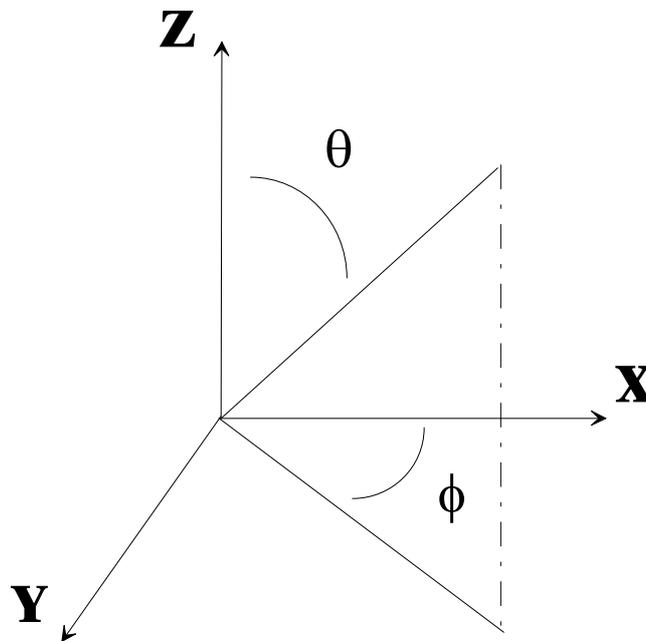
### 3. PROCEDURA DI CALCOLO

Il minicalorimetro di Agile (Mcal) è costituito da un array di 30 barre di CsI, disposte su 2 piani. Le barre di un piano sono orientate ortogonalmente rispetto a quelle dell'altro piano.

Ogni barra ha le seguenti dimensioni: 37.5 x 2.30 x 1.5 cm<sup>3</sup>. Le barre sono separate da 0.2 cm di fibra di carbonio, come anche i 2 piani del Mcal.

Ai fini del calcolo si considera il Mcal costituito dall'array di CsI, di dimensioni 37.5 x 37.5 x 3.2 cm<sup>3</sup>, comprensivo della fibra di carbonio fra le barre, ma senza considerare come parte del Mcal l'housing in fibra di carbonio attorno alle barre. Occorre tener conto di questo quando si confrontano i risultati con i calcoli nella configurazione a 32 barre, ove avevamo considerato l'housing come parte del Mcal, che era quindi costituito da un volume più grande, ma in gran parte volume morto (volume denominato CALO, nel Montecarlo, con area di 40x40 cm<sup>2</sup>).

I calcoli sono effettuati utilizzando come sorgente un fascio piano di fotoni, generato su un quadrato di 1 metro di lato, tangente ad una sfera di raggio 136.5 cm, che circonda il payload e definisce il volume globale in cui si effettua il calcolo. I fasci utilizzati sono mono-energetici ed il piano della sorgente  $\square$  posto a diversi angoli theta, phi, intendendo con theta l'angolo fra la normale al piano e l'asse del satellite (vedi figura); il telescopio guarda nel verso positivo dell'asse Z.



Il centro del minicalorimetro non e' coincidente con il punto 0,0,0 (nella geometria E il centro del MCAL è in: -0.7, -0.7, 11.803 cm. )

# AGILE

Ref:	AGILE-ITE-RE-004
Project Ref. :	AGILE
Issue: 1	Page:5
Date:	27/03/2003

E' stato considerato come piano 1 il primo piano partendo dall'alto, quello con le barre estese nella direzione X; il piano 2 e' il secondo partendo dall'alto, quello con le barre estese nella direzione Y. Le barre sono numerate, per ogni piano, da 1 a 15, a partire dalle coordinate negative. Nella geometria E il centro delle barre è nelle posizioni sotto riportate: (le posizioni sono in centimetri, i tre valori corrispondono rispettivamente alle coordinate x,y e z) :

**bar 1:** -0.7, -18.2, 12.653

**bar 2:** -0.7, -15.7, 12.653

.....

**bar 15:** -0.7, 16.8, 12.653

**bar 16:** (barra 1 del piano 2) -18.2, -0.7, 10.953

**bar 17:** -15.7, -0.7, 10.953

.....

**bar 30:** 16.8, -0.7, 10.953

Solo i fotoni diretti inizialmente sull'array di barre di CsI vengono seguiti, gli altri non sono considerati. Si trascurano, quindi, gli effetti spuri, dovuti ad eventi non diretti inizialmente nel Mcal, ma che possono generare degli eventi secondari che sono poi rivelati, poiche' si pensa che quest'effetto sia secondario.

Si fanno runs ognuno di 10000 fotoni diretti verso il minicalorimetro, per energie di 0.5, 1, 2.5, 5, 7.5, 10, 25, 50, 75, 100, 250, 500, 750 MeV, 1, 10 e 40 GeV, ed angoli theta di 0, 30, 50, 70, 90, 135 gradi. L'angolo phi è mantenuto eguale a 0.0.

## 4. AREA EFFICACE

L'area efficace e' definita come l'area dell'array di barre di CsI, proiettata in direzione ortogonale al fascio di particelle, moltiplicata per l'efficienza del rivelatore, cioe' la frazione di particelle incidenti sul rivelatore che sono effettivamente rivelate.

L'energia depositata nelle barre viene convertita in luce di scintillazione che si propaga verso le due estremita' delle barre subendo riflessioni e rifrazione, ad opera della carta che avvolge le barre. Nel Montecarlo questo complesso fenomeno viene rappresentato con un semplice modello di decadimento esponenziale dell'energia. L'energia rilasciata punto per punto nelle barre viene divisa a meta' e trasportata ai 2 estremi delle barre, assumendo un'attenuazione di tipo esponenziale, con coefficiente  $\alpha=0.035 \text{ cm}^{-1}$ . La propagazione viene effettuata in linea retta, dal punto di interazione all'estremita' della barra. Questa approssimazione e' supportata da misure effettuate nei laboratori del CNR di Bologna su una prima serie di barre campione.

Il valore di  $\alpha$  potra' subire dei cambiamenti, in funzione delle misure che saranno effettuate sulle barre di volo.

All'estremita' di ogni barra la luce di scintillazione viene convertita in segnale elettrico da fotodiodi otticamente accoppiati con i cristalli. I diodi presentano una soglia inferiore per l'energia rivelabile,  $E_s$  dovuta al rumore del diodo ed a quello dell'elettronica.

Una barra, che riceve ai diodi rispettivamente le energie  $E_1$  ed  $E_2$ , è in grado di rivelare un evento se:

-- ad un diodo,  $E_{1/2} > E_s$ ,

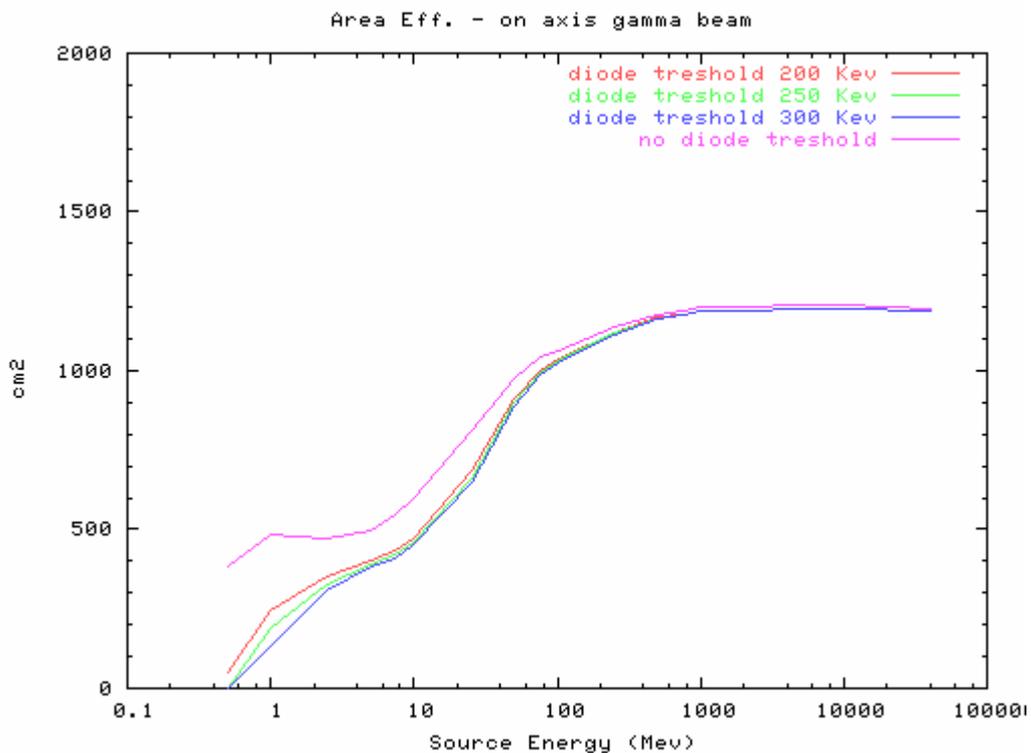
oppure

-- ai 2 diodi,  $E_1 + E_2 > E_s$  per la radice di 2.

Il valore di soglia dei diodi è, quindi, un elemento critico per l'uso del Minicalorimetro come rivelatore di gamma ray burst, che hanno il massimo di intensità attorno a  $\sim 200\text{keV}$ .

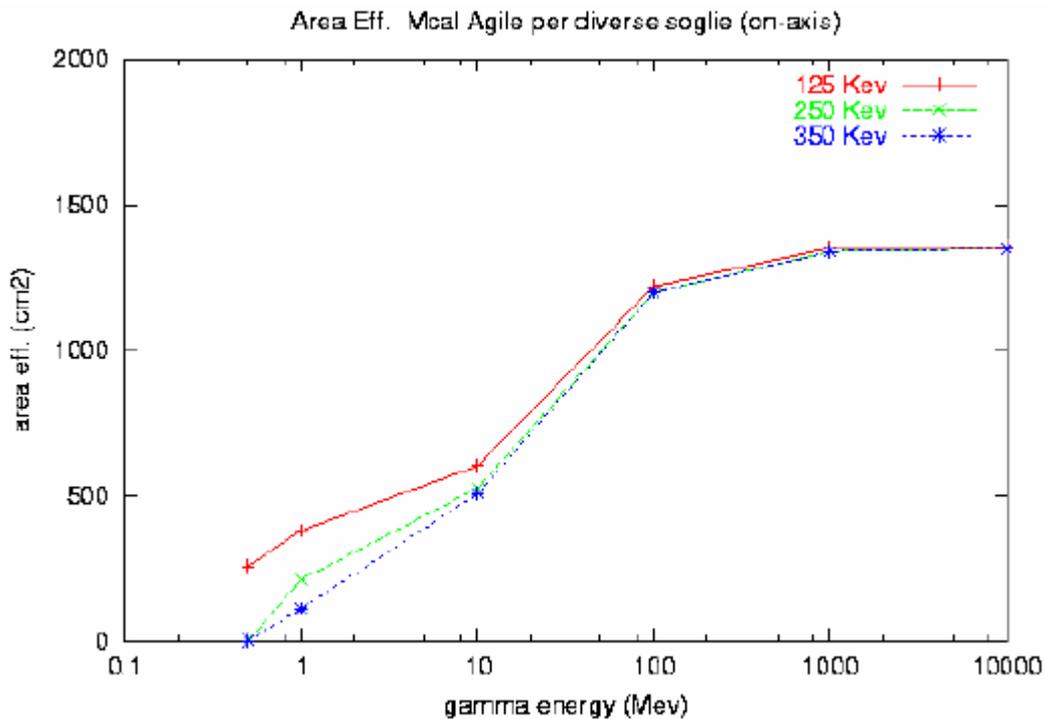
Sono stati considerati 3 valori della soglia: 200, 250 , 300 keV suggeriti da misure su diodi di test; il valore finale sarà determinato dalle misure sui diodi definitivi.

Nella figura seguente sono riportate le aree efficaci per un fascio di fotoni incidente ortogonalmente al piano del Mcal. Le diverse curve si riferiscono a valori diversi della soglia energetica (la curva piu' alta è relativa al caso ideale in cui la soglia è nulla).

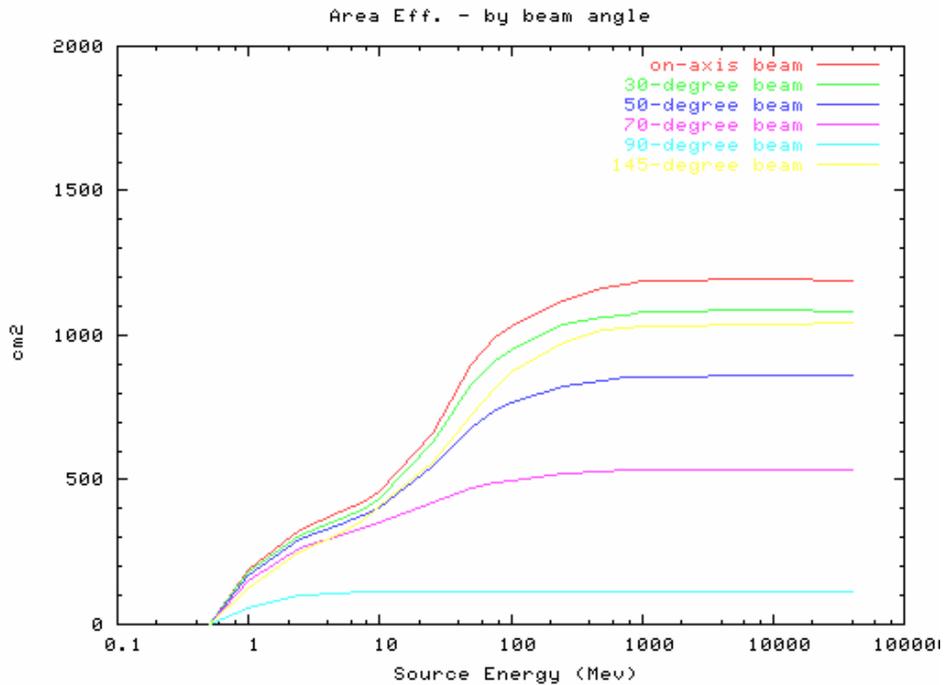


Si può notare che, attorno al MeV, metà degli eventi forniscono un segnale sotto la soglia dei diodi, mentre l'importanza della soglia diviene minore ad alte energie.

Questo grafico confrontato con quello che si aveva nella configurazione a 32 barre mostra una diminuzione dell'area efficace fra il 10 e 20 %, ed è più marcata a basse energie.

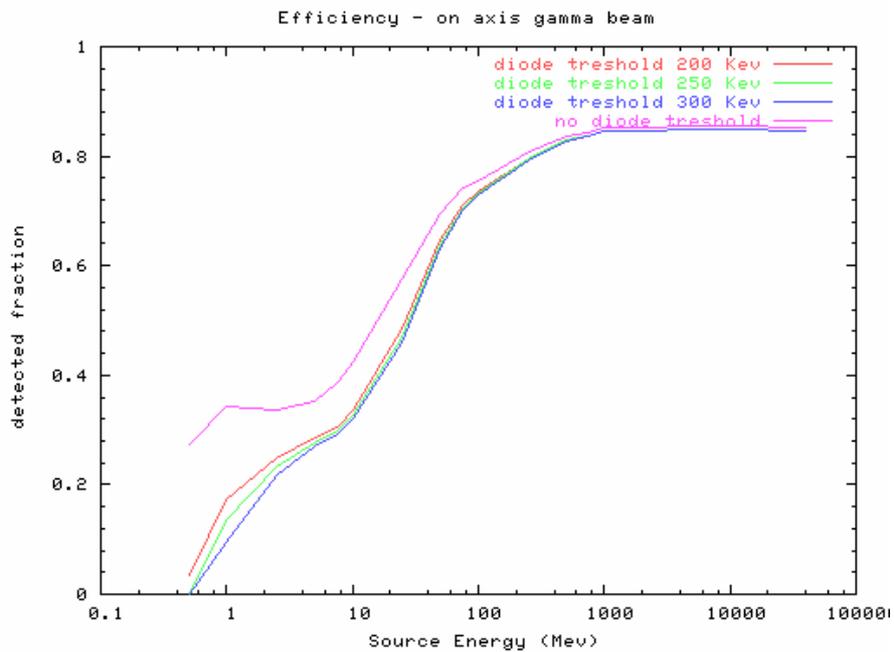


Nella figura seguente si vede come l'area efficace diminuisce con l'angolo di incidenza dei fotoni (la soglia sui diodi è di 250 keV). Si nota come a 90 gradi l'area efficace non sia nulla, lo spessore del Mcal è in questo caso l'area vista; a basse energie e grandi angoli il calo di superficie proiettata è in parte compensato dall'aumento nello spessore di rivelatore attraversato e l'andamento con l'angolo non è del tipo:  $\cos(\theta)$ .

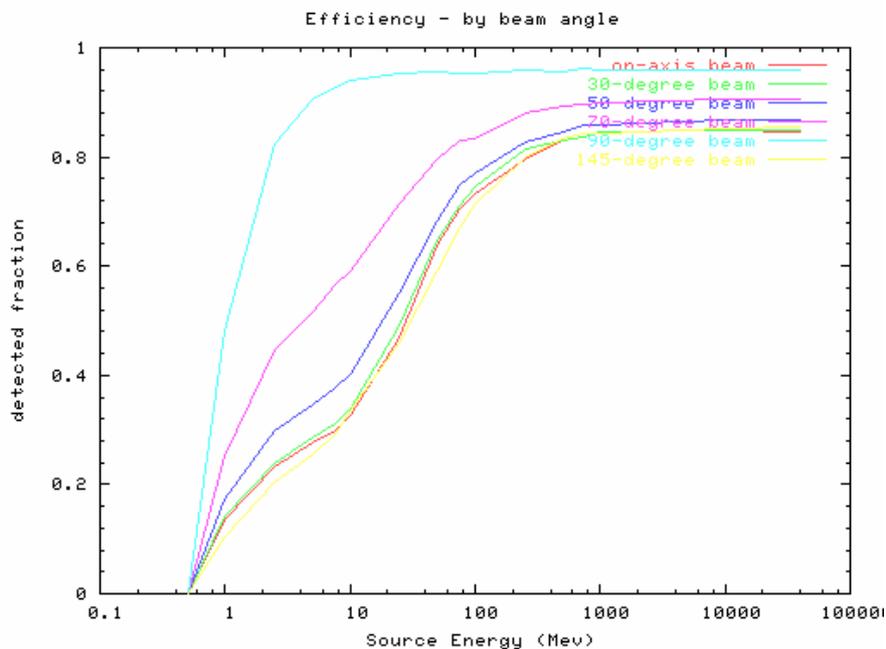


## 5. EFFICIENZA

La figura seguente mostra l'efficienza del Mcal, ovvero la frazione di particelle inizialmente dirette verso il Mcal che vengono rivelate, per diverse soglie sui diodi.



La curva piu' alta è relativa al caso di soglia 0, si vede ancora come la soglia sia importante ad energie attorno al MeV. Il rivelatore si comporta molto bene oltre qualche decina di MeV. Nella figura seguente è riportata l'efficienza al variare dell'angolo: all'aumentare dell'angolo il gamma incidente vede uno spessore di CsI maggiore e, quindi, l'efficienza aumenta, fino ad arrivare a 90 gradi, ove, con un spessore sui 40 cm, quasi tutti i gamma sopra il MeV sono rivelati.

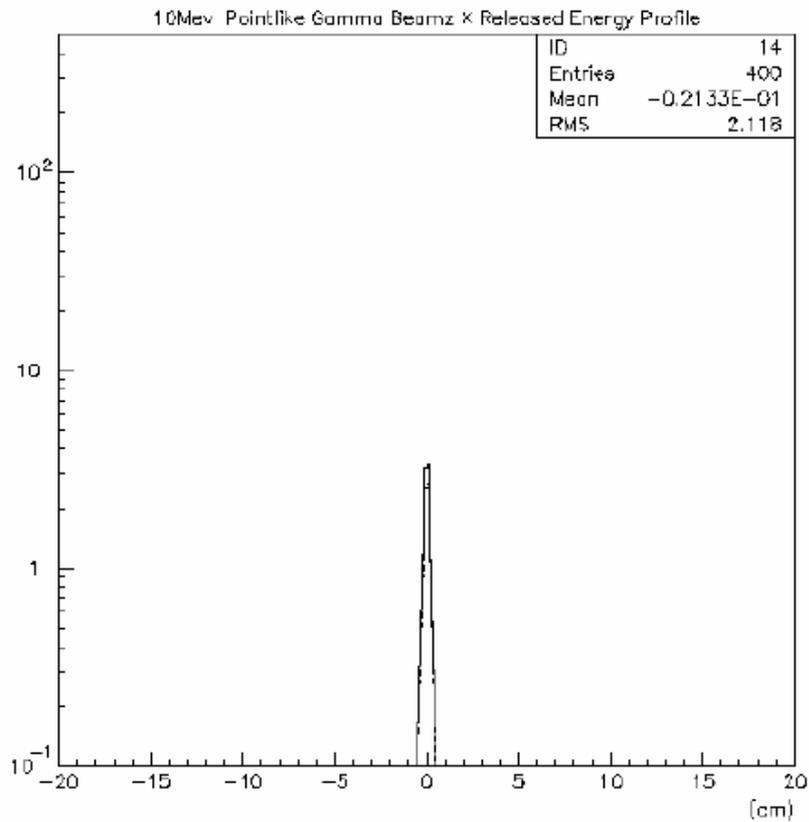


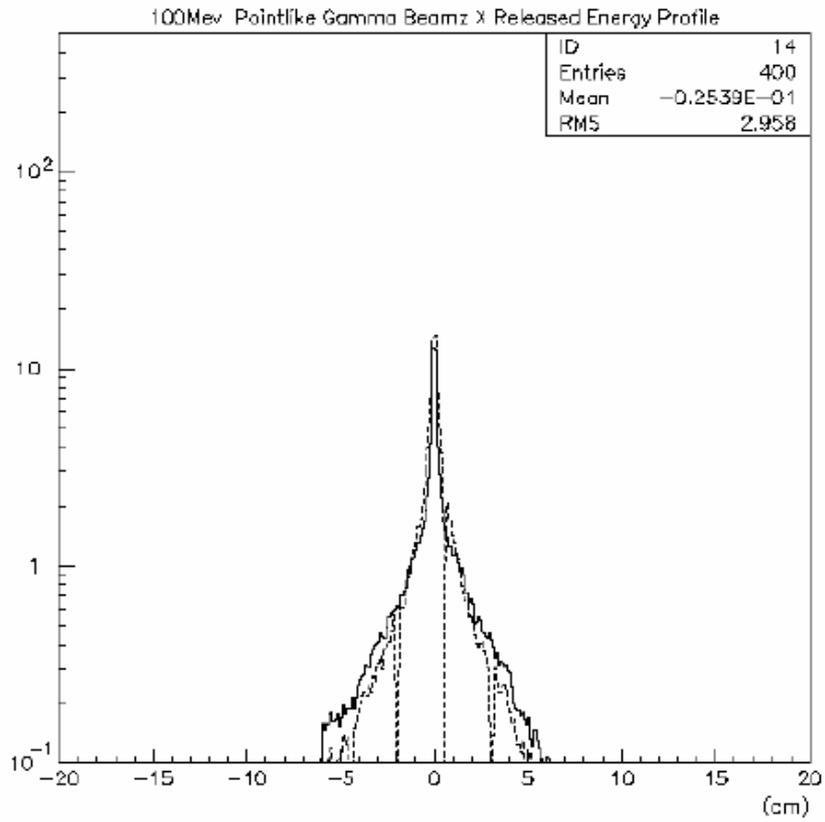
## 6. PSF DEL GAMMA E PRODUZIONE SECONDARI

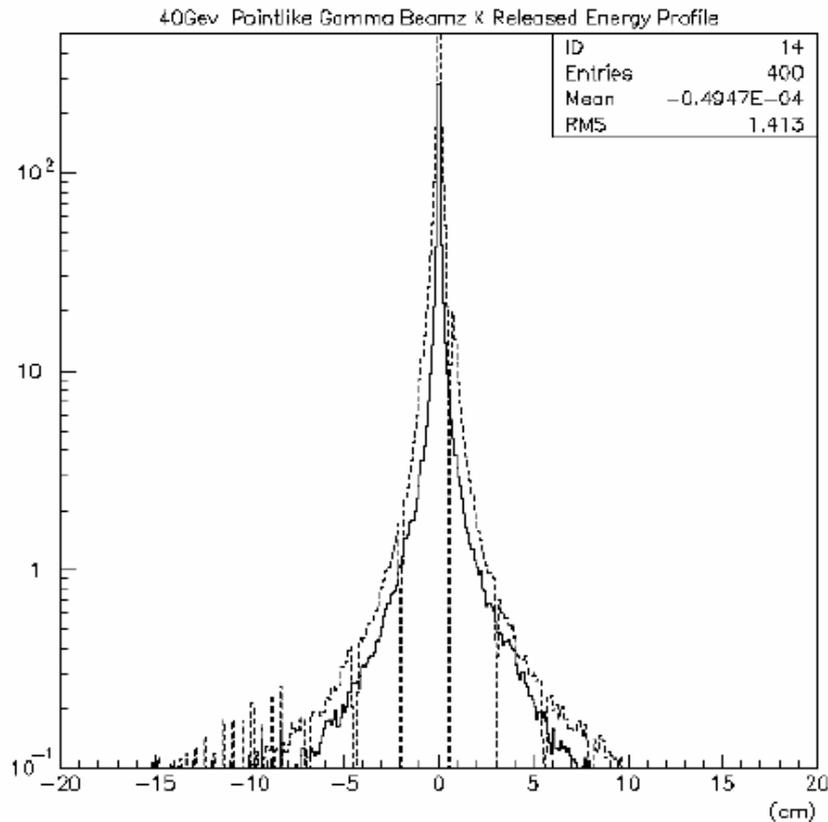
I gamma attraversando superagile e tracker interagiscono e vengono prodotti secondari che poi sono rivelati dal Mcal; questo spread di energia sul Mcal e' valutato calcolando l'immagine di un fascio puntiforme di fotoni, diretti ortogonalmente al Mcal, sull'asse del satellite.

Nelle figure successive è riportato il profilo x dell'energia depositata nei 2 piani di CsI del Mcal da un fascio puntiforme di fotoni, diretti ortogonalmente al Mcal, sull'asse del satellite. I valori in ascissa, in scala logaritmica, sono in unita' arbitrarie. Le curve tratteggiate sono relative al secondo piano del Mcal, le curve continue al primo.

Le energie sono integrate sulla coordinata y, e le linee verticali tratteggiate corrispondono alla fibra di carbonio fra le barre del secondo piano del Mcal. Le tre figure sono relative ad energie del fascio incidente di 10 MeV, 100 MeV e 40 GeV.







I picchi delle distribuzioni sono stretti (qualche mm), mentre, ad alte energie, si sviluppa una lunga coda nella distribuzione, che, in scala logaritmica, e' ben evidenziata.

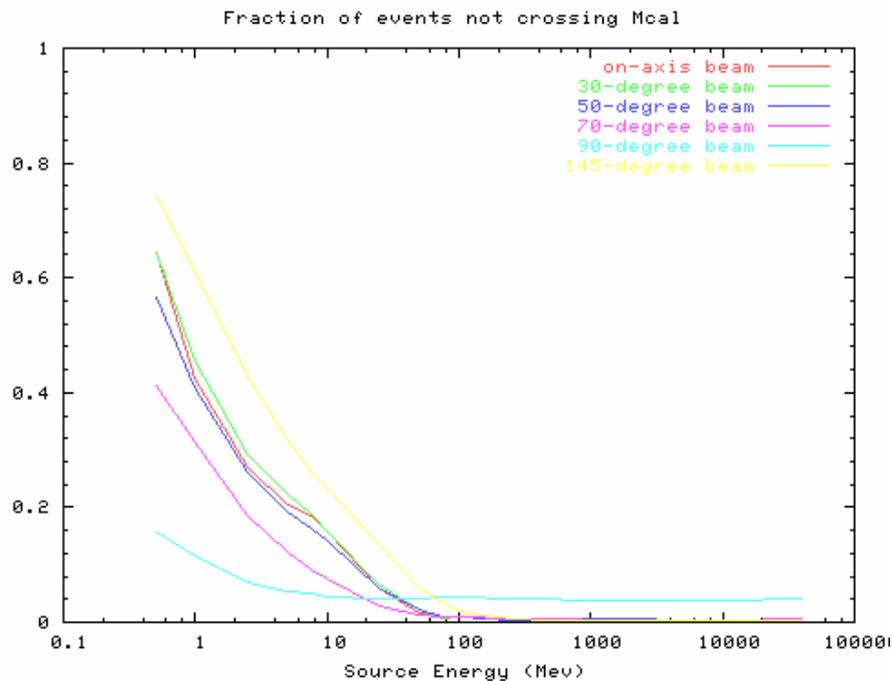
Si conclude che l'effetto di spread energetico non e' importante ai fini della determinazione del punto di impatto sul Mcal.

## 7. EFFETTO DI SCATTERING

Una certa frazione di eventi, inizialmente diretti al Mcal, vengono scatterati o assorbiti nel tracker e si ha che né primari, né secondari attraversano il minicalorimetro. Questo e' ovviamente importante solo a basse energie.

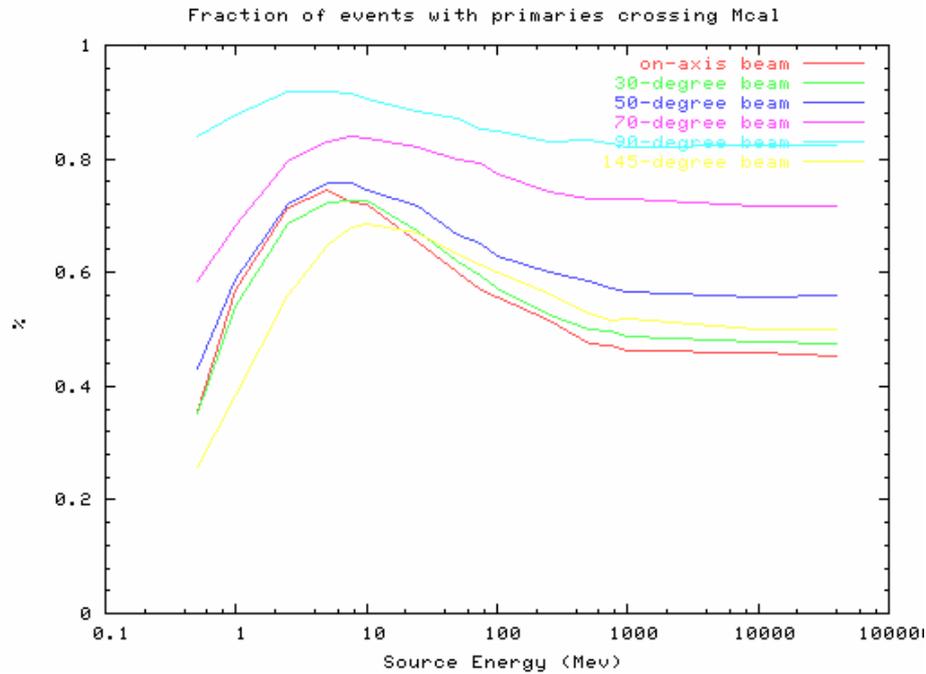
Analizziamo questo effetto definendo un coefficiente di scattering  $Sc$ , come la frazione di eventi, inizialmente diretti al Mcal, per cui né secondari, né primari attraversano il Mcal.

In figura riportiamo il coefficiente  $Sc$  in funzione dell'energia dei fotoni incidenti, per vari angoli del fascio iniziale.



Si nota che l'effetto è notevole a basse energie, ed a qualche MeV il 30% degli eventi non interessa il Mcal. L'effetto diviene praticamente nullo sopra qualche decina di GeV ( $Sc=0$ ) ed è più importante a grandi angoli, ove basta una piccola deviazione perché il fotone non attraversi il Mcal.

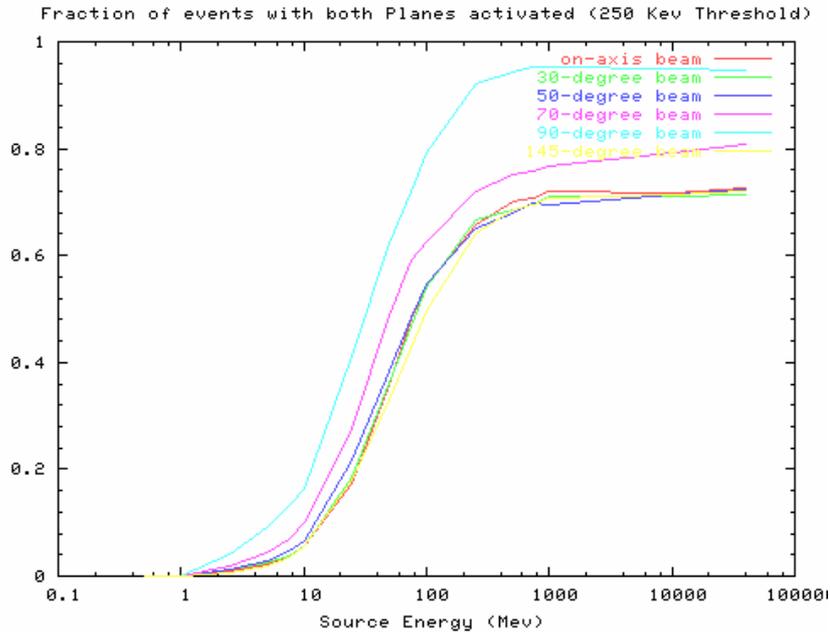
Nella figura seguente vediamo la frazione di eventi in cui i primari attraversano il Mcal. Ad alte energie, ove gran parte degli eventi sono rivelati, circa metà dei primari attraversano il Mcal. Attorno a qualche MeV la probabilità di arrivare al Mcal ha un massimo.



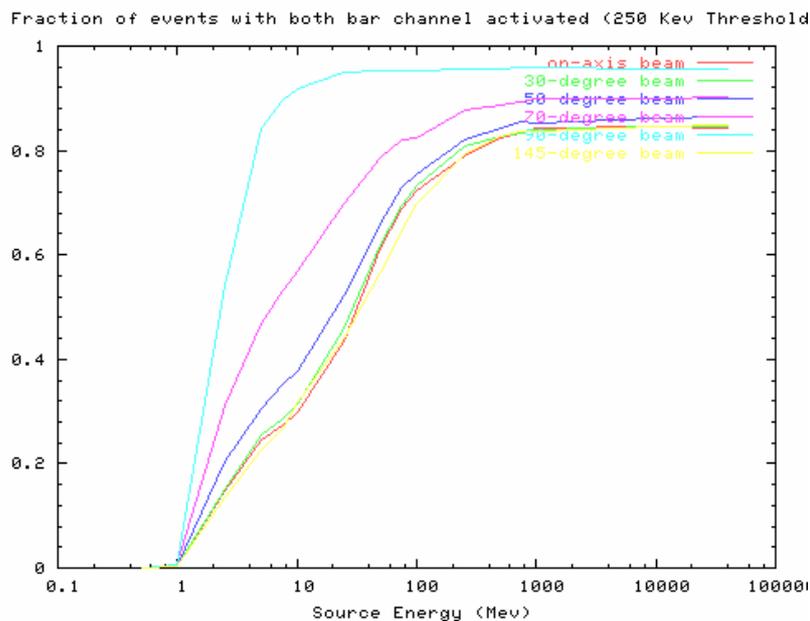
## 8. INFORMAZIONE SPAZIALE SUL FOTONE INCIDENTE

Il minicalorimetro fornisce un'informazione bidimensionale (x,y) sulla posizione di impatto della particella quando entrambi i piani del rivelatore sono colpiti, oppure quando l'energia è rivelata da entrambi i diodi di una barra. In questo caso viene utilizzata l'attenuazione della luce lungo la barra per ottenere la posizione dell'impatto ( vedi report ITESRE n 278). [3]

In figura è riportata la percentuale dei casi in cui entrambi i piani rivelano la particella, per vari angoli di incidenza ed una soglia ai diodi di 250 keV.



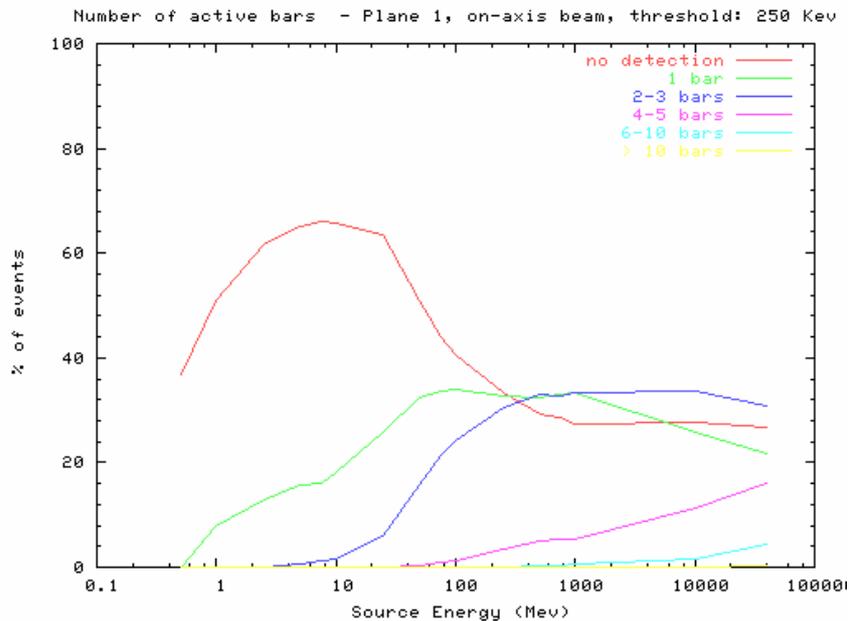
Si può notare che si tratta di un evento abbastanza raro alle basse energie. Nella figura seguente vediamo come eventi sopra qualche MeV nella maggior parte dei casi diano un segnale ad entrambi i diodi di una barra.



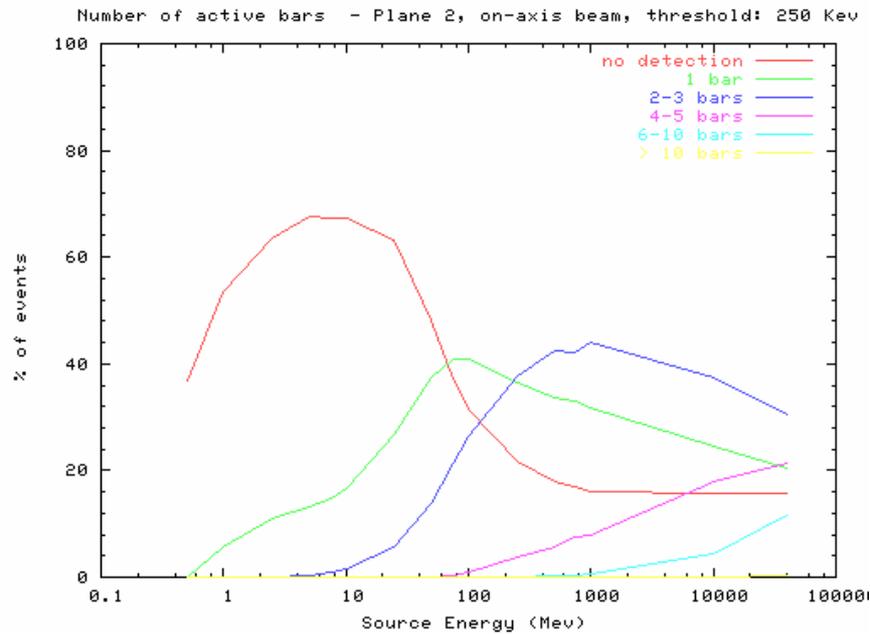
## 9. NUMERO DI BARRE COLPITE

Nella figura seguente è riportato il numero di barre colpite al variare dell'energia nel piano 1 (eventi on-axis, soglia 250 keV). La maggior parte degli eventi interessa una sola barra fino a circa 10 MeV e una piccola percentuale dei casi interessa 2 barre.

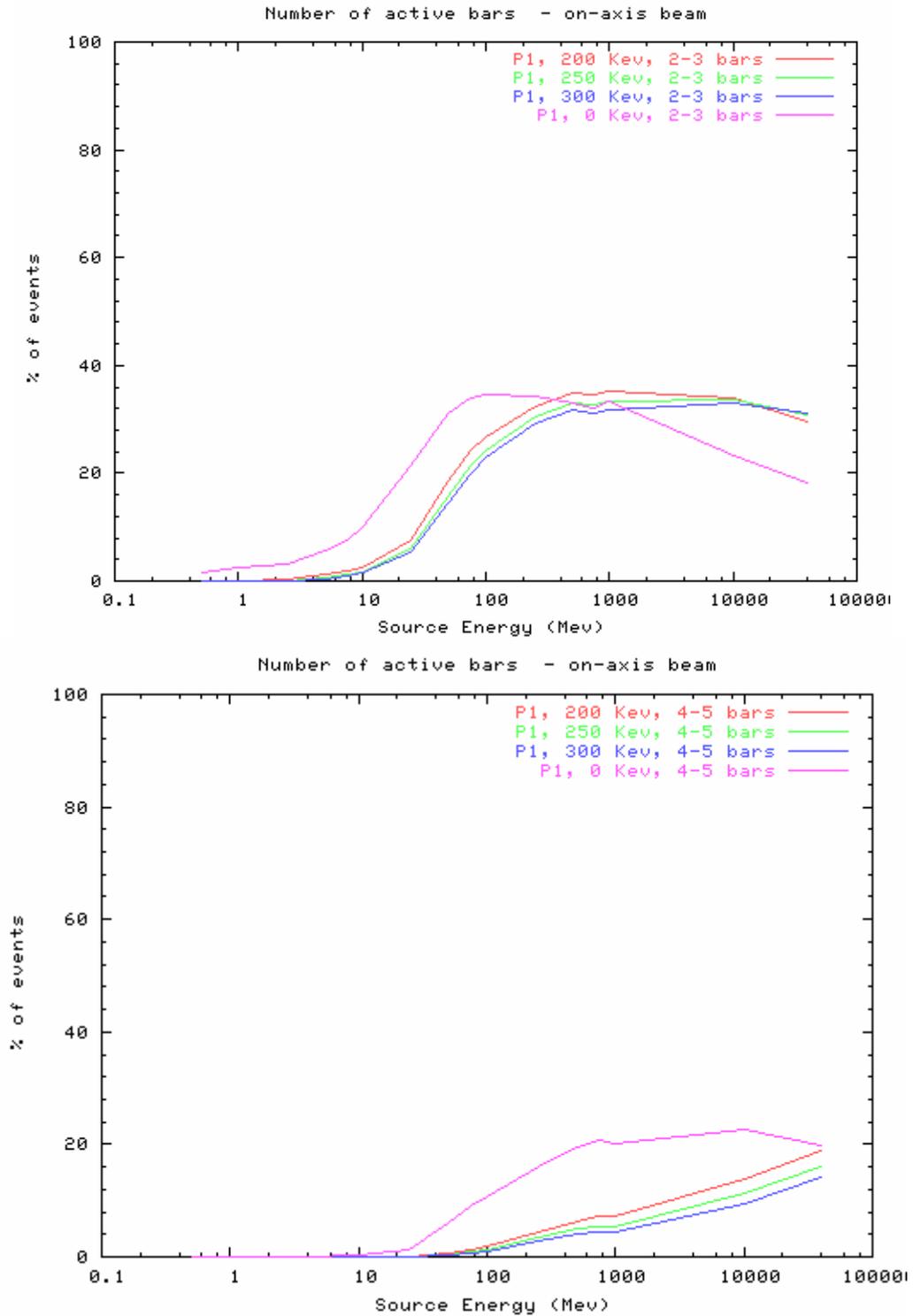
Intorno ai 100 MeV un 25% degli eventi interessa 2 o 3 barre, un 35% una barra sola, e si iniziano ad osservare eventi che interessano 4-5 barre. La frazione di eventi che interessano più di 5 barre inizia ad essere apprezzabile sopra il GeV, a 40 GeV e' sul 10%.

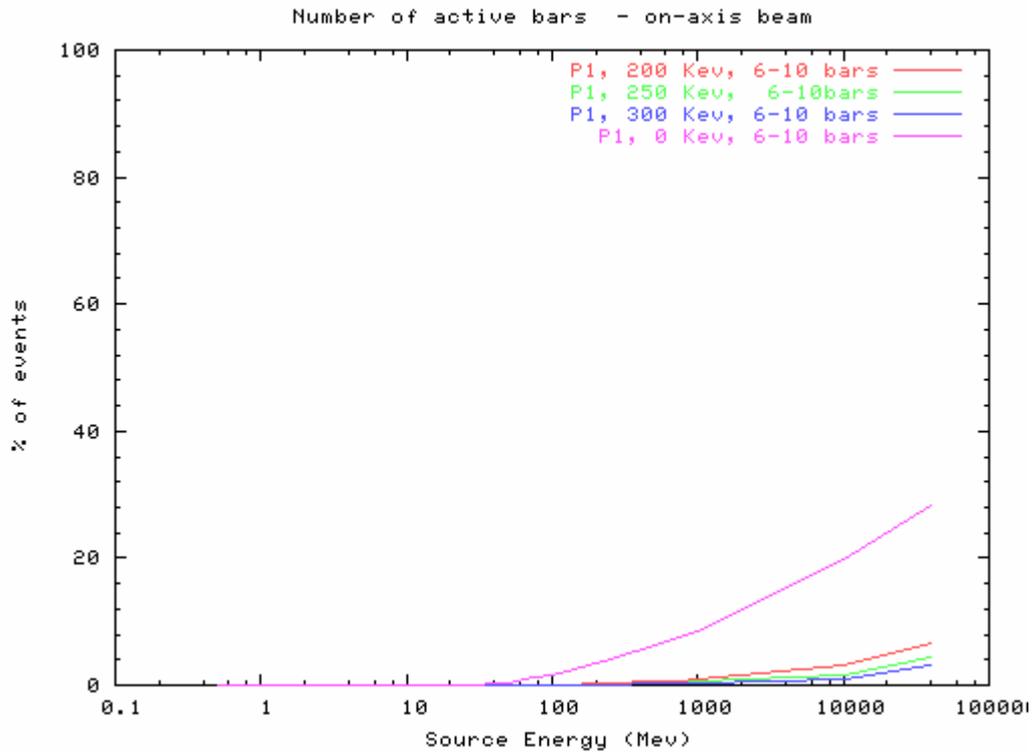


Nella figura seguente è riportato il numero di barre colpite nel piano 2 dai secondari prodotti nel primo piano e rivelati nel secondo, soprattutto ad alte energie. Un maggior numero di eventi interessano più barre.



Nelle figure successive si studia l'influenza della soglia energetica sul numero di barre attive: le curve sono relative a diverse soglie sui diodi, la prima figura mostra la percentuale di eventi in cui sono attive 2-3 barre, la seconda i casi in cui 4-5 barre e l'ultima i casi in cui sono attive 6-10 barre. Tutte i grafici si riferiscono al primo piano di CsI ed a fotoni diretti ortogonalmente al rivelatore.





L'effetto non é marcato a meno che la soglia non sia molto bassa.

## 10. RICONOSCIMENTI.

Il lavoro non sarebbe stato possibile senza il supporto sperimentale del gruppo degli strumentisti del CNR, TESRE di Bologna.

Il Montecarlo utilizzato e' una versione adattata da M.Galli, a partire dalla versione E2, come rilasciata per uso interno all'Agile Team [1].

## 11. BIBLIOGRAFIA.

- [1] **Rapporto interno: AGILE-SIM-019 -- aprile 2002 -- Francesco Longo ed Alberto Pellizzoni**
- [2] **GEANT Detector Description and Simulation Tool -- CERN program Library Long Writeup W5013 -- 1993, CERN (Geneva)**
- [3] **Rapporto interno: ITESRE 278 --**

## 12. APPENDICE 1: PRESTAZIONI DEL MONTECARLO.

### 1. Precisione. Numerica del calcolo

I risultati dei codici Montecarlo hanno imprecisioni numeriche date dalla natura statistica dei dati iniziali generati. Sotto assunzioni molto generali si ha che questo errore va come  $1/\sqrt{n}$ , ove  $n$  è il numero di storie generate. Facendo assunzioni sulla distribuzione del dato finale che si vuole ottenere è possibile stimare l'errore del Montecarlo.

In realtà la precisione di un Montecarlo dipende in modo critico dal corretto sampling di classi di eventi che, pur avendo un effetto importante, si verificano di rado. (eventi rari)

Qui, per dare una stima di precisione del Montecarlo, abbiamo usato un metodo euristico: ogni 100 eventi abbiamo calcolato, l'energia media per evento rilasciata in un piano del Mcal e l'energia media rilasciata in alcune barre di ogni piano (la prima, al bordo del Mcal, e la 8, centrale).

L'andamento di queste medie, all'aumentare del numero di storie, ci da un'idea dell'errore statistico del Montecarlo.

I casi peggiori sono quelli a basse energie: a 500 keV solo un terzo dei gamma entrano nelle barre del Mcal., ma generando 10000 eventi abbiamo oscillazioni nelle energie medie attorno all'1% anche a basse energie.

Assumiamo quindi che i calcoli abbiano una imprecisione numerica di qualche per cento.

### 2. Prestazione del Montecarlo

Nella tabella seguente i tempi di CPU, per un ascio parallelo di 10000 fotoni, incidente ortogonalmente all'asse del satellite, relativi ad un PC con le seguenti caratteristiche:

- CPU: AMD Athlon 1.333 GHz,
- Linux kernel 2.4.18, distribuzione Debian 3.0
- compilatore g77 : GNU Fortran 0.5.25 ,

Il tempo di calcolo salga con l'energia, con andamento tipo:

$t = a * E ** b$ , con  $b$  circa 0.5 l'andamento dipende dal numero di secondari prodotti. Il valore secondi/evento è quello fornito da Geant, i secondi totali dal comando unix: time

Per tutti i calcoli in tabella occorrono alcuni giorni, i calcoli ad alte energie, ed angoli attorno ai 90 gradi, sono quelli più onerosi, si potrebbe però limitarsi a pochi eventi: ad alte energie il montecarlo pare convergere più rapidamente.

I file di output prodotti per un set di runs ad angoli : 0, 30, 50, 70, 90 e 145 gradi occupano circa 2.7 Gbyte.

# AGILE

Ref: AGILE-ITE-RE-004  
Project Ref. : AGILE  
Issue: 1 Page:23  
Date: 27/03/2003

---

Energia gamma incidenti (MeV):	min:sec totali	secondi/evento
0.5	1 20	0.0074
1	1 40	0.0091
2.5	2 00	0.0108
5	2 17	0.0123
7.5	2 33	0.0138
10	2 50	0.0154
25	4 40	0.0259
50	5 48	0.0323
75	6 39	0.0371
100	7 42	0.0432
250	11 19	0.0638
500	15 52	0.0902
750	18 22	0.1056
1000	21 17	0.1241
10000	57 42	0.3341
40000	108 37	0.6309

---

I tempi della tabella seguente mostrano come variano i tempi totali del calcolo in funzione dell'angolo di incidenza del fascio. I tempi sono in minuti e vanno intesi come indicativi, in quanto dipendono dal carico della macchina, della sua configurazione etc. , le variazioni possono essere anche del 10-20%. Si nota come ad alte energie ed angoli il tempo di calcolo diventi proibitivo

I tempi seguenti si riferiscono a calcoli fatti con un PC Linux, distribuzione Debian 2.2: kernel 2.2.18, compilatore g77 : GNU Fortran 0.5.25 19991030

---

Energia(MeV)	30 gradi	50 gradi	70 gradi	90 gradi
1	2	2	1	1
5	4	2	2	2
10	4	3	2	2
50	5	5	4	4
100	7	7	5	7
500	15	15	15	26
1000	20	21	23	48
10000	57	64	106	7 ore
40000	109	2 ore	4 ore	36 ore

# AGILE

Ref:	AGILE-ITE-RE-004
Project Ref. :	AGILE
Issue: 1	Page:24
Date:	27/03/2003