

**DOCUMENT TYPE:** TECHNICAL NOTE

**TITLE:** **COEFFICIENTE DI ATTENUAZIONE OTTIMALE  
DELLE BARRE DEL MINICALORIMETRO DI  
AGILE**

**DOCUMENT No.** AGILE-ITE-TN-007 **PAGE:** i of v, 9

**PROJECT Ref.:** AGILE MCAL

**ISSUE No.:** 1.0 **DATE:** Gennaio 2003  
IASF/BO Report 360/02

**PREPARED BY:** ENRICO CELESTI  
CLAUDIO LABANTI  
MARCELLO GALLI

**CHECKED BY:**

**SUBSYSTEM MANAGER** CLAUDIO LABANTI **DATE:**

**APPROVED BY:**

**SUBSYSTEM LEADER:** G. DI COCCO **DATE:**

**PROJECT LEADER:** MARCO TAVANI **DATE:**

**PROGRAM MANAGER:** **DATE:**

**PA/PM:** R.A. BERNABEO **DATE:**

**CONFIGURATION:** **DATE:**

**DISTRIBUTION LIST**

<b>NAME</b>	<b>DEPT.</b>	<b>e-mail address</b>	
Bernabeo R.A.	IFC	<a href="mailto:bernabeo@mi.iasf.cnr.it">bernabeo@mi.iasf.cnr.it</a>	
Monzani Franco	LABEN	<a href="mailto:monzani.f@laben.it">monzani.f@laben.it</a>	
Cafagna Gaetano	LABEN	<a href="mailto:gcafagna@webmail.laben.it">gcafagna@webmail.laben.it</a>	
Celesti Enrico	ITE	<a href="mailto:celesti@bo.iasf.cnr.it">celesti@bo.iasf.cnr.it</a>	
Di Cocco Guido	ITE	<a href="mailto:dicocco@bo.iasf.cnr.it">dicocco@bo.iasf.cnr.it</a>	
Trifoglio Massimo	ITE	<a href="mailto:trifoglio@bo.iasf.cnr.it">trifoglio@bo.iasf.cnr.it</a>	
Labanti Claudio	ITE	<a href="mailto:labanti@bo.iasf.cnr.it">labanti@bo.iasf.cnr.it</a>	
Mangili Cinzia	IFC	<a href="mailto:ciancia@mi.iasf.cnr.it">ciancia@mi.iasf.cnr.it</a>	
Tavani Marco	IFC	<a href="mailto:tavani@mi.iasf.cnr.it">tavani@mi.iasf.cnr.it</a>	



## SOMMARIO

<u>1</u>	<u>Introduzione .....</u>	<u>1</u>
<u>2</u>	<u>Documenti di riferimento .....</u>	<u>2</u>
<u>3</u>	<u>Misure di <math>\alpha</math> eseguite da Laben.....</u>	<u>3</u>
<u>4</u>	<u>Fattori che influiscono sulla scelta di <math>\alpha</math>.....</u>	<u>5</u>
4.1	Risoluzione energetica delle barre.....	5
4.2	Risoluzione spaziale delle barre.....	6
4.3	Risposta delle barre a fotoni con distribuzione spettrale di tipo Gamma Ray Burst.....	7
<u>5</u>	<u>Conclusioni: scelta di <math>\alpha</math>.....</u>	<u>9</u>

## **1 INTRODUZIONE**

Lo scopo di questo documento è quello di definire i criteri che permettono di scegliere quali caratteristiche dovranno avere le barre del Minicalorimetro di Agile, in termini di uscita luce al fotodiode ed attenuazione della luce ( $\alpha$ ).

I criteri di scelta analizzati nei prossimi capitoli e che sono utilizzati come una sorta di fattore di merito delle barre, sono:

- 1) Risoluzione energetica ottenibile
- 2) Risoluzione in posizione ottenibile
- 3) Soglia minima in energia ottenibile
- 4) Sensibilità dello strumento ai burst

## **2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

- [1] C. Labanti, “AGILE MCAL Subsystem Specification”, AGILE-ITE-SS-002, CNR IASF-Bologna.
- [2] C.Labanti, E. Celesti, “Test plan per la caratterizzazione delle Barre CsI del Minicalorimetro di AGILE”, CNR IASF-Bologna, TBW.
- [3] E.Celesti, “Proposta di utilizzo dei dati del Minicalorimetro per la creazione dei Ratemeters nel Data Handling”, AGILE-ITE-RE-002, Issue 1.1, 02-2002, CNR IASF-Bologna.
- [4] Band et al., Apj. 413:281 (93).

### 3 MISURE SULLE BARRE ESEGUITE IN LABEN

Di seguito vengono riportati i grafici delle misure fatte in Laben sulle barre Amcryst, con diversi trattamenti della superficie.

Per effettuare le misure sono state usate sorgenti collimate di Na-22 (barre 1, 2 e 3) ed Y-88 (barra 4), poste in diversi punti sulla barra (a 1, 2, 4, 5, 8, 12, 16 e 20 cm dal PD).

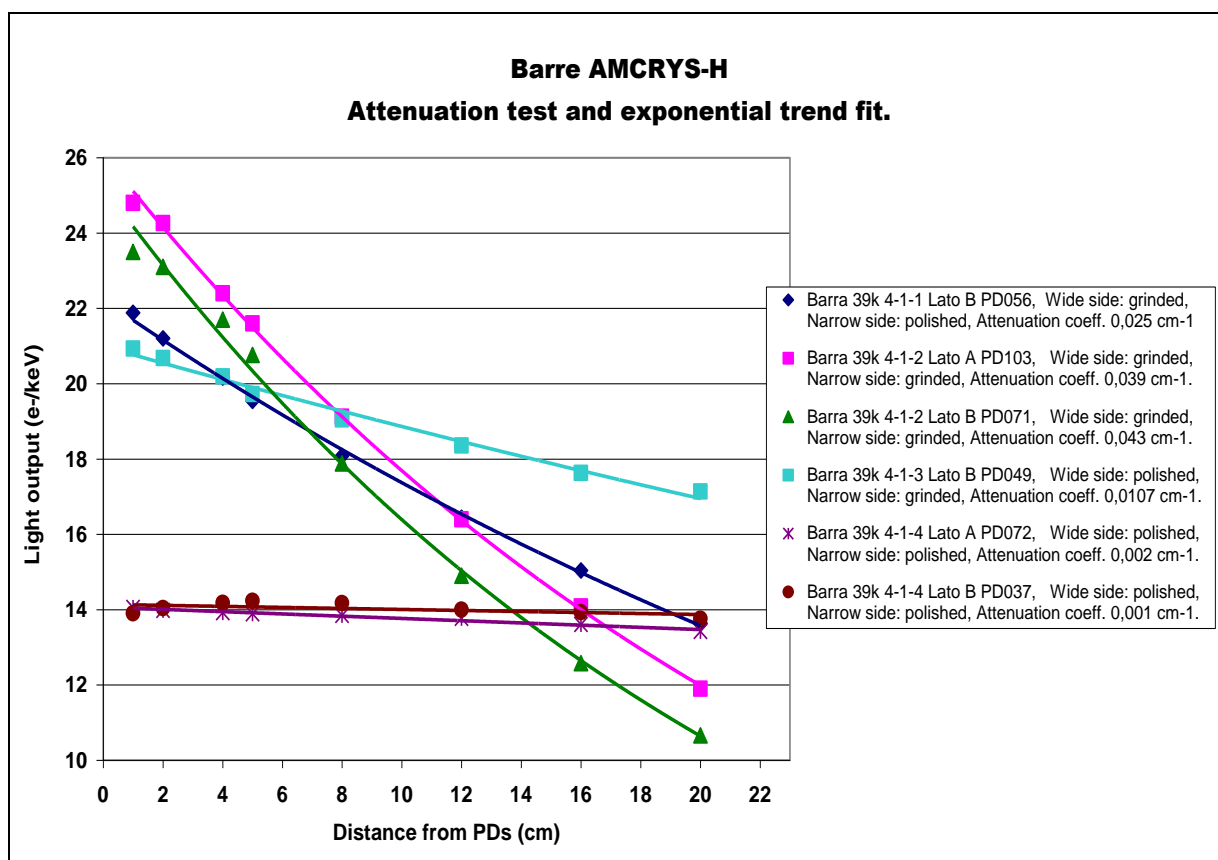


Figura 3-1: Misure effettuate sulle 4 barre Amcryst, uscite luce per punti a 1, 2, 4, 5, 8, 12, 16 e 20 cm dal fotodiode.

Barra	Wide side	Narrow side	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	Out Luce @ 1 cm (e <sup>-</sup> /keV)
Barra 1 (GP)	Grinded	Polished	0.024	21.9
Barra 2 (GG)	Grinded	Grinded	A: 0.039 B: 0.045	A: 23.5 B: 24.8
Barra 3 (PG)	Polished	Grinded	0.009	20.9
Barra 4 (PP)	Polished	Polished	A: 0.002 B: 0.002	A: 14.1 B: 13.9

Tabella 3-1: Caratteristiche delle barre misurate da Laben.

In Tabella 3-1 sono riassunte le caratteristiche principali delle barre misurate da Laben, per il calcolo di  $\alpha$  si è tenuto conto dell'andamento delle uscite luce tra 5 e 20 cm (in Figura 3-1 invece il calcolo dell'attenuazione è stato fatto tenendo conto di tutti i punti misurati).

Da un'analisi qualitativa dei dati misurati, si nota una certa regolarità nell'andamento del coefficiente di attenuazione e dell'uscita luce in rapporto con il trattamento delle superfici, che porta alle seguenti considerazioni:

- A giudicare dalla barra 4, risulta evidente che la lucidatura delle superfici comporta un appiattimento del coefficiente di attenuazione ed una più bassa uscita luce in prossimità del fotodiode.
- La barra 2 ha tutte le superfici grattate ed il coefficiente di attenuazione è il più elevato.
- La barra 1 che ha solo i lati ampi grattati, ha un coefficiente di attenuazione intermedio.
- La barra 3 infine, che ha solo i lati stretti grattati, presenta un coefficiente di attenuazione piatto.

Si nota quindi che l'attenuazione della luce è in qualche modo proporzionale alla percentuale di superficie grattata della barra e che l'uscita luce si mantiene su livelli elevati, vicino al fotodiode, se almeno due lati della barra sono grattati.



## 4 FATTORI CHE INFLUISCONO SULLA SCELTA DI $\alpha$

### 4.1 RISOLUZIONE ENERGETICA DELLE BARRE

Si vuole stimare quanto influisce la scelta del coefficiente di attenuazione  $\alpha$  sulla risoluzione energetica  $\Delta E/E$ .

Per farlo si considera che il coefficiente di attenuazione  $\alpha$  della luce lungo la barra e le uscite luce  $k$  siano le stesse per entrambi i lati barra, in questo caso l'energia depositata nelle barre può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$E = \sqrt{\frac{A \cdot B}{k^2}} \cdot e^{\alpha x_0}$$

e l'errore sulla risoluzione energetica può essere espresso come:

$$\left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 = \Delta A^2 \left(\frac{1}{2A}\right)^2 + \Delta B^2 \left(\frac{1}{2B}\right)^2 + \Delta k^2 \frac{1}{k^2} + \Delta \alpha^2 x_0^2$$

dove A e B sono le ampiezze degli impulsi letti al fotodiode in elettroni ed  $x_0=L/2$  è la metà della lunghezza della barra.

Per il valore di  $\Delta A$  e  $\Delta B$  si stima:

$$\Delta A^2 = A + N^2; \quad \Delta B^2 = B + N^2$$

Dove N è il rumore della catena elettronica (circa 800  $e^-_{\text{rms}}$ ).

I segnali minimi di A e B hanno ampiezza di almeno 5N (4000  $e^-_{\text{rms}}$ ). Quindi si trova che:

$$\left(\frac{\Delta A}{2A}\right)^2 = \frac{A + N^2}{4A^2} = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{A} + \frac{1}{25}\right) \approx 10^{-2}$$

Si procede analogamente per la stima di  $\left(\frac{\Delta B}{2B}\right)^2$ .

Per calcolare il contributo di  $\Delta k$  si stima:

$$\Delta k \cong \frac{k}{10}; \quad \text{quindi} \quad \left(\frac{\Delta k}{k}\right)^2 = 10^{-2}$$

Anche per  $\Delta \alpha$  si considera che sia:

$$\Delta\alpha \cong \frac{\alpha}{10};$$

$$\text{quindi } \Delta\alpha^2 x_0^2 = \alpha^2 \frac{18.75^2}{100} \cong \alpha^2 \cdot 3.5$$

Se  $0.01 < \alpha < 0.045 \text{ cm}^{-1}$ , si ottiene che  $3.5 \cdot 10^{-4} < \Delta\alpha^2 x_0^2 < 7 \cdot 10^{-3}$ , e quindi questo termine risulta trascurabile rispetto agli altri.

In conclusione la risoluzione energetica dipende ovviamente dall'ampiezza dei segnali rivelati, per un ordine di grandezza analogo dal valore dell'uscita luce e dalla sua precisione. Il valore di  $\alpha$  stesso non influisce in modo diretto sulla risoluzione energetica mentre ha qualche influenza, minore dei fattori precedenti, l'errore sul coefficiente di attenuazione  $\Delta\alpha$ .

## 4.2 RISOLUZIONE SPAZIALE DELLE BARRE

Supponendo che il coefficiente di attenuazione della luce lungo la barra  $\alpha$  e le uscite luce  $k$  siano le stesse per entrambi i lati barra, la posizione di interazione può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$x = -\frac{1}{2\alpha} \ln \frac{A}{B}$$

e l'errore sulla risoluzione spaziale può essere espresso come:

$$\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 = \Delta\alpha^2 \left(\frac{1}{\alpha}\right)^2 + \Delta A^2 \left(\frac{1}{A \ln A}\right)^2 + \Delta B^2 \left(\frac{1}{B \ln B}\right)^2$$

dove ancora  $A$  e  $B$  sono le ampiezze degli impulsi letti al fotodiodo in elettroni ed  $x_0=L/2$  è la metà della lunghezza della barra.

Per il valore di  $\Delta A$  e  $\Delta B$  si considera:

$$\Delta A^2 = A + N^2; \quad \Delta B^2 = B + N^2$$

Dove  $N$  è il rumore della catena elettronica (circa  $800 \text{ e}^-_{\text{rms}}$ ) ed i segnali  $A$  e  $B$  hanno ampiezza di almeno  $5N$ . Quindi si trova che:

$$\left(\frac{\Delta A}{A \ln A}\right)^2 = \frac{A + N^2}{A^2 \ln^2 A} = \frac{1}{A \ln^2 A} + \frac{N^2}{A^2 \ln^2 A}$$

Sapendo che  $A > 5N$  (quindi  $A > 4000 \text{ e}^-$ ):

$$\left(\frac{\Delta A}{A \ln A}\right)^2 < \frac{1}{A \ln^2 A} + \frac{1}{25 \ln^2 A} \cong \frac{1}{25 \ln^2 A} < 5 \times 10^{-3}$$

Si procede analogamente per la stima di  $\left(\frac{\Delta B}{B \ln B}\right)^2$ .

Per il valore di  $\Delta\alpha$  si considera:

$$\Delta\alpha \cong \frac{\alpha}{10}; \text{ quindi } \Delta\alpha^2 \frac{1}{\alpha^2} \cong 10^{-2}$$

Si vede che il contributo maggiore all'errore sulla risoluzione spaziale è dovuto alla componente associata al coefficiente di attenuazione  $\alpha$ . In particolare la risoluzione spaziale è influenzata in maniera dominante dal rapporto  $\Delta\alpha/\alpha$ .

#### 4.3 RISPOSTA DELLE BARRE A FOTONI CON DISTRIBUZIONE SPETTRALE DI TIPO GAMMA RAY BURST

Per verificare la risposta del minicalorimetro ad eventi di burst, ed in particolare per determinare in che misura il coefficiente di attenuazione  $\alpha$  incide sulla capacità dello strumento di rivelare burst di raggi gamma, è stata effettuata una simulazione col metodo Montecarlo di tali eventi sul minicalorimetro. E' stato simulato un fascio piano di fotoni incidenti su MCAL, avente le seguenti caratteristiche spettrali:

- 1) Fascio monoenergetico: suddiviso per diverse energie del fascio.
- 2) Spettro di burst, suddiviso in due categorie: burst con spettro medio e burst con spettro duro.

In base al fascio incidente è poi stata calcolata l'efficienza di rivelazione di MCAL ai fotoni incidenti. L'efficienza viene definita come la frazione degli eventi diretti su MCAL che viene rivelata dallo strumento.

Energie dei fasci monoenergetici utilizzati nella simulazione (in MeV):

0.50 0.75 1.0 10 100

Per gli spettri di burst si utilizza la forma di Band (Band et al., Apj. 413:281 (93)):

$$N(E) = A \left(\frac{E}{100}\right)^\alpha \exp\left(-\frac{E}{E_0}\right) \quad \text{se } E \leq (\alpha-\beta) \cdot E_0$$

$$N(E) = B \left(\frac{E}{100}\right)^\beta \quad \text{se } E > (\alpha-\beta) \cdot E_0$$

Dove:

$E_0$  = Energia in cui cambia la pendenza dello spettro.

A e B = Parametri che danno un'indicazione dell'intensità del burst.

E con:

$N(E)$  in [ph/cm<sup>2</sup>/sec/keV] ed E in [keV].

Caratteristiche degli spettri di burst considerati:

- |                 |                  |                 |                       |            |            |
|-----------------|------------------|-----------------|-----------------------|------------|------------|
| 1) Burst medio: | $\alpha = -1.00$ | $\beta = -2.30$ | $E_0 = 300\text{keV}$ | $A = 0.05$ | $B = 0.08$ |
| 2) Burst duro:  | $\alpha = -0.67$ | $\beta = -2.30$ | $E_0 = 700\text{keV}$ | $A = 0.6$  | $B = 6.2$  |

Per le simulazioni sono stati immessi nel Montecarlo punto per punto i parametri della barra mostrati in Figura 3-1, i dati da 20 a 37.5 cm (non misurati) sono stati ottenuti con una estrapolazione lineare dell'uscita luce.

Segue la tabella delle efficienze calcolate in funzione dei parametri delle barre elencati al paragrafo 3.

Parametri barra			Fasci monoenergetici (MeV)					Spettri di burst	
Barra	Soglia @ 1 cm (keV)	Alfa (cm <sup>-1</sup> )	0.50	0.75	1	10	100	Burst medio	Burst duro
1 (GP)	177	0.024	0.118	0.173	0.200	0.351	0.743	0.016	0.11
2 (GG)	167	0.042	0.069	0.145	0.180	0.330	0.740	0.014	0.096
3 (PG)	189	0.009	0.154	0.209	0.229	0.366	0.747	0.024	0.14
4 (PP)	290	0.002	0.116	0.168	0.196	0.491	0.743	0.016	0.11

**Tabella 4-1: Efficienze(fotoni-rivelati/fotoni-incidenti) delle 4 barre per fasci monoenergetici e spettri di burst.**

In tabella tra parentesi sono indicate le caratteristiche del trattamento superficiale delle barre, prima per il lato maggiore e poi per il lato minore (P=polished, G=grinded).

Dalla tabella si nota che la barra 3 presenta le efficienze maggiori, sia per fasci monoenergetici che per spettri di burst, nonostante la soglia minima di questa non sia tra le migliori. Questo è dovuto al suo basso valore di  $\alpha$ , che le fa mantenere un'uscita luce maggiore che per le altre barre nella zona centrale (oltre i 6 – 8 cm dal PD, vedi Figura 3-1).

## 5 CONCLUSIONI: SCELTA DI $\alpha$

Per la scelta del coefficiente di attenuazione migliore si devono tenere in considerazione diversi parametri delle barre:

- 1) Risoluzione energetica.
- 2) Risoluzione spaziale.
- 3) Soglia minima di energia ad 1 cm dal PD.
- 4) Efficienza di rivelazione ai GRB.

La risoluzione energetica è influenzata in modo secondario dal valore del coefficiente di attenuazione  $\alpha$ .

La risoluzione spaziale invece è influenzata in modo più marcato.

Una soglia minima bassa permette di rivelare eventi più deboli, ma rivelare eventi di bassa energia diventa di secondaria importanza se questo comporta una minore efficienza dello strumento, come si nota esaminando le simulazioni montecarlo.

Il parametro più importante per la scelta del valore migliore di  $\alpha$  è dunque l'efficienza di rivelazione dei GRB.

Per massimizzare l'efficienza di rivelazione dei burst la scelta ricade su una barra con superfici ampie lucidate e superfici strette grattate, che non solo presenta l'efficienza migliore per i due tipi di burst simulati, ma si comporta molto bene anche con fasci di fotoni monocromatici.

I requisiti ottimali per le barre del Calorimetro di Agile sono:

- Uscita luce @ 1 cm = 21 e<sup>-</sup>/kev
- $\alpha = 0.010 \text{ cm}^{-1}$