

**DOCUMENT TYPE:** TECHNICAL REPORT

**TITLE:** PROPOSTA DI UTILIZZO DEI DATI DEL MINICALORIMETRO PER LA CREAZIONE DEI RATEMETERS NEL DATA HANDLING

**DOCUMENT Ref. No.:** AGILE-ITE-RE-002 N° OF PAGES: i-v, 23  
TeSRE Report n. 339/02

**ISSUE No.:** 1.1 **DATE:** February 2002

**PREPARED BY:** E. CELESTI, C. LABANTI

**CHECKED BY:** C. LABANTI

**SUBSYSTEM MANAGER:** C. LABANTI

**APPROVED BY:**

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

**PROJECT LEADER:** M. TAVANI **DATE:**

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

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

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

**AGILE-ITE-RE-002\_Ratemeters\_in\_MCAL\_v1\_1.doc**

**del 28.2.02**





## SOMMARIO

INTRODUZIONE.....	1
<b>1. RICOSTRUZIONE DELL' ENERGIA DEGLI EVENTI RIVELATI DALLE BARRE DI AGILE-MCAL: VALUTAZIONE DELLA PRECISIONE RAGGIUNGIBILE CON METODI DIVERSI.....</b>	<b>3</b>
1.1 PRECISIONE DEI DIVERSI METODI NELLA RICOSTRUZIONE DELL'ENERGIA RILASCIATA NELLA BARRA.....	3
1.1.1 Definizioni.....	4
1.2 RICOSTRUZIONE DELL'ENERGIA RILASCIATA NELLA BARRA .....	4
1.2.1 Ricostruzione esatta dell'energia.....	4
1.2.2 Ricostruzione approssimata dell'energia con $\langle \alpha \rangle$ e $\langle k \rangle$ .....	6
1.2.3 Ricostruzione approssimata col metodo della somma .....	6
1.2.4 Valutazione della precisione raggiungibile .....	6
1.2.5 Simulazioni .....	7
1.3 ASSEGNAZIONE ALLA LUT-E DELL'ENERGIA DEPOSITATA IN OGNI BARRA .....	13
1.3.1 Troncamento dei 4 bit meno significativi.....	13
1.3.2 Precisione dei segnali di una barra variabile con l'energia .....	13
1.4 DISCUSSIONE.....	13
1.4.1 Segnali sommati.....	13
1.4.2 Ricostruzione approssimata dell'energia con $\langle \alpha \rangle$ e $\langle k \rangle$ e con troncamento nella precisione dei segnali di una barra .....	13
1.4.3 Ricostruzione approssimata dell'energia con $\langle \alpha \rangle$ e $\langle k \rangle$ e con precisione dei segnali di una barra variabile con l' energia.....	14
1.4.4 Comparazione tra i filtri .....	14
2. AGILE MCAL RATEMETERS .....	16
2.1 SCHEMA GENERALE DI ASSEGNAZIONE RATEMETERS .....	16
2.2 VALUTAZIONE DELL'ENERGIA DEPOSITATA IN UNA BARRA.....	18
2.2.1 Conversione con LUT-12-8.....	18
2.2.2 Conversione con LUT-E .....	19
2.3 RATEMETERS SCIENTIFICI .....	20
2.4 DETECTOR RATEMETERS E RATEMETERS PER LA RICERCA DEI BURST IN MCAL .....	21
2.4.1 Assegnazione dei DR.....	21
<b>INDICE DELLE FIGURE</b>	
<b>Figura 1-1: Segnale visto dai due PD. ....</b>	<b>4</b>
<b>Figura 1-2: E=10 MeV, <math>\alpha_a=0.40 \text{ cm}^{-1}</math>, <math>\alpha_b=0.040 \text{ cm}^{-1}</math>, <math>k_a=15 \text{ e/keV}</math>, <math>k_b=15 \text{ e/keV}</math>.....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 1-3: E=10 MeV, <math>\alpha_a=0.035 \text{ cm}^{-1}</math>, <math>\alpha_b=0.050 \text{ cm}^{-1}</math>, <math>k_a=15 \text{ e/keV}</math>, <math>k_b=20 \text{ e/keV}</math>.....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 1-4: E=10 MeV, <math>\alpha_a=0.035 \text{ cm}^{-1}</math>, <math>\alpha_b=0.050 \text{ cm}^{-1}</math>, <math>k_a=20 \text{ e/keV}</math>, <math>k_b=15 \text{ e/keV}</math>.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 1-5: E=10 MeV, <math>\alpha_a=0.035 \text{ cm}^{-1}</math>, <math>\alpha_b=0.035 \text{ cm}^{-1}</math>, <math>k_a=20 \text{ e/keV}</math>, <math>k_b=15 \text{ e/keV}</math>.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 1-6: E=10 MeV, <math>\alpha_a=0.035 \text{ cm}^{-1}</math>, <math>\alpha_b=0.045 \text{ cm}^{-1}</math>, <math>k_a=15 \text{ e/keV}</math>, <math>k_b=15 \text{ e/keV}</math>.....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 1-7: E=5 MeV, <math>\alpha_a=0.040 \text{ cm}^{-1}</math>, <math>\alpha_b=0.040 \text{ cm}^{-1}</math>, <math>k_a=15 \text{ e/keV}</math>, <math>k_b=15 \text{ e/keV}</math>.....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 1-8: E=100 MeV, <math>\alpha_a=0.040 \text{ cm}^{-1}</math>, <math>\alpha_b=0.040 \text{ cm}^{-1}</math>, <math>k_a=15 \text{ e/keV}</math>, <math>k_b=15 \text{ e/keV}</math>.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 1-9: Andamento dell'incertezza su E (<math>\Delta E</math>) in funzione di E.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 1-10: Andamento del segnale visto dal fotodiodo su un lato della barra, per eventi interagenti a centro barra.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 2-1: Schema logico di funzionamento delle catene di assegnazione dei DR e dei SR.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 2-2: Schema di calcolo dell'energia per l'evento visto da una barra. ....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2-3: Schema di assegnazione ai ratemeters scientifici del valore dell'energia depositata su ogni piano del Calorimetro.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 2-4: Suddivisione in quattro gruppi delle barre del MiniCalorimetro per l'assegnazione dei DR.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2-5: Logica di funzionamento dei 12 Detector Ratemeters (da notare che eventi multipli con <math>E &lt; 1 \text{ MeV}</math> vengono comunque assegnati all'intervallo di energie <math>1 \text{ MeV} &lt; E &lt; 10 \text{ MeV}</math>).....</b>	<b>23</b>

## INDICE DELLE TABELLE

**Tabella 1: Parametri impostati nei grafici per la valutazione dei metodi di ricostruzione dell'energia. .... 8**

## INTRODUZIONE

Il MiniCalorimetro (MCAL) di Agile utilizza gli eventi rivelati dal ramo burst della sua catena elettronica, per produrre una serie di Ratemeters (RM); in questo documento verranno esaminate due classi di RM utilizzati nel Data Handling System (DH) di Agile:

- I Ratemeter Scientifici (SR), verranno usati per la ricostruzione dello spettro di energia rivelata da MCAL; i tempi di integrazione saranno pari ad 1 sec. Gli spettri saranno inviati a terra con la telemetria.
- I Detector Ratemeters (DR), verranno impiegati nel DH per la ricerca di eventi di Burst.

Gli SR sono in tutto 36.

- Ogni SR ha una profondità di 16 bit (65536 eventi registrabili).
- I primi 16 SR formano lo spettro di energia del piano superiore di MCAL.
- Altri 16 SR hanno la stessa funzione per il piano inferiore di MCAL.
- I rimanenti 4 SR vengono usati per contare il numero di eventi sui 4 lati di MCAL separatamente; questi RM contano segnali che intrinsecamente sono rappresentativi di tutti gli eventi sopra la soglia minima di MCAL (circa 250 keV).
- Per ogni piano i 16 canali dovrebbero essere spazati in modo uniforme su scala logaritmica in modo da coprire l'intervallo di energie compreso tra 250 keV (evento singolo rilevabile su un lato barra) e 4 GeV (corrispondente all'energia massima rilasciata su un piano di MCAL, 250 MeV×16 barre).

I DR sono 12.

- Ogni evento registrato sull'intero MCAL viene assegnato ad uno dei 12 DR in funzione del punto in cui interagisce sul MCAL e dell'energia che deposita sulle barre.
- Per l'assegnazione degli eventi ai DR:
  - o Quando  $E > 1$  MeV, MCAL viene concettualmente diviso in 2 piani, ed ogni piano in due gruppi di 8 barre vicine (totale 4 gruppi). In questo caso i DR coprono due diversi range di energia (totale 8 DR):  
 $1 \text{ MeV} < E < 10 \text{ MeV}$   
 $10 \text{ MeV} < E < 250 \text{ MeV}$
  - o Per  $E < 1$  MeV il Calorimetro viene ancora diviso in 4 parti, una per ogni lato di MCAL.
- Ogni DR fornisce il rate di conteggi integrato su 1 ms.
- Un burst viene identificato quando uno dei DR produce un rate di conteggio superiore ad una soglia, determinata a partire dal fondo registrato in tempi immediatamente precedenti.
- In DH un algoritmo dedicato si occupa, a partire dai DR, della ricerca dei burst su 7 tempi scala diversi (Short Integration Time o SIT, da 1 ms a 100 sec). Le quantità elaborate da DH sono quindi 84 (12 DR × 7 SIT).

In questo documento viene proposto un metodo per ottimizzare l'assegnazione degli eventi a queste due classi di ratemeters, in funzione delle risorse disponibili in MCAL.

Nel cap. 1 vengono valutati alcuni metodi possibili per la ricostruzione dell'energia depositata lungo la barra e la precisione ottenibile con ciascuno di essi. I vari metodi sono confrontati con la ricostruzione esatta, nota per via analitica, al fine di determinare quale sia il più conveniente.

Nel cap. 2 viene proposto un metodo per assegnare gli eventi ai relativi SR o DR con l'uso di due Look-Up Tables (LUT).

## 1. RICOSTRUZIONE DELL' ENERGIA DEGLI EVENTI RIVELATI DALLE BARRE DI AGILE-MCAL: VALUTAZIONE DELLA PRECISIONE RAGGIUNGIBILE CON METODI DIVERSI

Si possono immaginare diversi metodi per determinare l' Energia depositata in una barra. Allo scopo di determinare quale sia il metodo più conveniente, per ognuno di essi si intende valutare l'errore commesso nello stimare l'energia rilasciata.

Per il calcolo dell'energia E, si parte dai valori dei segnali raccolti ai due lati di una barra chiamati A e B. I vincoli del sistema sono i seguenti:

- A e B sono entrambi a 12 bit.
- E deve essere a 12 bit max.
- L'utilizzo di Look Up Tables (LUT) deve essere limitato a memorie di  $2^8 \times 2^8$  celle di parole max di 12 bit.

In tal caso E può essere valutato in uno dei modi seguenti:

1. A e B vengono sommati per fornire E (12 bit)
2. A e B vengono troncati a 8 bit ciascuno; i due valori costituiscono l'indirizzo di una LUT di calcolo, LUT-E, che dà in uscita il valore di E a 12 bit.
3. A e B vengono ridotti a 8 bit passando per una LUT dedicata, (LUT-12-8), i due valori a 8 bit costituiscono l'indirizzo di una LUT di calcolo (LUT-E), che dà in uscita il valore di E a 12 bit.

### 1.1 PRECISIONE DEI DIVERSI METODI NELLA RICOSTRUZIONE DELL'ENERGIA RILASCIATA NELLA BARRA

Nel paragrafo precedente si sono illustrati diversi metodi di calcolo dell' energia depositata in una barra; uno dei metodi (somma di A e B) prevede un calcolo analitico anche se approssimato, altri due metodi utilizzano per la valutazione di E una LUT che di fatto contiene un modello che permette il calcolo approssimato di E. La precisione di ogni metodo deve inoltre tenere conto delle limitazioni dovute al calcolo con un numero finito di bit.

Di seguito si confronta il calcolo dell'energia rilasciata in una barra di CsI(Tl) da un fotone incidente su di essa usando il metodo:

- Ricostruzione esatta (come da calcolo analitico)

Con i metodi:

- Ricostruzione approssimata usando i valori caratteristici delle barre mediati su tutte le barre ossia  $\langle k \rangle$  (uscita luce) ed  $\langle \alpha \rangle$  (attenuazione luce)
- Ricostruzione approssimata col metodo della somma dei segnali dei due lati.

Al fine di dare una valutazione della precisione di ciascun metodo, si effettua un confronto tra i valori ottenuti con i diversi metodi di approssimazione.

## 1.1.1 DEFINIZIONI

Nel seguito verranno utilizzate le seguenti definizioni con le relative unità di misura:

- A/B = Elettroni raccolti agli elettrodi del PD posto sul lato A/B della barra [ $e^-$ ].  
E = Energia rilasciata nella barra da un fotone incidente [keV].  
 $\alpha_{a/b}$  = Coefficiente di attenuazione della luce sul lato A/B della barra [ $\text{cm}^{-1}$ ].  
 $k_{a/b}$  = Uscita luce della catena elettronica sul lato A/B della barra [ $e^-/\text{keV}$ ].  
D = Lunghezza della barra di CsI(Tl) usata (40 cm).  
 $x_0$  = D/2 (20 cm).

## 1.2 RICOSTRUZIONE DELL'ENERGIA RILASCIATA NELLA BARRA

### 1.2.1 RICOSTRUZIONE ESATTA DELL'ENERGIA

Per ottenere l'espressione della ricostruzione esatta dell'energia rilasciata nella barra si è fatto uso dell'equazione che descrive l'attenuazione della luce nella barra:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha x}$$

Dove  $I_0$  è l'intensità della luce prodotta per scintillazione dal fotone incidente, ed  $I$  è quella che può essere misurata dopo  $x$  cm percorsi dalla luce nella barra.

Il sistema di riferimento adottato per la determinazione della posizione dei punti sulla barra è il seguente:

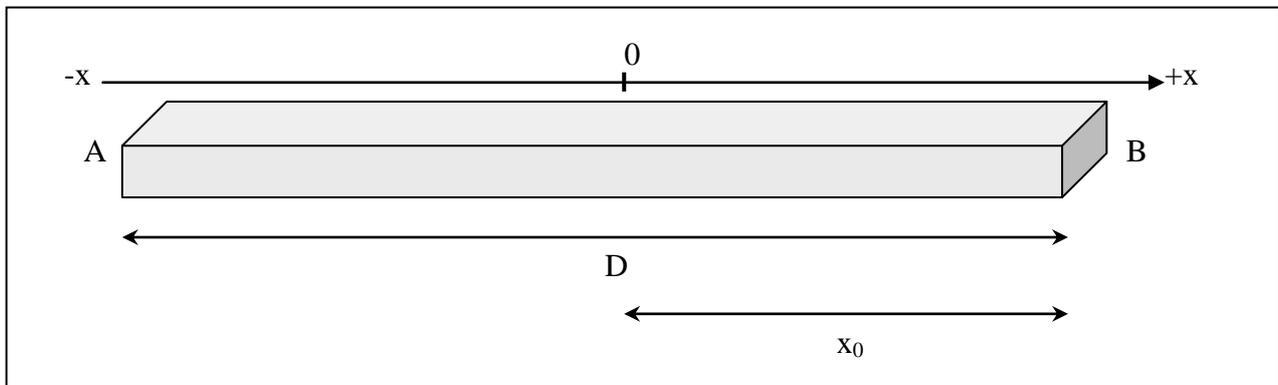


Figura 1-1: Segnale visto dai due PD.

$$1) \quad \begin{aligned} A &= k_a E \cdot e^{-\alpha_a(x_0+x)} \\ B &= k_b E \cdot e^{-\alpha_b(x_0-x)} \end{aligned}$$

Da cui l'energia ricostruita è :

$$2) \quad E = \sqrt{\frac{AB}{k_a k_b}} \cdot e^{-\frac{\alpha_a}{2}(x_0+x) + \frac{\alpha_b}{2}(x_0-x)} \quad \text{oppure} \quad E = \sqrt{\frac{AB}{k_a k_b}} \cdot e^{x\left(\frac{\alpha_a - \alpha_b}{2}\right) + x_0\left(\frac{\alpha_a + \alpha_b}{2}\right)}$$

### 1.2.1.1 ERRORE SULLA RICOSTRUZIONE

Per il calcolo degli errori sulla ricostruzione dell'energia depositata nella barra si ricorre alla nota formula della propagazione degli errori:

$$3) \quad \Delta E^2 = \left(\frac{\partial E}{\partial A} \Delta A\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial B} \Delta B\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial k_a} \Delta k_a\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial k_b} \Delta k_b\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial \alpha_a} \Delta \alpha_a\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial \alpha_b} \Delta \alpha_b\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial x} \Delta x\right)^2$$

Restano da determinare le singole componenti di errore. Si stimano le varianze dei singoli componenti:

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

Dove N è il rumore in elettroni rms della catena elettronica ed il primo termine dipende dalla natura poissoniana della produzione di fotoni di scintillazione.

Per quanto riguarda l'errore sulla misurazione degli altri parametri dell'espressione  $\Delta k_a$ ,  $\Delta k_b$ ,  $\Delta \alpha_a$ ,  $\Delta \alpha_b$ , in mancanza di una valutazione più precisa si assume che siano pari ad 1/10 del valore della costante che rappresentano, mentre si trascura l'errore su x ( $\Delta x$ ).

Errore su E dovuto alle componenti A e B:

$$4) \quad \frac{\partial E}{\partial A} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{B}{A} \frac{1}{k_a k_b}} \cdot e^{x\left(\frac{\alpha_a - \alpha_b}{2}\right) + x_0\left(\frac{\alpha_a + \alpha_b}{2}\right)}$$

Errore su E dovuto alle componenti  $k_a$  e  $k_b$ :

$$5) \quad \frac{\partial E}{\partial k_a} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{AB}{(k_a)^3 k_b}} \cdot e^{x\left(\frac{\alpha_a - \alpha_b}{2}\right) + x_0\left(\frac{\alpha_a + \alpha_b}{2}\right)}$$

Errore su E dovuto alle componenti  $\alpha_a$  e  $\alpha_b$ :

$$6) \quad \frac{\partial E}{\partial \alpha_a} = \frac{1}{2} (x_0 - x) \sqrt{\frac{AB}{k_a k_b}} \cdot e^{x\left(\frac{\alpha_a - \alpha_b}{2}\right) + x_0\left(\frac{\alpha_a + \alpha_b}{2}\right)}$$

Se i contributi di  $\Delta k_a$ ,  $\Delta k_b$ ,  $\Delta \alpha_a$  e  $\Delta \alpha_b$  sono  $< 1/10$  del valore delle relative costanti, allora l'errore che portano sul calcolo di E può essere considerato trascurabile rispetto a quello dovuto a  $\Delta A$  e  $\Delta B$ . Di conseguenza il calcolo dell'errore su E può essere ridotto alla seguente equazione:

$$7) \quad \Delta E = \sqrt{\left(\frac{\partial E}{\partial A} \Delta A\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial B} \Delta B\right)^2}$$

## 1.2.2 RICOSTRUZIONE APPROSSIMATA DELL'ENERGIA CON $\langle \alpha \rangle$ E $\langle k \rangle$

Si può semplificare l'espressione che porta al calcolo dell'energia rilasciata nella singola barra ponendo  $\alpha_a = \alpha_b = \langle \alpha \rangle$  e  $k_a = k_b = \langle k \rangle$ . Questa può essere una buona approssimazione nel caso in cui le caratteristiche di attenuazione ed uscita luce dei due lati della barra siano simili.

$$\langle \alpha \rangle = \frac{\alpha_a + \alpha_b}{2} \quad \langle k \rangle = \frac{k_a + k_b}{2}$$

Energia approssimata:

$$8) \quad E_a = \frac{1}{\langle k \rangle} \sqrt{AB} \cdot e^{x_0 \langle \alpha \rangle}$$

Da cui si può ricavare l'errore sull'espressione di  $E_a$  sapendo che:

$$\frac{\partial E_a}{\partial A} = \frac{1}{2k} \sqrt{\frac{B}{A}} e^{x_0 \alpha}$$

ed applicando il risultato così ottenuto alla 7).

## 1.2.3 RICOSTRUZIONE APPROSSIMATA COL METODO DELLA SOMMA

Un'altra semplificazione del calcolo della E rilasciata nella barra si ottiene facendo il rapporto tra la somma del numero di elettroni raccolti dai PD dei due lati barra (misurati dalla catena elettronica) e l'uscita luce media della barra:

$$9) \quad E_s = \frac{A+B}{\langle k \rangle}$$

Da cui si può ricavare l'errore sull'espressione di  $E_s$  sapendo che:

$$\frac{\partial E_s}{\partial A} = \frac{\partial E_s}{\partial B} = \frac{2}{k_a + k_b} \quad \text{e} \quad \frac{\partial E_s}{\partial k_a} = \frac{\partial E_s}{\partial k_b} = -\frac{2(A+B)}{(k_a + k_b)^2}$$

ed applicando il risultato così ottenuto alla 3) con  $\Delta \alpha a$  e  $\Delta \alpha b = 0$ .

## 1.2.4 VALUTAZIONE DELLA PRECISIONE RAGGIUNGIBILE

Per fare una valutazione della precisione ottenibile sulla misura di E a seconda del metodo usato, sono stati confrontati i valori ricostruiti di E col metodo esatto con i valori di E approssimati. Lo stesso è stato fatto per i relativi errori.

Per il calcolo dei parametri inseriti nelle figure sono state usate inoltre le seguenti formule:

- Calcolo di  $\Delta E_a(\%)$  ossia variazione percentuale di  $E_a$  (Energia approssimata) dal valor vero  $E$ :

$$10) \quad \Delta E_a(\%) = f_a = 100 \frac{E_a - E}{E}$$

Per il calcolo dell'errore su  $\Delta E_a$ , sapendo che:

$$\frac{\partial f_a}{\partial E} = -100 \frac{E_a}{E^2} \quad \text{e} \quad \frac{\partial f_a}{\partial E_a} = \frac{100}{E}$$

Si ricava l'espressione dell'errore:

$$11) \quad \Delta f_a = \sqrt{\left(100 \frac{E_a}{E^2} \Delta E\right)^2 + \left(100 \frac{1}{E} \Delta E_a\right)^2}$$

- Calcolo di  $\Delta E_s(\%)$ , ossia variazione percentuale di  $E_s$  (metodo somma) dal valor vero  $E$ :

$$12) \quad \Delta E_s(\%) = f_s = 100 \frac{E_s - E}{E}$$

Errore su  $\Delta E_s$ :

$$13) \quad \Delta f_s = \sqrt{\left(100 \frac{E_s}{E^2} \Delta E\right)^2 + \left(100 \frac{1}{E} \Delta E_s\right)^2}$$

## 1.2.5 SIMULAZIONI

Nei diversi casi descritti in tabella 1, con  $\alpha$  e  $k$  uguali dai due lati barra o sbilanciati, si sono valutate le energie ricostruite funzione della posizione secondo

- a) Calcolo esatto (vedi par 2.1)
- b) Valori medi di  $\alpha$  e  $k$  (vedi par 2.2)
- c) Somma dei segnali (vedi par 2.3)

Nelle figure da Fig. 1-2 a Fig. 1-8 sono illustrate le variazioni % del calcolo b) o c) rispetto a quello esatto in a).

	E (keV)	$\alpha_a$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\alpha_b$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$K_a$ ( $\text{e}^-/\text{keV}$ )	$k_b$ ( $\text{e}^-/\text{keV}$ )	$N_a$ ( $\text{e}^-_{\text{rms}}$ )	$N_b$ ( $\text{e}^-_{\text{rms}}$ )
Figura 1-2	10000	0.04	0.04	15	15	1000	1000
Figura 1-3	10000	0.035	0.05	15	20	1000	1000
Figura 1-4	10000	0.035	0.05	20	15	1000	1000
Figura 1-5	10000	0.035	0.035	20	15	1000	1000
Figura 1-6	10000	0.035	0.045	15	15	1000	1000
Figura 1-7	5000	0.04	0.04	15	15	1000	1000
Figura 1-8	100000	0.04	0.04	15	15	1000	1000

**Tabella 1: Parametri impostati nei grafici per la valutazione dei metodi di ricostruzione dell'energia.**

Per tutti i calcoli sono stati presi valori di  $\langle\alpha\rangle$  e  $\langle k\rangle$  di tutte le barre pari a:

$$\langle\alpha\rangle = 0.04 \text{ cm}^{-1} \qquad \langle k\rangle = 15 \text{ e}^-/\text{keV}$$

$D = \Delta E_a(\%)$  o  $\Delta E_s(\%)$  a seconda del caso illustrato

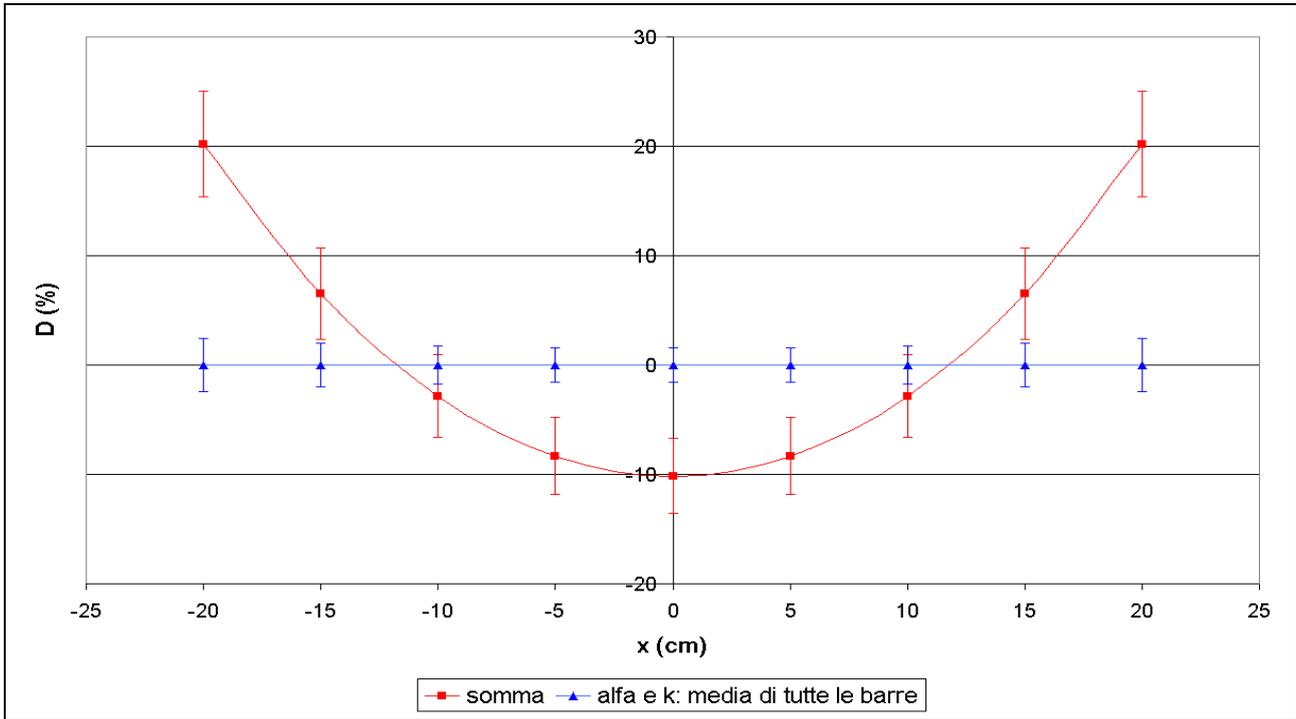


Figura 1-2: E=10 MeV,  $\alpha_a=0.40 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\alpha_b=0.040 \text{ cm}^{-1}$ ,  $k_a=15 \text{ e}^-/\text{keV}$ ,  $k_b=15 \text{ e}^-/\text{keV}$

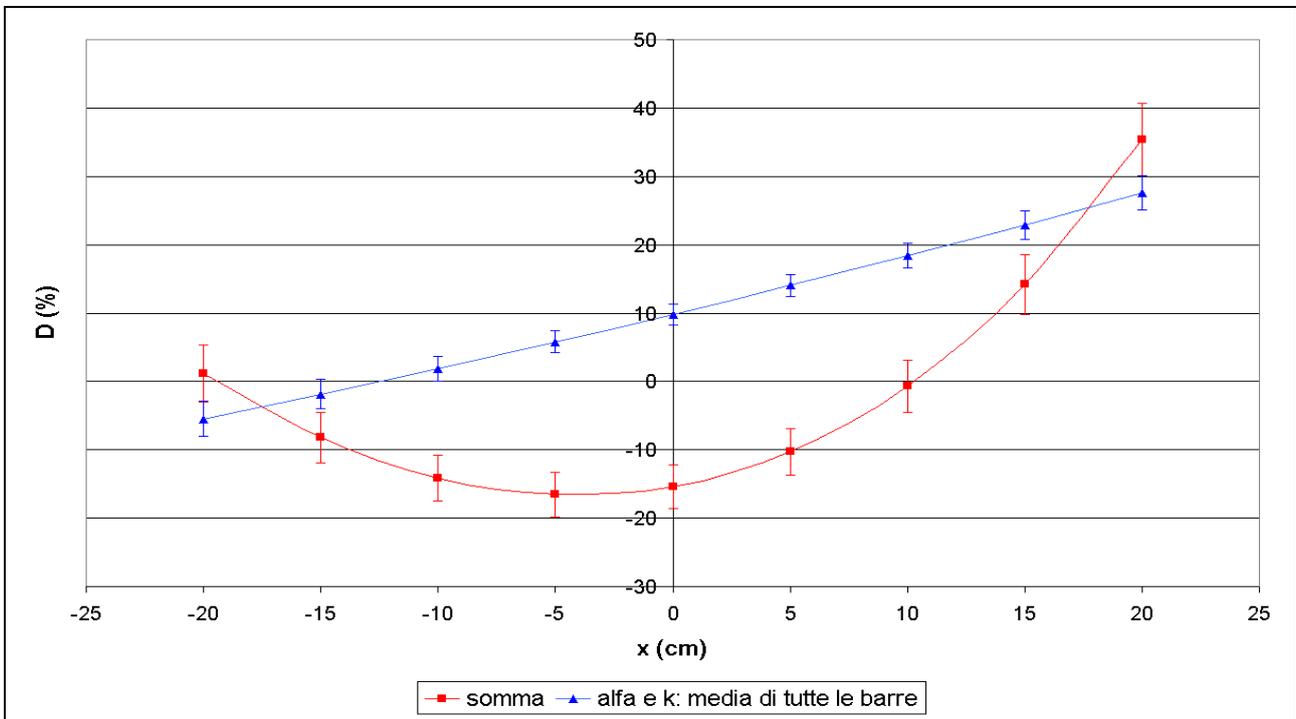


Figura 1-3: E=10 MeV,  $\alpha_a=0.035 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\alpha_b=0.050 \text{ cm}^{-1}$ ,  $k_a=15 \text{ e}^-/\text{keV}$ ,  $k_b=20 \text{ e}^-/\text{keV}$

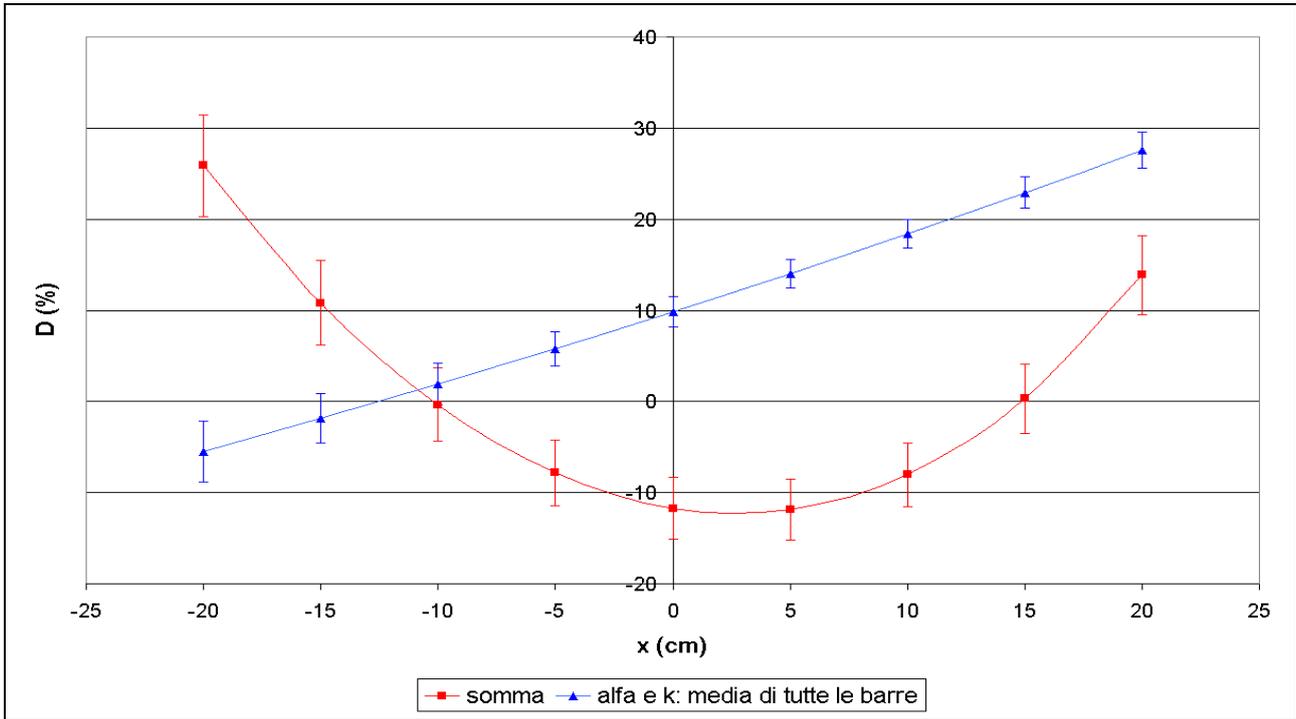


Figura 1-4: E=10 MeV,  $\alpha_a=0.035 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\alpha_b=0.050 \text{ cm}^{-1}$ ,  $k_a=20 \text{ e}^-/\text{keV}$ ,  $k_b=15 \text{ e}^-/\text{keV}$

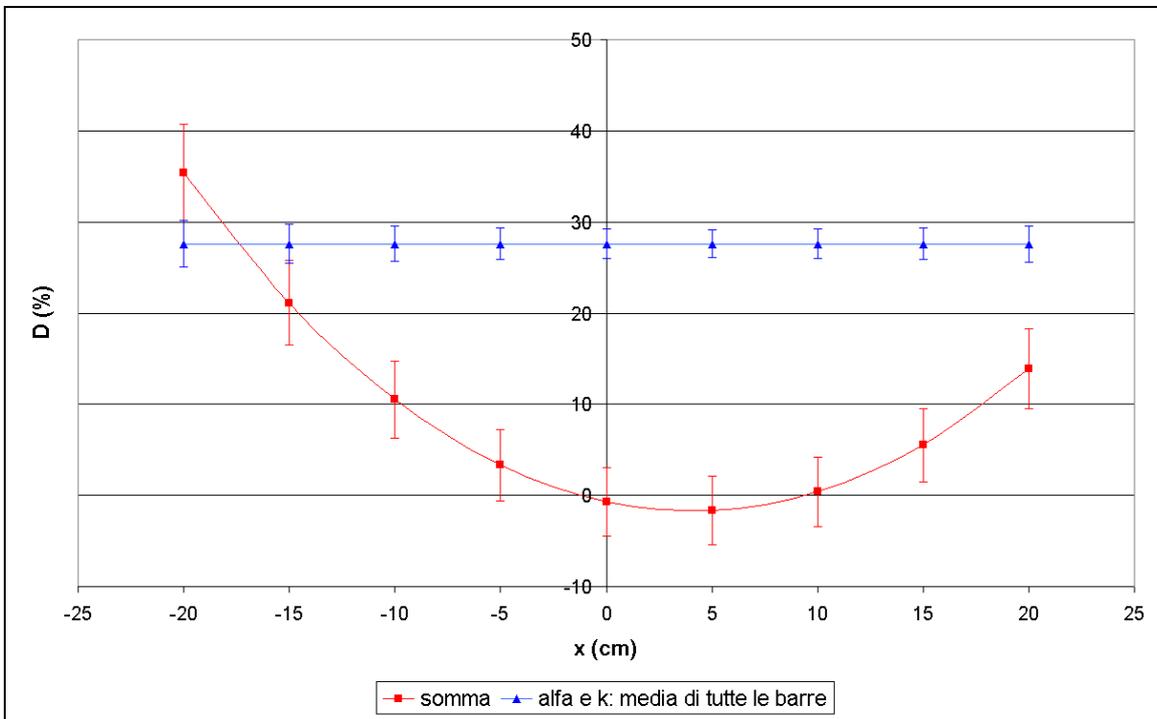


Figura 1-5: E=10 MeV,  $\alpha_a=0.035 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\alpha_b=0.035 \text{ cm}^{-1}$ ,  $k_a=20 \text{ e}^-/\text{keV}$ ,  $k_b=15 \text{ e}^-/\text{keV}$

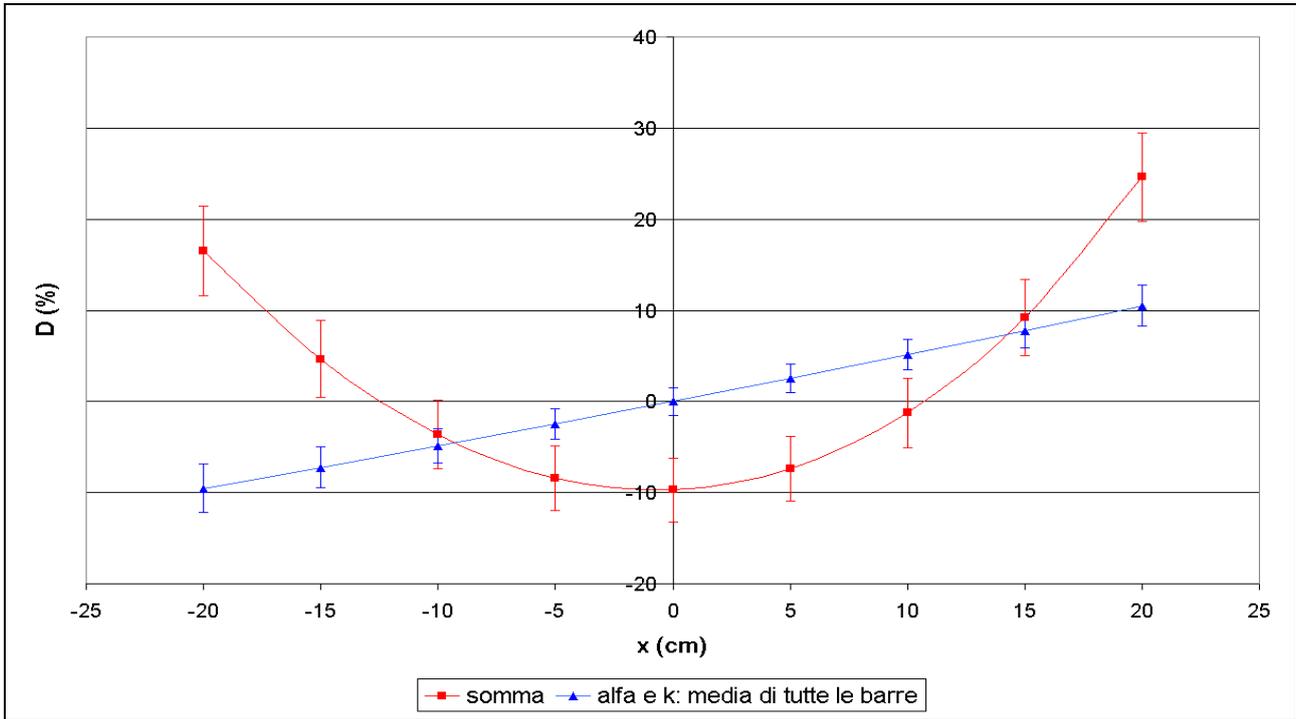


Figura 1-6: E=10 MeV,  $\alpha_a=0.035 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\alpha_b=0.045 \text{ cm}^{-1}$ ,  $k_a=15 \text{ e}^-/\text{keV}$ ,  $k_b=15 \text{ e}^-/\text{keV}$

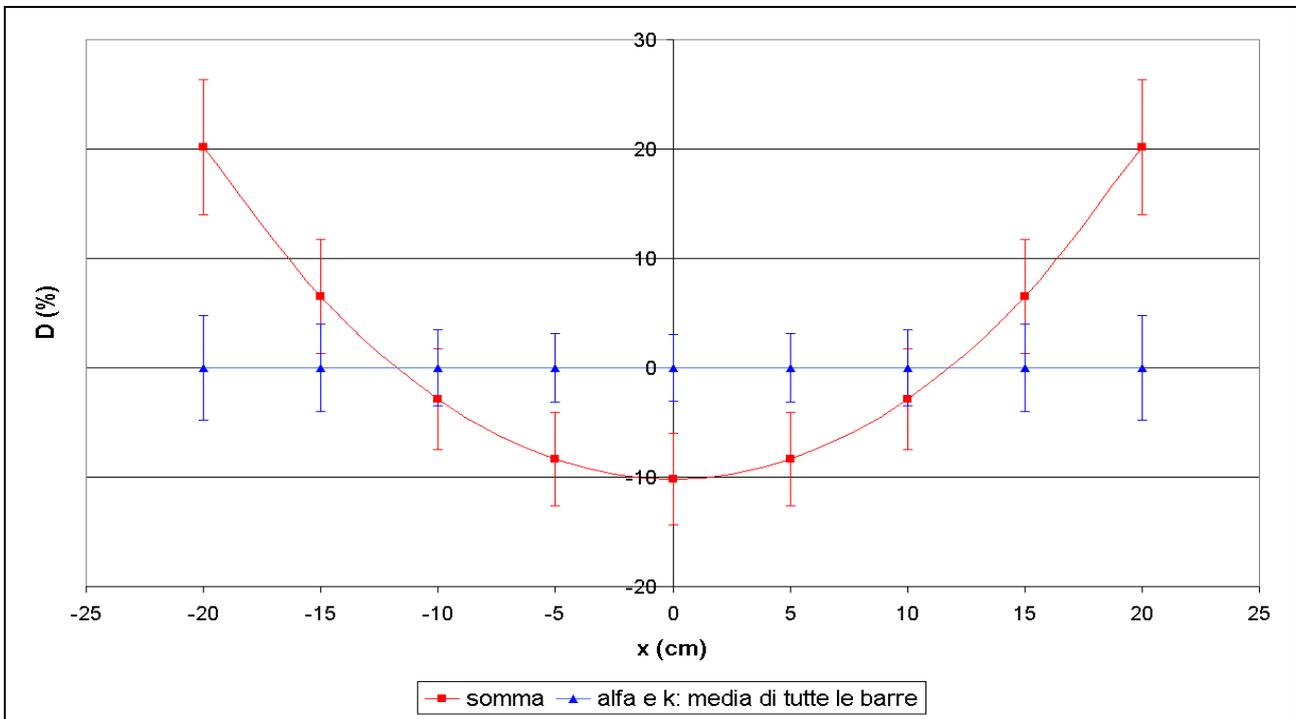


Figura 1-7: E=5 MeV,  $\alpha_a=0.040 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\alpha_b=0.040 \text{ cm}^{-1}$ ,  $k_a=15 \text{ e}^-/\text{keV}$ ,  $k_b=15 \text{ e}^-/\text{keV}$

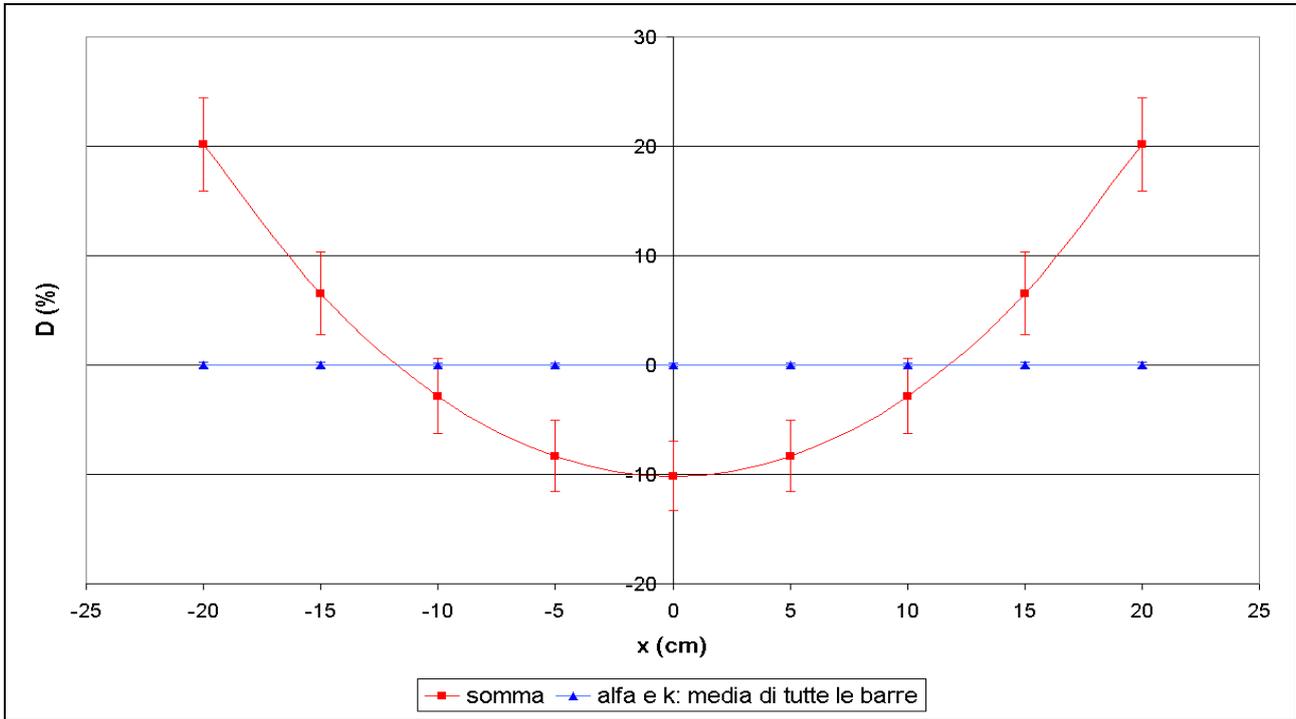


Figura 1-8:  $E=100$  MeV,  $\alpha_a=0.040$  cm<sup>-1</sup>,  $\alpha_b=0.040$  cm<sup>-1</sup>,  $k_a=15$  e<sup>-</sup>/keV,  $k_b=15$  e<sup>-</sup>/keV

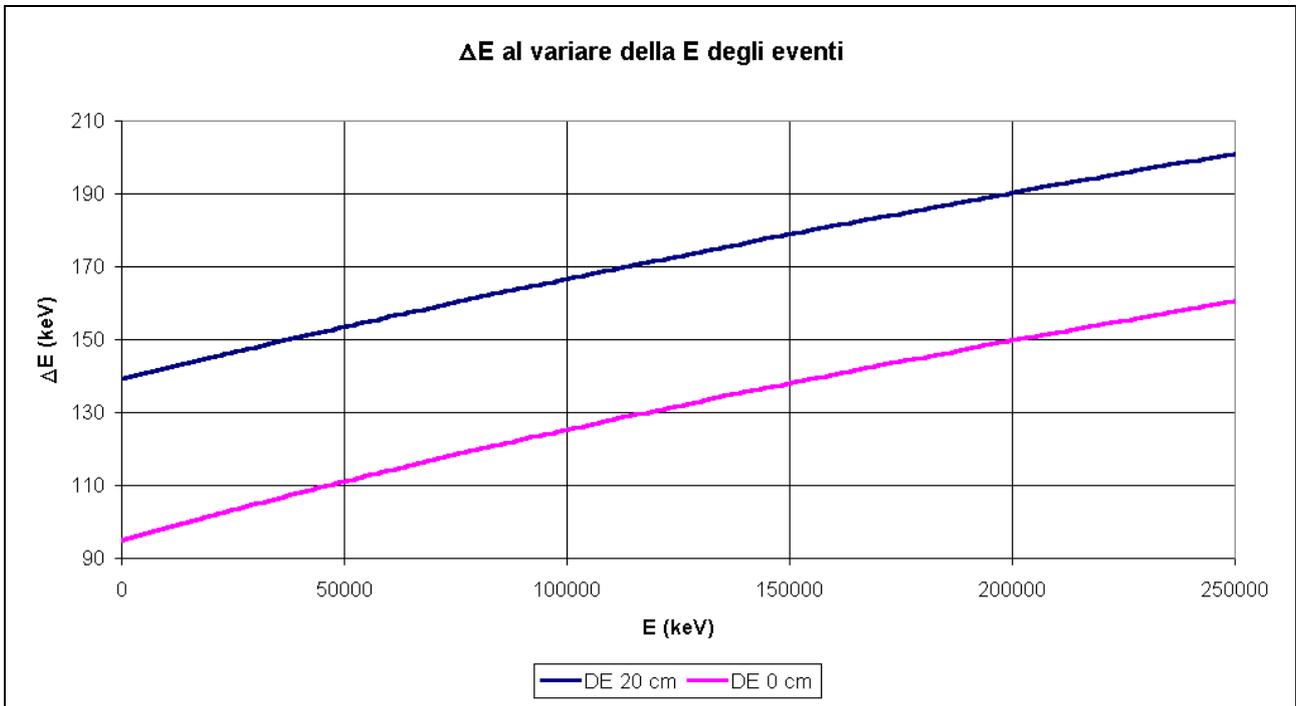


Figura 1-9: Andamento dell'incertezza su E ( $\Delta E$ ) in funzione di E.

Si ricava dalle figure che la precisione migliore nel calcolo dell'energia e gli errori minori si ottengono con il metodo approssimato che utilizza un valore medio di  $k$  ed  $\alpha$ . Questo metodo non è però realisticamente realizzabile con sistemi diretti di calcolo, può essere invece realizzato con l'impiego di LUT che contengano valori pre-calcolati.

### 1.3 ASSEGNAZIONE ALLA LUT-E DELL'ENERGIA DEPOSITATA IN OGNI BARRA

La precisione con la quale viene convertita l'energia di ogni lato della barra dalla catena elettronica è di 12 bit.

La catena di Burst vede un'energia massima di 250 MeV, quindi con 12 bit si ha un'ampiezza di 61 keV per ogni bit ( $\pm 30$  keV di precisione).

Per ogni barra, i due valori dell'energia vengono immessi nella LUT-E. Per vincoli dovuti al disegno dell'elettronica, la precisione dei dati in ingresso **deve essere di 8 bit**, quindi si rende necessaria la conversione dei dati da 12 a 8 bit. Di seguito sono confrontati diversi metodi di compressione.

#### 1.3.1 TRONCAMENTO DEI 4 BIT MENO SIGNIFICATIVI

Se ai dati in ingresso alla LUT-E vengono tolti semplicemente i 4 bit meno significativi, si ottengono 256 valori di  $E$  separati di 1 MeV l'uno dall'altro (precisione valore  $\pm 0.5$  MeV).

Energia in ingresso alla LUT-E:  
8 bit (256 valori di  $E$ )

Precisione =  $\pm 0.5$  MeV fissa su tutto il range (vedi par. 2.2.1).

#### 1.3.2 PRECISIONE DEI SEGNALI DI UNA BARRA VARIABILE CON L'ENERGIA

Se le ampiezze dei lati A e B vengono ridotte da 12 a 8 bit con un algoritmo che definisca 256 canali equamente distanziati su scala logaritmica, con una profondità di 8 bit si ottengono sempre 256 diversi valori dell'energia come nel caso precedente, ma con una precisione che è sempre del  $\pm 1.6\%$  per ogni valore ( $\pm 4$  keV a 250 keV e  $\pm 8$  MeV a 500 MeV, come valutato di seguito in 2.2.1).

## 1.4 DISCUSSIONE

### 1.4.1 SEGNALI SOMMATI

Col metodo della somma (vedi par 2.3 e figure da 1-2 a 1-8) si ha alle estremità della barra un errore pari a circa il 25% sulla ricostruzione dell'energia, anche con caratteristiche della barra uniformi, ossia  $\alpha_a = \alpha_b$   $k_a = k_b$ .

### 1.4.2 RICOSTRUZIONE APPROSSIMATA DELL'ENERGIA CON $\langle \alpha \rangle$ E $\langle K \rangle$ E CON TRONCAMENTO NELLA PRECISIONE DEI SEGNALI DI UNA BARRA

Col metodo della ricostruzione approssimata dell'energia (vedi paragrafo 1.2.2 e figure da 1-2 a 1-8) si hanno errori che dipendono dalla precisione con cui sono note le uscite luce  $k$  e le attenuazioni  $\alpha$  e di quanto si discostano dal valore medio. A parte il caso più sfortunato (Figura 1-5) si hanno valori di errore mediamente inferiori al metodo con somma.

Nel caso si faccia un troncamento dei dati A e B (vedi par 1.3.1) per energie basse, la imprecisione nel calcolo della E con LUT-E è maggiore di quella che si commette con il metodo della somma. Questo andamento si ha approssimativamente fino a 10 MeV.

#### 1.4.3 RICOSTRUZIONE APPROSSIMATA DELL'ENERGIA CON $\langle\alpha\rangle$ E $\langle K\rangle$ E CON PRECISIONE DEI SEGNALI DI UNA BARRA VARIABILE CON L' ENERGIA

Come sopra (in 1.4.2), col metodo della ricostruzione approssimata dell'energia (vedi par 1.2.2 e figure da 1-2 a 1-8) si hanno errori che dipendono dalla precisione con cui sono note le uscite luce k e le attenuazioni  $\alpha$  e da quanto si discostano dal valore medio. A parte il caso più sfortunato (Figura 1-5) si hanno valori di errore mediamente inferiori al metodo con somma.

Nel caso si usi un algoritmo per ridurre il numero di bit dei segnali di una barra in funzione dell'ampiezza del segnale (vedi par. 1.3.2), si può mantenere l'informazione sull'incertezza del segnale stesso, data dal processo del sistema. Per valori bassi di energia infatti la precisione dei canali (ampiezza) è sufficientemente fine e diventa via via più grossolana al crescere dell'ampiezza dei segnali, quando l'incertezza sul segnale stesso diventa trascurabile.

#### 1.4.4 COMPARAZIONE TRA I FILTRI

In Figura 1-10 viene rappresentato in y l'andamento del segnale, in canali, visto dal fotodiodo su un lato della barra, per eventi interagenti a centro barra e con energia progressivamente crescente. Per uno stesso valore di energia si possono ottenere diversi canali a causa della incertezza statistica nella generazione del segnale. Inoltre nella determinazione del canale si aggiunge l'approssimazione di diversi algoritmi.

Si sono rappresentati tre casi

- nessun filtro (il segnale tra 0 e 4096 come da uscita ADC è compreso tra le linee nere).
- filtro con LUT da 12 a 8 bit (il segnale tra 0 e 256 è compreso tra le linee rosse).
- filtro con troncatura bit (il segnale tra 0 e 256 è compreso tra le due linee blu).

Per uno stesso caso (medesimo colore di Figura 1-10) le due linee rappresentano i valori che può assumere il canale di uscita a causa della incertezza statistica; tutti i valori possibili sono compresi entro le due linee di uguale colore.

Ad esempio in Figura 1-10 nel caso a senza filtro, al deposito a centro barra di 1 MeV può corrispondere un valore in canale compreso tra 1 e 7 e questo solo per effetti statistici nella generazione e raccolta del segnale. Nella stessa figura si nota che il filtro b permette di seguire ancora l'incertezza statistica degli eventi mentre il filtro c) la nasconde completamente.

Un filtro con due linee indica che l'incertezza statistica nella generazione del segnale e' maggiore della incertezza introdotta dalle approssimazioni numeriche. Si vede che il filtro b) ha una sensibilità tale da seguire gli errori del segnale di un lato della barra.

Il successivo calcolo dell'energia basato su questo tipo di segnali potrà ancora tenere conto della incertezza dei segnali di partenza.

Per produrre gli andamenti mostrati in Figura 1-10 è stato preso, per ogni valore di energia rilasciata nella barra (da un evento che interagisca a centro barra), il valore del canale corrispondente in funzione del metodo usato per la ricostruzione dell'energia depositata. Ai valori così ottenuti è poi stata sommata la relativa incertezza ( $\pm\Delta E$ ) così da ottenere le coppie di linee con lo stesso colore mostrati.

Nel caso del grafico b), visto che la conversione 12→8 bit comporta il passaggio da una scala lineare di misura ad una scala logaritmica, si è proceduto nel modo seguente:

12 bit:

$$E_{\max} = (E + \Delta E)$$

$$E_{\min} = (E - \Delta E)$$

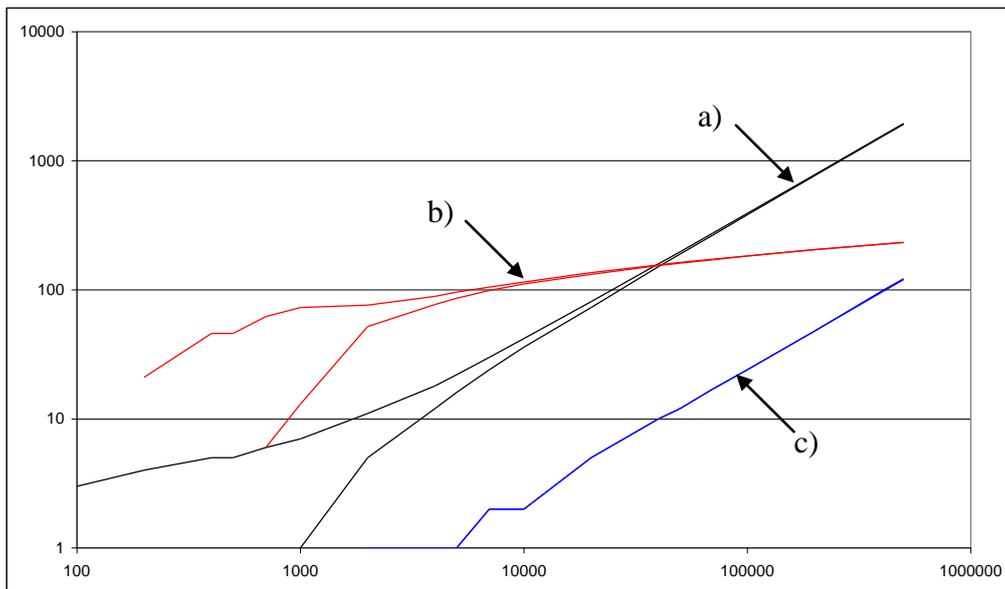
Conversione:

$$E_{\max} (12\text{bit}) \rightarrow E_{\max} (8\text{bit})$$

$$E_{\min} (12\text{bit}) \rightarrow E_{\min} (8\text{bit})$$

I valori di  $E_{\max}$  e  $E_{\min}$  sono in canali.

I valori di  $E$  ottenuti, abbinati al relativo canale di appartenenza, sono graficati in Figura 1-10.



**Figura 1-10: Andamento del segnale visto dal fotodiode su un lato della barra, per eventi interagenti a centro barra.**

## 2. AGILE MCAL RATEMETERS

In questo capitolo viene proposto un metodo per ottimizzare il funzionamento delle due classi di ratemeters di MCAL, in funzione delle risorse disponibili. In particolare viene proposto:

- L'uso di 2 Look Up Tables (LUT) predisposte alla determinazione dell'energia depositata da un evento sulle barre nella catena di burst. Questo procedimento è alla base della valutazione degli eventi da assegnare a ciascun SR ed ai DR.
- Una logica di selezione degli eventi che interagiscono sul MCAL per l'assegnazione dei DR in funzione di due parametri:
  - Energia depositata su MCAL da ogni singolo evento.
  - Indirizzo della barra su cui ha interagito l'evento.

### 2.1 SCHEMA GENERALE DI ASSEGNAZIONE RATEMETERS

In Figura 2-1 è schematizzato il sistema di generazione dei RM del calorimetro.

Il Calorimetro nel ramo burst, converte i dati di ogni barra e li rende disponibili in forma digitale al DH, il quale li elabora con l'assegnazione del tempo. Dopo questa operazione, il segnale proveniente da ogni barra è utilizzabile per l'assegnazione ai ratemeters (vedi Figura 2-1) ed è composto da:

- Un valore per il tempo dell'evento (47 bit TBC).
- Un valore per l'indirizzo barra (5 bit).
- Due valori per le ampiezze dei segnali di ogni lato barra (12 + 12 bit).

Ad eventi che coinvolgono più barre corrispondono stream di dati con lo stesso identificatore di tempo.

Di ogni deposito verrà calcolata l'energia e questo valore sarà utilizzato in due rami:

- il ramo per l'assegnazione degli eventi ai SR (16 canali di energia per ogni piano integrati per 1 sec).
- il ramo per l'assegnazione degli eventi ai DR da utilizzare nella ricerca di burst (12 DR da integrare su diversi tempi scala da 1 msec a 100 sec ed un ratemeter su lunghi tempi di integrazione che sarà usato come riferimento).

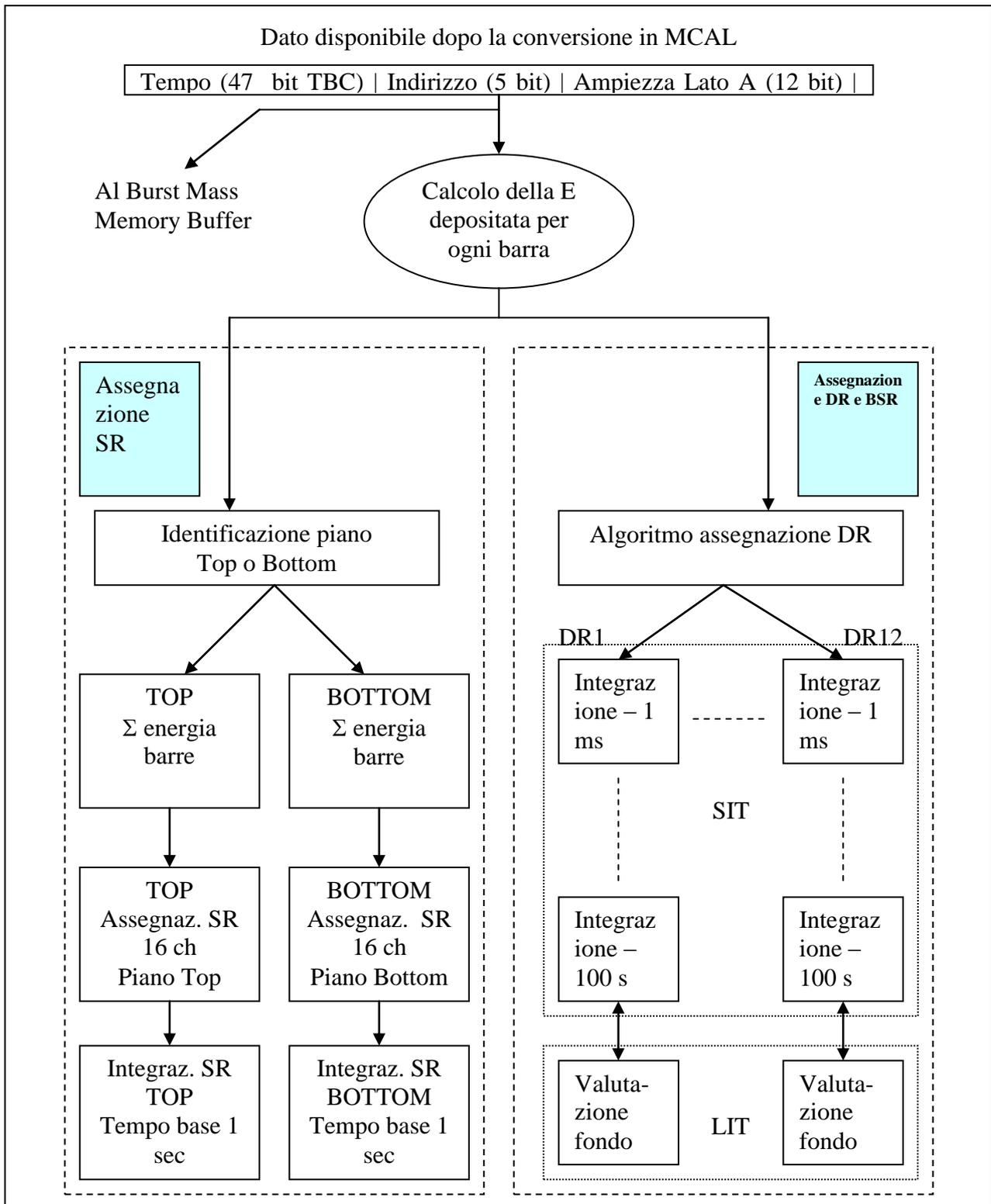


Figura 2-1: Schema logico di funzionamento delle catene di assegnazione dei DR e dei SR.

## 2.2 VALUTAZIONE DELL'ENERGIA DEPOSITATA IN UNA BARRA

Per il calcolo dell'energia E depositata su una barra di MCAL si parte dai valori dei segnali raccolti da ogni lato di ogni barra.

Limitandosi per ora ad una sola barra chiamiamo A e B i segnali visti dai due PD. Il metodo proposto per determinare E è il seguente:

- A e B (entrambi a 12 bit) vengono ridotti a 8 bit passando attraverso una LUT (LUT-12-8).
- I due valori ottenuti costituiscono l'indirizzo di una LUT di calcolo (LUT-E), che dà in uscita il valore di E a 12 bit.

Lo schema del calcolo è rappresentato in Figura 2-2.

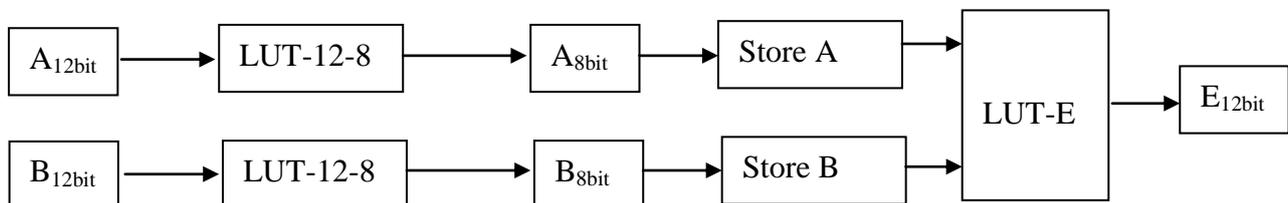


Figura 2-2: Schema di calcolo dell'energia per l'evento visto da una barra.

### 2.2.1 CONVERSIONE CON LUT-12-8

Dato che la LUT-E prevede in ingresso i due valori delle ampiezze del segnale sui lati A e B della barra a 8 bit, e li converte in un valore di energia depositata sulla barra a 12 bit, per poter calcolare l'energia tramite la LUT-E è necessario convertire i valori delle ampiezze di A e di B da 12 a 8 bit. I valori di A e B vanno da  $3750 e^-$  (canale 0, corrispondente a 250 keV depositati ad 1 cm dal PD) a  $3.5 \times 10^6 e^-$  (canale 4095, corrispondente a 250 MeV rilasciati ad 1 cm dal PD). L'ampiezza dei canali in energia è di circa 61 keV ( $\Delta E = \pm 30$  keV).

Se per passare da 12 a 8 bit venissero tolti semplicemente i 4 bit meno significativi, i valori delle ampiezze diventerebbero 256 valori separati di circa 1 MeV ( $15000 e^-$ ) l'uno dall'altro (precisione con cui si ricostruisce  $E = \pm 0.5$  MeV).

Precisione =  $\pm 0.5$  MeV fissa su tutto il range ossia:

$$\Delta E/E = 200\% \text{ sul canale 1}$$

$$\Delta E/E = 0.2\% \text{ sul canale 256}$$

Se invece i dati A e B vengono ridotti da 12 a 8 bit con un algoritmo che definisca 256 canali equamente distanziati su **scala logaritmica**, si ottengono valori più fitti per segnali bassi e più diradati per segnali alti, con una precisione che è sempre del  $\pm 1.6\%$  per ogni valore di A e B. Se si considerano i valori di A e di B in energia si può dire:

$$\Delta E/E = \pm 1.6\% \text{ per ogni valore di E}$$

$$\Delta E = \pm 4 \text{ keV @ } 250 \text{ keV}$$

$$\Delta E = \pm 4 \text{ MeV @ } 250 \text{ MeV}$$

Il valore di E viene rappresentato come un numero che va da 0 a 4095 (250 keV – 250 MeV), a cui dovrà corrispondere un valore compreso tra 0 e 255 (“i” nella eq. 1), secondo la relazione:

$$1) \quad i = \frac{\ln E}{\ln n} \quad ; \text{ siccome } E = n^i$$

E = Valore a 12 bit dell’energia depositata sulla barra (0-4095).

i = Valore convertito a 8 bit dell’energia depositata sulla barra (0-255).

n = Valore costante che rappresenta la spaziatura su scala logaritmica tra gli intervalli di energia (n = 1.0331555).

Dalla 1 si ricava il valore di  $\Delta E/E$ :

$$\Delta E = \frac{E_{i+1} - E_i}{2}$$

$$E = \frac{n^{i+1} + n^i}{2} \quad (\text{valore medio di E all'interno dell'intervallo selezionato})$$

$$\frac{\Delta E}{E} = \pm \frac{\frac{(n^{i+1} - n^i)}{2}}{\left(\frac{n^{i+1} + n^i}{2}\right)} = \pm \frac{n-1}{n+1}; \quad \text{nel nostro caso } \frac{\Delta E}{E} = \pm 1.6\% .$$

Questo algoritmo (eq. 1) può essere inserito in una LUT (LUT-12-8), che effettui il calcolo sui valori a 12 bit delle ampiezze di A e B in successione.

## 2.2.2 CONVERSIONE CON LUT-E

Dopo avere convertito a 8 bit i dati che rappresentano le ampiezza dei segnali letti dai due PD di una barra, è necessario risalire all’energia depositata su tutta la barra da un evento. L’algoritmo di calcolo usato per ottenere questo valore è rappresentato dalla equazione 2 (in funzione delle variabili A e B), che andrà inserita nella LUT-E.

Energia ricostruita approssimata:

$$2) \quad E_a = \frac{1}{\langle k \rangle} \sqrt{AB} \cdot e^{x_0 \langle \alpha \rangle}$$

Dove:

x = Definisce la posizione di interazione dell’evento lungo la barra (in cm, vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**)

$\langle \alpha \rangle$  = Coefficiente di attenuazione della luce medio per tutte le barre ( $\cong 0.04 \text{ cm}^{-1}$ ).

$\langle k \rangle$  = Uscita luce media per tutte le barre ( $\cong 15 \text{ e}^-/\text{keV}$ ).

A e B = Ampiezze del segnale viste dai PD posti sui lati barra (in e<sup>-</sup>).

E tenendo presente che  $A = 3750 \cdot n^i$  (in e<sup>-</sup>, vedi eq. 1).

---

Sfruttando l'equazione 2 e facendo uso dei valori medi calcolati per  $\alpha$  e  $k$ , la LUT-E prende le ampiezze A e B del segnale a 8 bit e restituisce un valore della E ricostruita con profondità di 12 bit.

Valore dell'energia calcolato delle barre:  
Profondità = 12 bit (4096 valori di E)  
Precisione = 61 keV ( $\pm 30$  Kev)

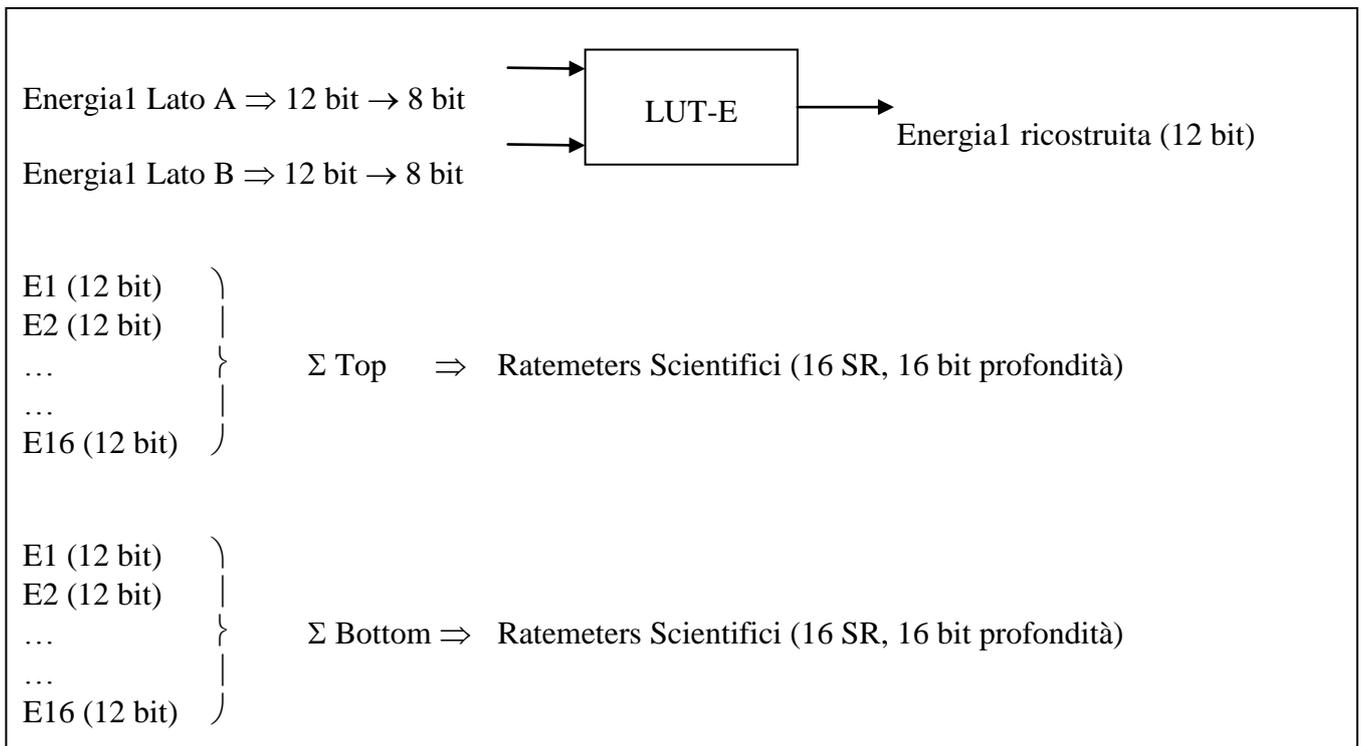
Le due LUT da utilizzare hanno quindi le seguenti caratteristiche:

LUT-12-8 da 4 kbyte per passare da 12 a 8 bit.  
LUT-E da 64 kword da 12bit per calcolare l'Energia.

### 2.3 RATEMETERS SCIENTIFICI

I valori digitali delle energie ottenute per tutte le barre di uno stesso piano e con la stessa marcatura temporale vengono sommati. In base all'energia ottenuta si fa scattare uno dei 16 Ratemeters Scientifici assegnati ad ogni piano (che hanno una profondità 16 bit ciascuno). Si ricorda che i 16 SR di ogni piano sono divisi per energia, equamente spaziatati su scala logaritmica.

Questa operazione viene eseguita separatamente per i due piani di MCAL (vedi Figura 2-3).



**Figura 2-3: Schema di assegnazione ai ratemeters scientifici del valore dell'energia depositata su ogni piano del Calorimetro.**

## 2.4 DETECTOR RATEMETERS E RATEMETERS PER LA RICERCA DEI BURST IN MCAL

Si hanno a disposizione 12 ratemeters (Detector Ratemeters, DR), che vengono fatti scattare in funzione della posizione di interazione di ogni evento nel MCAL e dell'energia rilasciata nelle barre, a partire dal dato di energia ed indirizzo barra proveniente dal DH.

### 2.4.1 ASSEGNAZIONE DEI DR

Il dato in arrivo è quello relativo ad una intera barra, ed è composto dal tempo di arrivo dell'evento (47 bit TBC), l'indirizzo della barra (5 bit) ed il valore di ampiezza del segnale letto dai fotodiodi sul lato A e sul lato B (12 bit + 12 bit).

Per assegnare gli eventi ai diversi DR si tiene conto dei seguenti fattori (vedi Figura 2-5):

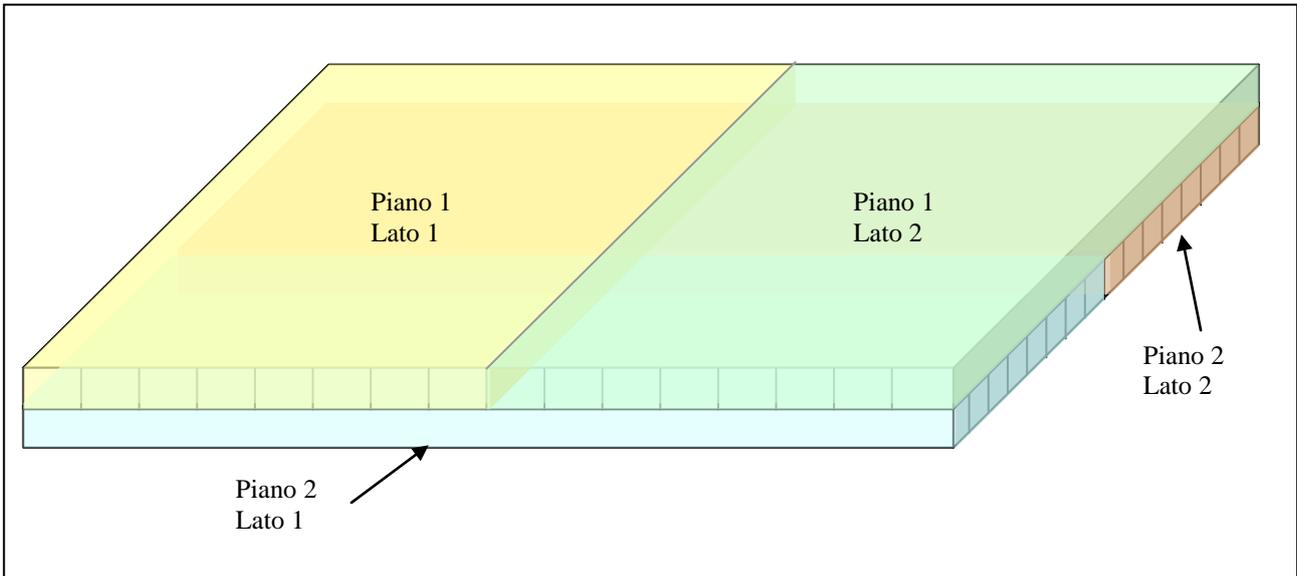
- Si considera che l'energia rilasciata da un evento in una singola barra sia quella calcolata in modo approssimativo nella LUT-E descritta in 2.2.2.
- Nel caso di energie inferiori ad 1 MeV, la probabilità che un evento depositi energia su più di una barra (evento multiplo) è bassa. Questa probabilità aumenta con l'aumentare dell'energia dell'evento.
- Gli eventi multipli con  $E < 1 \text{ MeV}$  vanno comunque assegnati all'intervallo di energie  $1 \text{ MeV} < E < 10 \text{ MeV}$

Caso di evento singolo:

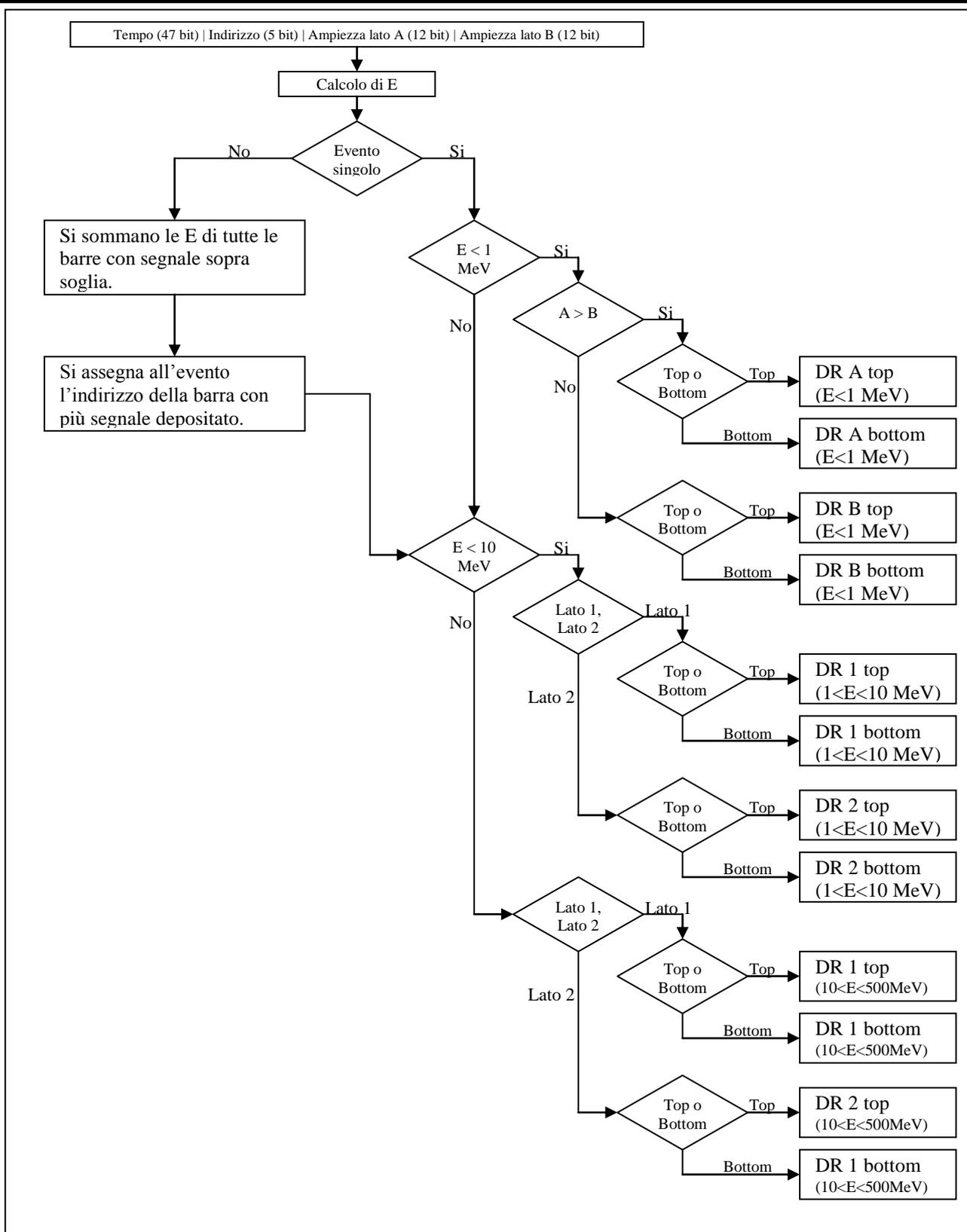
- $E < 1 \text{ MeV}$ : Si assegnano gli eventi ad uno di 4 ratemeters in base al lato barra su cui ha avuto luogo l'interazione (A se  $A > B$  oppure B se  $A < B$ ) ed al piano a cui appartiene la barra (top o bottom, in funzione dell'indirizzo barra).
- $1 \text{ MeV} < E < 10 \text{ MeV}$ : Si divide ogni piano in due gruppi di 8 barre vicine (4 gruppi di barre in totale, vedi Figura 2-4), ed in base all'indirizzo barra si assegna l'evento ad uno dei 4 ratemeter associati ad ogni gruppo.
- $10 \text{ MeV} < E < 500 \text{ MeV}$ : Si selezionano gli eventi come nel caso precedente.

Caso di evento multiplo:

- Si sommano le energie di tutte le barre che hanno segnale sopra soglia.
- Come indirizzo di riferimento si prende quello della barra in cui è stato depositato più segnale (energia maggiore in assoluto). Per l'assegnazione degli eventi ai ratemeters in funzione della loro energia si procede come nel caso di eventi singoli con  $E > 1 \text{ MeV}$  utilizzando come l'indirizzo della barra descritta la punto precedente per selezionare la zona coperta dal ratemeter.



**Figura 2-4: Suddivisione in quattro gruppi delle barre del MiniCalorimetro per l'assegnazione dei DR.**



**Figura 2-5: Logica di funzionamento dei 12 Detector Ratemeters (da notare che eventi multipli con  $E < 1$  MeV vengono comunque assegnati all'intervallo di energie  $1 \text{ MeV} < E < 10 \text{ MeV}$ ).**