

DOCUMENT TYPE: THECNICAL NOTE

TITLE: TEST DEI PREAMPLIFICATORI PER IL
MINICALORIMETRO DI AGILE

DOCUMENT Ref. No.: AGILE-ITE-TN-005 N° OF PAGES: i-v, 16
TeSRE Report n. 337/02

ISSUE No.: 1.0 **DATE:** February 2002

PREPARED BY: E. CELESTI, C. LABANTI, A. MAURI, E. ROSSI

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:**

DISTRIBUTION LIST

POS.	NAME	DEPT.	N° OF COPIES	FULL COPY
1	M. Tavani	IFC MI	1	1
2	G. Di Cocco	TESRE BO	1	1
3	G. Cafagna	LABEN	1	1

CHANGE RECORD

ISSUE	DATE	PAGE	DESCRIPTION OF CHANGES	RELEASE
0A	01.02.01	All		
1.0	14.02.02	All	General revision	1

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	1
2. FUNZIONE DEL PA IN AGILE MCAL	2
3. METODOLOGIA DI MISURA DEI PARAMETRI	3
3.1 GUADAGNO (SENSIBILITÀ)	3
3.2 LINEARITÀ	6
3.3 RUMORE.....	8
3.4 CONSUMO DI POTENZA	8
3.5 ANDAMENTO DEL GUADAGNO FUNZIONE DELLA CAPACITÀ DI INGRESSO DEL PA.....	8
3.6 MISURE DI RUMORE VS TENSIONE DI POLARIZZAZIONE DEL PD	9
3.7 MISURE DI RUMORE VS TIPO DI JFET IMPIEGATO	9
3.8 MISURE DI RUMORE VS POTENZA CONSUMATA.....	9
4. TIPI DI PA TESTATI	10
5. SET-UP MISURE	11
5.1 SET-UP DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA	11
6. RISULTATI MISURE	12
6.1 GUADAGNO DI CARICA	12
6.2 LINEARITÀ INTEGRALE E DIFFERENZIALE	12
6.3 RUMORE.....	13
6.4 CONSUMO DI POTENZA	14
6.5 ANDAMENTO DEL GUADAGNO IN FUNZIONE DELLA CAPACITÀ DI INGRESSO DEI PA DB-2 E LABEN	14
6.6 MISURE DI RUMORE VS TENSIONE DI POLARIZZAZIONE DEL PD	14
6.7 MISURE DI RUMORE VS TIPO DI JFET IMPIEGATO	15
6.8 MISURE DI RUMORE VS POTENZA CONSUMATA.....	15
6.9 COMPARAZIONE DEI DIVERSI TIPI DI PREAMPLIFICATORI.....	15
7. REFERENZE	16

INDICE DELLE FIGURE

Figura 3-1 – Set up del sistema di misura	5
Figura 3-2 – Spettro ottenuto con sorgente di Am-241	6
Figura 3-3 – Spettro ottenuto con impulsatore	6
Figura 3-4– Analisi della linearità del sistema in funzione del segnale in ingresso (a) e misura dei residui (b)	7
Figura 4-1 – Preamplificatore Amptek-250 (figura da http://www.amptek.com/a250.html)	10
Figura 6-1: Linearità differenziale PA DB2.	
Figura 6-2: Linearità differenziale PA Aurel	12
Figura 6-3: Linearità differenziale PA Laben.	
Figura 6-4: Linearità differenziale PA Amptek	13
Figura 6-5: Linearità differenziale PA Laben.	
Figura 6-6: Linearità differenziale PA Laben per segnali all'ingresso alti	13

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 3-1 – Tabella riassuntiva dei parametri usati nella misura di linearità su PA Laben	7
Tabella 5-1 – Strumentazione utilizzata per il setup di Fig. 1	11
Tabella 6-1: Guadagno di carica espresso in $\mu V/e^-$	12

Tabella 6-2: Linearità integrale	12
Tabella 6-3: Rumore in e_{rms}	13
Tabella 6-4: Consumo di potenza in mW.	14
Tabella 6-5: Guadagno dei PA, che rientrano nelle specifiche di potenza, in funzione della capacità di ingresso.	14
Tabella 6-6: Rumore del preamplificatore LABEN in funzione della tensione di polarizzazione del PD.	14
Tabella 6-7: Rumore del preamplificatore Amptek-250 in funzione del JFET di ingresso usato.	15
Tabella 6-8: Consumo di corrente e rumore dei preamplificatori Amptek-250 in funzione del FET di ingresso utilizzato.	15
Tabella 6-9: Tabella comparativa dei PA testati.	15

1. INTRODUZIONE

Nel rapporto sono descritti i test per la misura delle caratteristiche dei prototipi di preamplificatori (PA) di carica da utilizzare come front-end elettronica dei rivelatori del MiniCalorimetro (MCAL) del Satellite AGILE.

All'ingresso dei PA sotto test erano collegati due fotodiodi (PD) in parallelo, incollati ad un rivelatore a scintillazione a CsI(Tl), in una configurazione simile a quella che sarà adottata sul satellite.

Sono stati esaminati 4 diversi tipi di PA di cui 2, molto fuori dalle specifiche di consumo, sono stati provati per ottenere utili valori di riferimento.

Riportiamo qui di seguito le specifiche richieste ai PA di AGILE con in ingresso un PD da circa 130 pF ed una corrente di fuga tipica di 3 nA:

- noise $\leq 800 e^-_{rms}$
- linearità $\leq 1 \%$
- range dinamico \geq da $3750 e^-$ a $7.5 \times 10^6 e^-$ (equivalenti 250 keV ÷ 500 MeV con $15 e^-/keV$ di segnale di barra)
- potenza dissipata ≤ 7 mW tipica (10 mW massima)
- stabilità nel range di temperatura operativo $\leq 2\%$.*

* Questa misura sarà effettuata solo sul prototipo finale dei PA selezionati e quindi non è contenuta in questo rapporto.

2. FUNZIONE DEL PA IN AGILE MCAL

Il Minicalorimetro di Agile è un rivelatore per raggi gamma, costituito da 32 barre di materiale scintillatore CsI(Tl), poste su due piani con 16 barre ciascuno. Ad ogni lato della barra sarà accoppiato otticamente un PD per catturare la luce di scintillazione generata dalle barre.

La funzione dei PA è quella di convertire la carica generata nei PD in un segnale di tensione proporzionale all'energia del fotone gamma incidente nel cristallo di scintillazione, il segnale sarà poi amplificato ed analizzato da un'apposita catena elettronica.

3. METODOLOGIA DI MISURA DEI PARAMETRI

Per ogni PA è stato misurato:

- il guadagno di conversione (Volt/Coulomb o $\mu\text{V}/e^-$)
- la linearità differenziale ed integrale sull'intero range dinamico richiesto
- il rumore espresso in e^-_{rms}
- il consumo (mW)

Non su tutti i PA è stato inoltre valutato:

- L'andamento del guadagno al variare della capacità d'ingresso al preamplificatore.
- L'andamento del rumore con diversi J-FET di ingresso
- L'andamento del rumore in funzione della corrente assorbita dal J-FET di ingresso selezionato
- L'andamento del rumore del preamplificatore in funzione della tensione di polarizzazione del fotodiode.

In figura 1 è mostrato il set up del sistema di misura.

3.1 GUADAGNO (SENSIBILITÀ)

Scopo della misura è stabilire il rapporto fra la tensione d'uscita dal PA ed una determinata carica generata all'ingresso dal PD; questo può essere espresso in mV/fC o, come useremo spesso in questo rapporto, in $\mu\text{V}/e^-$.

Poiché la tensione in uscita dal PA è legata alla carica in ingresso attraverso la tipica relazione $V = Q/C$ dove C dipende dalla capacità di reazione C_r del PA (tipicamente $C_r \approx 1 \text{ pF}$), i valori aspettati per la sensibilità debbono essere dell'ordine di circa $1 \text{ V}/\text{pC}$ o $0.16 \mu\text{V}/e^-$, potrebbero risultare leggermente minori a causa delle capacità parassite dovute al montaggio.

Il PA è stato montato nella catena di misura illustrata in Figura 3-1. Il rivelatore era costituito da un cubetto di CsI(Tl) di 30 mm di lato (Scionix, s/n SS0561), al quale sono otticamente incollati due PD Hamamatsu serie S-3590-08 (1 cm^2 di superficie, $300 \mu\text{m}$ di spessore) collegati in parallelo tra di loro. La capacità equivalente dei due PD in parallelo è di circa 130 pF . Ovviamente queste misure possono essere effettuate anche senza che i PD siano incollati al cristallo.

Per i dettagli sull'amplificatore si veda il paragrafo 5.

Il metodo di misura del guadagno adottato è il seguente:

- Si è illuminato il PD con radiazione X per mezzo di una sorgente di Am-241. Lo spettro raccolto su un MCA ha l'andamento indicato in Figura 3-2. La quantità di carica rilasciata nel PD, corrispondente al picco di energia a 60 keV dell'Am-241, è pari a circa $16400 e^-$. Con il generatore di impulsi BNC Mod. PB-4, attenuando il segnale iniettato nel PA di 100 volte (attraverso una piccola capacità campione dell'ordine di qualche pF), si è prodotto un picco con il centroide nella stessa posizione, in canali, del picco a 60 keV dell'Am-241. Nell'ipotesi, che di seguito sarà verificata, che il guadagno del PA non cambi aumentando il segnale di ingresso di 100 volte ($1.640.000 e^-$), si misura l'ampiezza del segnale in uscita dal PA con l'oscilloscopio. I risultati ottenuti sono riportati in tabella 6-1. Notiamo che da questa misura, conoscendo il valore del segnale

di ingresso, in carica, si può verificare il valore della capacità di iniezione della carica che risulta pari a 1.91 pF anziché i 2.35 pF previsti.

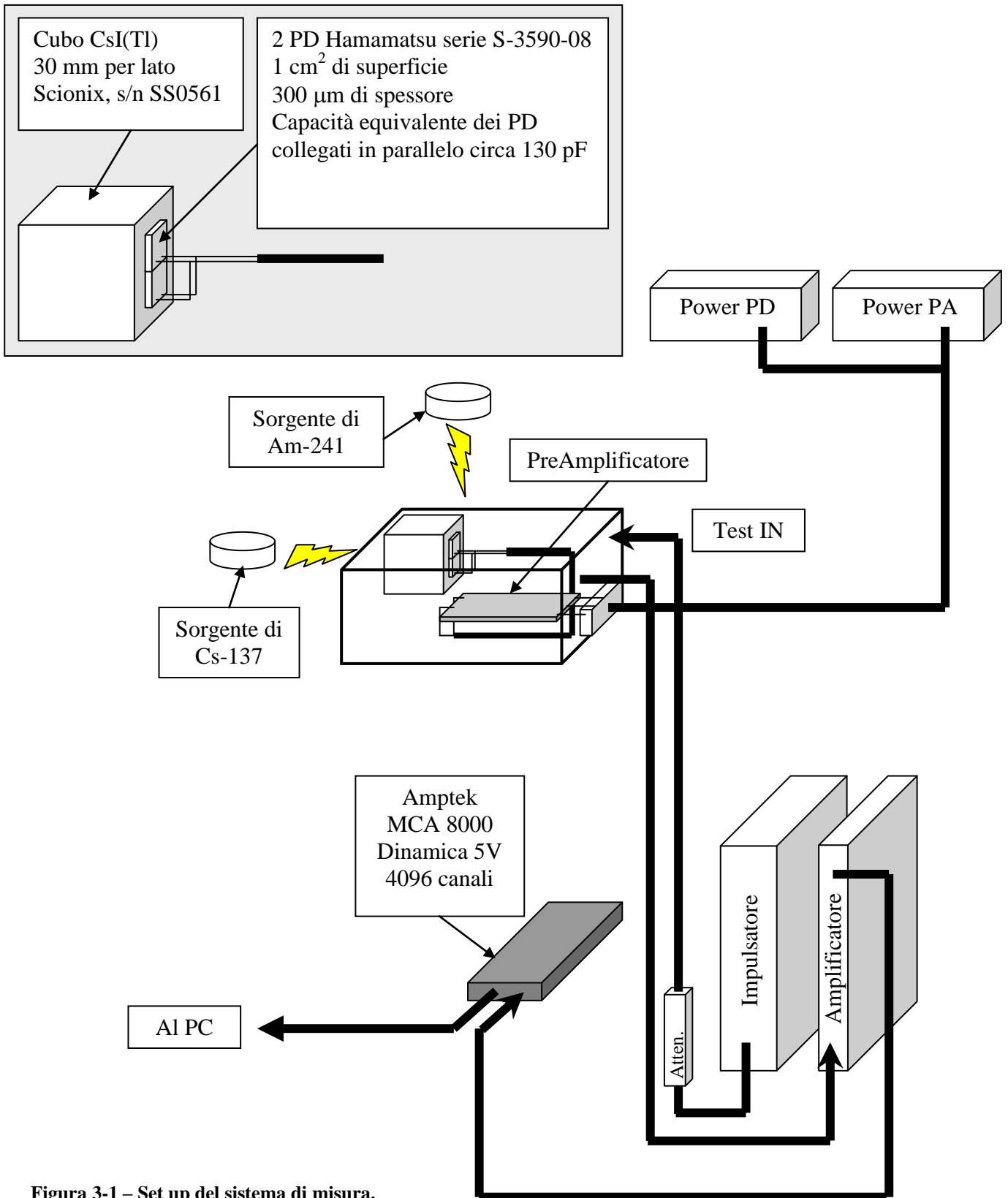


Figura 3-1 – Set up del sistema di misura.

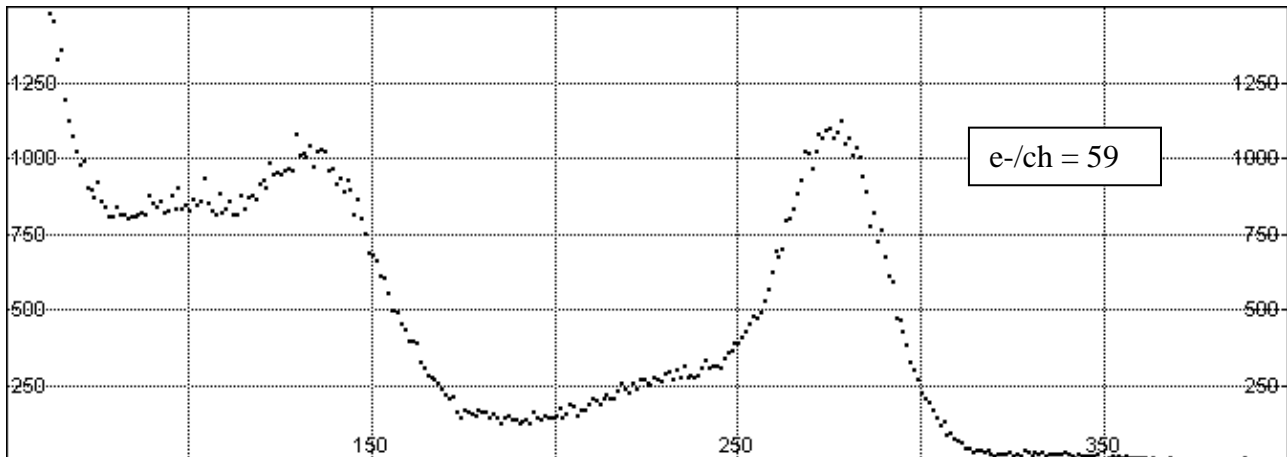


Figura 3-2 – Spettro ottenuto con sorgente di Am-241.

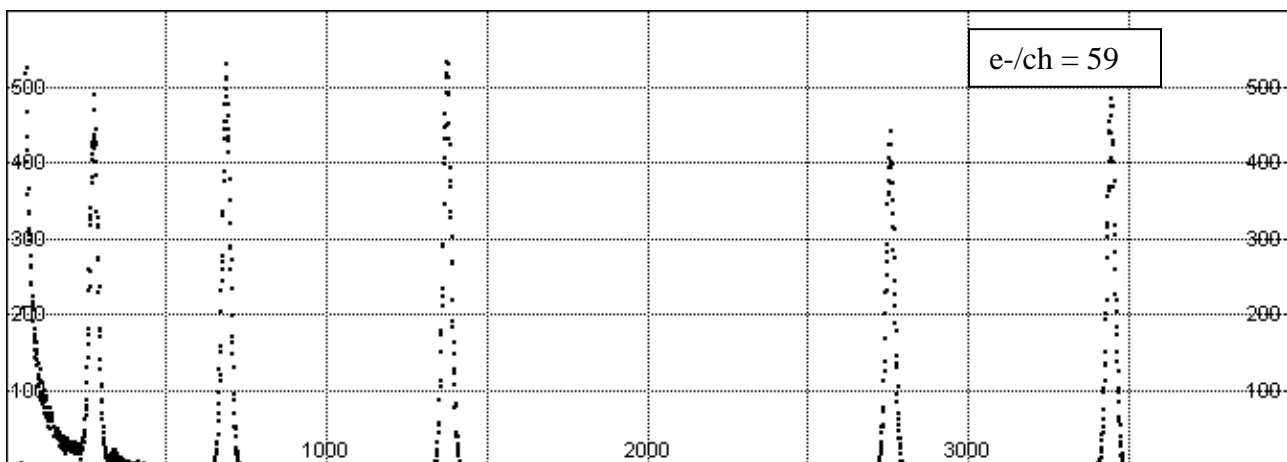


Figura 3-3 – Spettro ottenuto con impulsatore.

3.2 LINEARITÀ

Scopo della misura è determinare la non linearità differenziale espressa come scostamento percentuale dalla retta ideale che meglio interseca i vari punti di misura che rappresentano le tensioni di uscita dal PA ottenute per segnali di ingresso via via crescenti.

Dato l'elevato range dinamico richiesto al PA (circa 2000) bisognerà effettuare questa misura in due parti:

la prima con segnali molto bassi, a cominciare da circa 4000 elettroni, con un amplificatore di forma avente un guadagno tale da portare il livello del segnale d'uscita ai valori utili per essere misurati dal MCA (50-5000 mV per 4096 canali),

la seconda quindi, per la restante parte del segnale in uscita dal PA, usando lo stesso amplificatore di forma ma con guadagno ridotto.

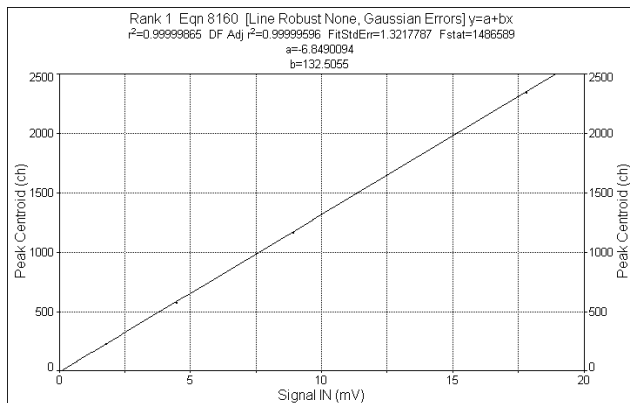
A titolo di esempio nella tabella seguente sono riportati i vari valori utilizzati per il PA Laben tenendo conto del guadagno di carica e del rumore in precedenza misurato. Per gli altri tipi di PA è stato usato lo stesso metodo descritto, ma su un range dinamico limitato.

Preamplificatore Laben				
Ke In	Attenuaz.	Gain	≅ mV Out	Ctr. (ch)
4	×2×2×5×10×10	117	48	45.7*
8	×2×5×10×10	117	96	73.2
20	×2×2×10×10	117	240	191.9
40	×2×10×10	117	480	390.2
80	×10×10	117	960	788
200	×2×2×10	117	2400	1983.2
400	×2×10	117	4800	3975.3
400	×2×10	2.75	120	92.5
800	×10	2.75	240	191.5
1600	×5	2.75	480	390
4000	×2	2.75	1200	985.5
8000	---	2.75	2400	1978

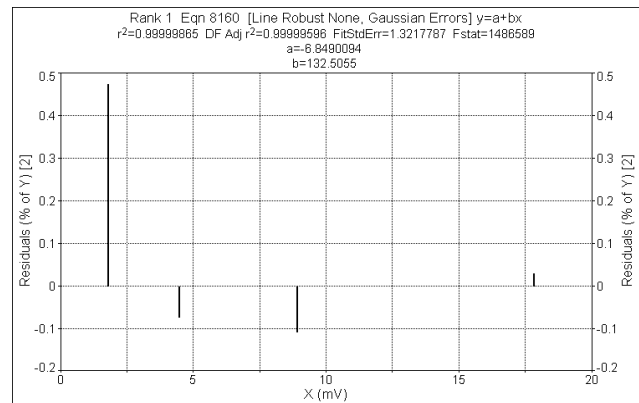
Tabella 3-1 – Tabella riassuntiva dei parametri usati nella misura di linearità su PA Laben.

Gli spettri di questa misura raccolti sul MCA hanno l'andamento illustrato in Figura 3-3 . Utilizzando queste misure si ottiene il best-fit della funzione lineare che lega il segnale di ingresso ed canale di uscita come rappresentato in Figura 3-4-a.

- I residui della funzione (Figura 3-4-b) esprimono la non linearità differenziale che è pari a:
 $100 \times [(V_{\text{misurata}} - V_{\text{fit}})/(V_{\text{misurata}})]$
- La non linearità integrale si ricava percentualmente come:
 $100 \times |\Delta V_{\text{max}}| / (V_{\text{max in uscita}})$



a)



b)

Figura 3-4– Analisi della linearità del sistema in funzione del segnale in ingresso (a) e misura dei residui (b).

3.3 RUMORE

Scopo della misura è determinare il rumore di ogni preamplificatore in elettroni rms equivalenti all'ingresso, si noti che il requisito di rumore per Agile è $\leq 800 e_{rms}$.

Il metodo di misura del rumore adottato è il seguente:

- Si è illuminato il PD con radiazione X di una sorgente di Am-241. Lo spettro raccolto sul MCA ha l'andamento indicato in Figura 3-2.
- Avendo un solo picco di riferimento è necessario misurare l'offset dell'intera catena elettronica di misura e calibrare il MCA in e^-/ch generando impulsi di carica nota con almeno tre valori diversi ed iniettandoli nell'ingresso di test del preamplificatore. Lo spettro raccolto sul MCA è mostrato in Figura 3-3.
- Il FWHM dei picchi generati con impulsatore è il parametro usato per valutare il rumore secondo la relazione :

$$N_{rms} = e^-/ch * FWHM / 2.35$$

con

$$e^-/ch = 16400 / (\text{peak-ch} + \text{offset})$$

Dove:

N_{rms} = Rumore rms in e^- equivalenti all'ingresso del PA.

e^-/ch = Calibrazione del MCA.

FWHM = Larghezza in canali a metà del valore di picco.

peak-ch = Canale corrispondente al centroide del picco ottenuto con la sorgente di Americio.

offset = Offset misurato in canali della catena elettronica.

16400 = Gli e^- generati nel silicio del PD da un fotone di Am-241 con energia di 60 keV.

3.4 CONSUMO DI POTENZA

Per effettuare questa misura si è sostituito alle batterie con cui si alimentavano i PA l'alimentatore Grundig mod. PN300. Il consumo di potenza si è ricavato direttamente in mW dalle letture di tensione e corrente visualizzate sul display dell'alimentatore.

Si noti che il requisito di consumo per Agile è di 7 mW/PA.

3.5 ANDAMENTO DEL GUADAGNO FUNZIONE DELLA CAPACITÀ DI INGRESSO DEL PA

La sensibilità del PD descritta nel paragrafo 3.1 è legata attraverso la relazione Q/Ca alla capacità di reazione apparente del PA Ca . Solo nell'ipotesi di un elevato guadagno dello stadio di amplificazione che segue il JFET di ingresso la sensibilità dipende effettivamente dalla sola capacità di reazione Cr del PA poiché l'effetto della capacità di ingresso su Ca al PA risulta trascurabile.

E' quindi opportuno verificare che variazioni della capacità di ingresso equivalente al PA non comportino variazione del guadagno. Il metodo di misura adottato per valutare la variazione del segnale in uscita dal preamplificatore in funzione della capacità all'ingresso è il seguente:

- Il PD è stato sostituito con capacità di diverso valore via via crescenti.
- Per ogni capacità è stato misurato il guadagno con il metodo illustrato al punto 3.1.

3.6 MISURE DI RUMORE VS TENSIONE DI POLARIZZAZIONE DEL PD

Il PD è stato alimentato con tensioni di polarizzazione diverse ed è stato valutato il rumore del sistema come descritto al paragrafo 3.3. Notiamo che per i PD usati la max tensione inversa consentita è di 50 V.

Si possono inoltre notare gli effetti che le diverse tensioni di polarizzazione hanno sull'efficienza quantica dei PD usati. Normalmente l'efficienza quantica si misura in e^- generati per fotone incidente (e^- /fotoni) ma, vista la dipendenza lineare tra l'energia del fotone incidente sul cristallo ed il numero di fotoni generati (fotoni/keV), si può dare una stima dell'efficienza quantica a partire dalla misura di uscita luce del rivelatore utilizzato (e^- /keV).

3.7 MISURE DI RUMORE VS TIPO DI JFET IMPIEGATO

Il metodo di misura è stato adottato con preamplificatori che consentono di operare con JFET esterno. Si sono sostituiti diversi tipi di JFET di ingresso ed è stato misurato il rumore come descritto al paragrafo 3.3.

3.8 MISURE DI RUMORE VS POTENZA CONSUMATA

Il rumore di un PA dipende dalla corrente circolante nel JFET di ingresso a cui è legato il valore della sua transconduttanza, per cui il rumore diminuisce all'aumentare della corrente di drain.

Il metodo di misura, adottato per quei PA che consentono di operare con JFET esterno, consiste nel misurare la tensione che cade nella resistenza di drain del JFET e variare opportunamente quest'ultima per ottenere i valori di corrente desiderati, quindi si misura il rumore equivalente di ingresso come descritto al punto 3.3 .

4. TIPI DI PA TESTATI

Sono stati esaminati i seguenti tipi di preamplificatori di carica:

Aurel: Tipo SMD Ibrido ad elevata potenza dissipata (120 mW)

Sono stati utilizzati come riferimento per le misure, perché già provati a fondo in diverse occasioni.

Amptek: Tipo SMD Ibrido space qualified a media potenza dissipata (24 mW) (Figura 4-1)

Sono stati testati per la loro versatilità che permette di cambiare il JFET per analizzarne le prestazioni di rumore in funzione della corrente di drain.

DB-2: Prototipo di bassa potenza dissipata (<6 mW)

Realizzato a componenti discreti.

Laben: Prototipo a bassa potenza dissipata (7.5 mW)

Realizzato a componenti discreti e dotato di un buffer in uscita per consentire la trasmissione del segnale, via cavo coax da 50 ohm, su lunghe distanze (almeno 20 m) in previsione del loro utilizzo nel sistema di test al CERN di Ginevra.

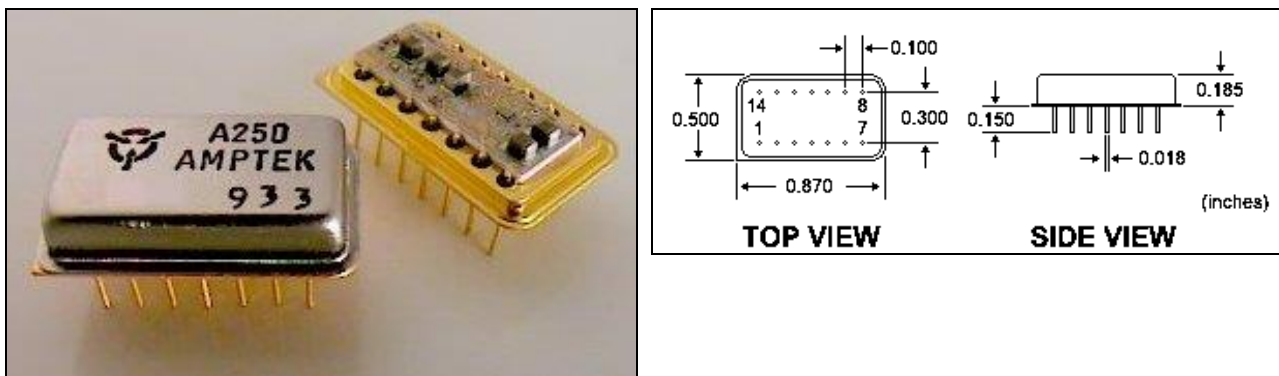


Figura 4-1 – Preamplificatore Amptek-250 (figura da <http://www.amptek.com/a250.html>).

5. SET-UP MISURE

Le prove sono state effettuate utilizzando lo schema di Figura 3-1 utilizzando gli strumenti di misura illustrati nella tabella che segue.

5.1 SET-UP DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA

Pre-amp di carica		DB-2	Aurel	Laben	Amptek
Tipo di alimentatore		Batterie	Batterie	Batterie	Grundig NP300
Alimentazione Pre-amp		± 5 V	± 12 V	± 5 V	± 6 V
Corrente erogata		mA	mA	mA	mA
Polariz. PD con batterie		+ 28 V	+ 28 V	+ 28 V	+ 28 V
Corrente assorbita dal PD		< 10 nA	< 10 nA	< 10 nA	< 10 nA
Sh-amp (CH1)					
Silena mod. 7911	Sh-time (μ s)	3 e 6	3	3 e 6	3
Pulser Ortec-419 attenuatori 2-2-5-10-10	Frequency (Hz)	60	60	60	60
	Rise time (ns)	50	50	50	50
	Decay time (μ s)				
Attenuatore HP mod.					
Oscilloscopio LeCroy mod.					
MCA Amptek 8000 5 Vfs-4096 Ch					
Notes:				Comprende un buffer di uscita	

Tabella 5-1 – Strumentazione utilizzata per il setup di Fig. 1.

Le prove sono state effettuate con impulsatore e capacità campione all'ingresso di 1.91 pF. In questo caso il picco di riferimento di carica prodotto da Am-241 (Figura 3-2) è stato ottenuto con un opportuno segnale calibrato dell'impulsatore (valutato a 1.38 mV).

6. RISULTATI MISURE

6.1 GUADAGNO DI CARICA

	DB-2	AUREL	LABEN	AMPTEK
Guadagno ($\mu\text{V}/e^-$)	0.082	0.04	3.66*	0.104

Tabella 6-1: Guadagno di carica espresso in $\mu\text{V}/e^-$.

* con buffer a guadagno 33.

6.2 LINEARITÀ INTEGRALE E DIFFERENZIALE

LINEARITÀ INTEGRALE	DB-2	AUREL	LABEN	AMPTEK
Low input signals	4.3×10^{-4}	2.1×10^{-4}	2.8×10^{-4} *	1.1×10^{-3}
High input signals			8.1×10^{-5}	

Tabella 6-2: Linearità integrale

Seguono alcune figure che mostrano la linearità differenziale dei vari tipi di PA testati:

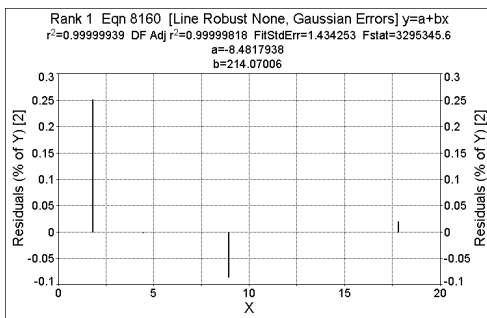


Figura 6-1: Linearità differenziale PA DB2.

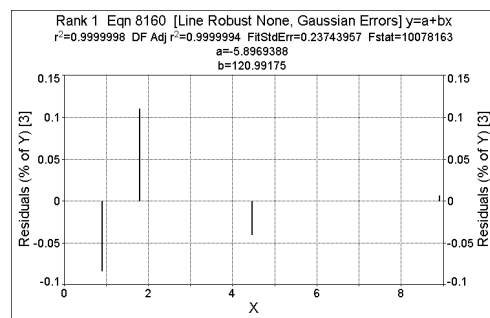


Figura 6-2: Linearità differenziale PA Aurel.

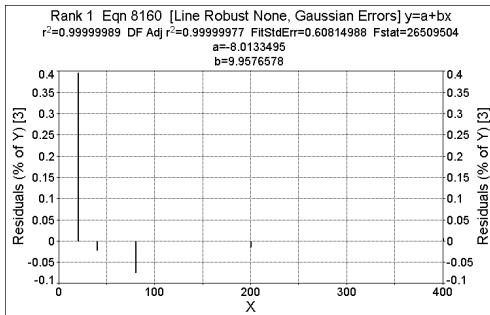


Figura 6-3: Linearità differenziale PA Laben.*

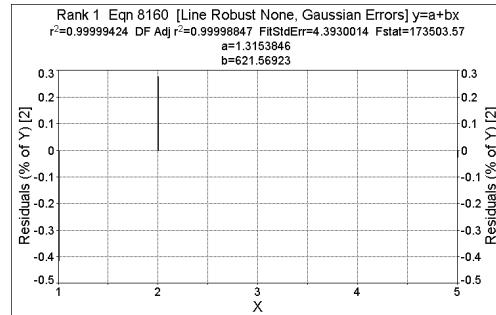


Figura 6-4: Linearità differenziale PA Amptek.

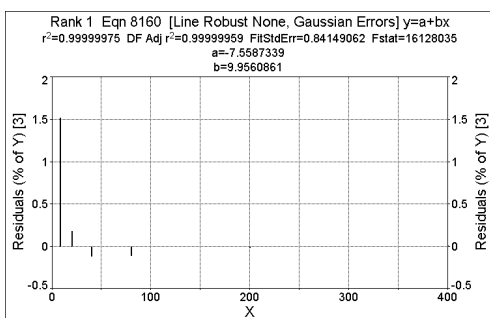


Figura 6-5: Linearità differenziale PA Laben.

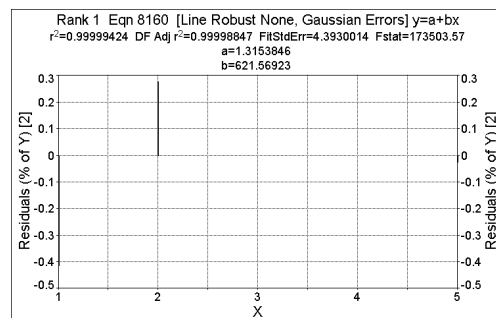


Figura 6-6: Linearità differenziale PA Laben per segnali all'ingresso alti.

* Linearità calcolata senza tenere conto del picco a 4000 e⁻, che abbassa la linearità integrale a 2.6×10^{-3} , e peggiora la linearità differenziale come mostrato in Figura 6-e.

6.3 RUMORE

	DB-2	AUREL	LABEN	AMPTEK
Shaping Time 3 μs	1240	850	925	830
Shaping Time 6 μs	1140	---	1100*	---

Tabella 6-3: Rumore in e⁻_{rms}.

* In condizioni non ottimali di montaggio.

6.4 CONSUMO DI POTENZA

	DB-2	AUREL	LABEN	AMPTEK
Consumo (mW)	< 6	120	~7.5 + 100*	~24

Tabella 6-4: Consumo di potenza in mW.

* Consumo di potenza del buffer d'uscita.

6.5 ANDAMENTO DEL GUADAGNO IN FUNZIONE DELLA CAPACITÀ DI INGRESSO DEI PA DB-2 E LABEN

Capacità (pF)	DB2 Sh. T. 3 μ s (μ V/e ⁻)	DB2 Sh. T. 6 μ s (μ V/e ⁻)	Laben Sh. T. 3 μ s (μ V/e ⁻)
0	0.059	0.061	3.17
33	0.071	0.073	3.37
68	0.082	0.084	---
100	0.094	0.095	---
127	0.104	0.105	3.26
150	0.111	0.112	---

Tabella 6-5: Guadagno dei PA, che rientrano nelle specifiche di potenza, in funzione della capacità di ingresso.

6.6 MISURE DI RUMORE VS TENSIONE DI POLARIZZAZIONE DEL PD

Tensione di polarizzazione del PD (V)	Noise (e ⁻ _{rms})	Uscita Luce (e ⁻ /keV)
+15	947	15.1
+28	940	15.1
+40	896	17.2
+50	868	17.1

Tabella 6-6: Rumore del preamplificatore LABEN in funzione della tensione di polarizzazione del PD.

6.7 MISURE DI RUMORE VS TIPO DI JFET IMPIEGATO

JFET	Rumore (e^-_{rms})
2SK152	830
K371	830
K147	955
K162	840

Tabella 6-7: Rumore del preamplificatore Amptek-250 in funzione del JFET di ingresso usato.

6.8 MISURE DI RUMORE VS POTENZA CONSUMATA

V_{drain} (mV)	R_{drain} (k Ω)	I_{drain} (μ A)	2SK152	K371
			Rumore (e^-_{rms})	Rumore (e^-_{rms})
2.881	0.995	2895	821	781
	1.466	1965	850	---
	1.748	1648	869	---
	2.801	1029	941	---
	3.690	781	999	---
	4.890	589	1112	1057

Tabella 6-8: Consumo di corrente e rumore dei preamplificatori Amptek-250 in funzione del FET di ingresso utilizzato.

6.9 COMPARAZIONE DEI DIVERSI TIPI DI PREAMPLIFICATORI

Preamplificatore	Guadagno	Linearità	Rumore	Consumo di potenza
Aurel	****	****	****	*
DB-2	*	**	**	****
Amptek	****	***	****	**
Laben	***	***	***	***

Tabella 6-9: Tabella comparativa dei PA testati.

7. REFERENZE

Ref 1: Calorimeter Requirements and Specification, AGILE-ITE-SS-001 issue 2.3, TeSRE, Aprile 2000.

Ref 2: Agile Scientific Requirements, AGILE-IFC-SR-006, Ottobre 99.

Ref 3: Agile MiniCalorimeter Photodiode Procurement Specification, TL 16479 Issue 2, LABEN, Agosto 2000.

Ref 4: Agile Minicalorimeter Bar Procurement Specification, TL 16480 Issue 2, LABEN, Agosto 2000.

Ref 5: Agile Minicalorimeter Architectural Design, TL 16067, Issue 2, LABEN, Maggio 2000.

Ref 5: Metodo per la caratterizzazione di rivelatori a scintillazione con lettura a fotodiodo, Rapporto Interno TeSRE n.280, Maggio 2000.

Ref 6: Agile MCAL Subsystem Specification AGILE-ITE-SS-002 issue 1.

Ref 7: IEEE Trans. Nucl. Sci. Ns_16 n.6, Dec. 1969.