

 INAF/IASF Bologna	PROTOTIPO PRE-INDUSTRIALE DI SONDA MEDICALE PER DIAGNOSI CHIRURGICA BASATA SU SPETTROMETRI A STATO SOLIDO A CDTE: REPORT DI MID-TERM	<i>Ref: CZT-IASF-BO-465</i> <i>Issue: 1.1</i> <i>Date: May 2007</i> <i>page: 1/13</i>
---	--	--

Report di medio termine
Progetto UIT-INAF 2006-2007:
**Realizzazione di un prototipo pre-industriale di sonda
medicale per diagnosi chirurgica basata su spettrometri di
CdTe.**

INAF/IASF-Bologna	<i>Impresa co-finanziatrice e partner industriale STUDIOEMME s.a.s.</i>
Dr Ezio Caroli ; Responsabile progetto	Loris Mantovani , Amministratore e Socio Accomandatario
Via Gobetti 101, 40129 Bologna	Via della Salute 18/9, Bologna
Tel 051-6398678, Fax 051-63987623/4	Tel 051-405473, Fax 051-6417511
E-mail: caroli@iasfbo.inaf.it	E-mail: commerciale@studioemme.it

Internal Report IASF/BO n. 465/2007
(May 2007)

Authors:

G. Ventura ⁽¹⁾
R. Ardizzoni⁽²⁾
E. Caroli ⁽¹⁾
N. Auricchio ^{(1), (3)}
A. Donati ⁽¹⁾
G. Landini⁽¹⁾
L. Mantovani⁽²⁾
F. Schiavone ⁽¹⁾

Affiliations:

⁽¹⁾ INAF/IASF-Bologna
⁽²⁾ Studioemme s.a.s
⁽³⁾ Dipartimento di Fisica-Università di Ferrara

 INAF/IASF Bologna	<p align="center">PROTOTIPO PRE-INDUSTRIALE DI SONDA MEDICALE PER DIAGNOSI CHIRURGICA BASATA SU SPETTROMETRI A STATO SOLIDO A CDTE: REPORT DI MID-TERM</p>	<p><i>Ref: CZT-IASF-BO-465</i> <i>Issue: 1.1</i> <i>Date: May 2007</i> <i>page: 2/13</i></p>
---	--	---

1. Scopo del documento

La documentazione in prossimità del medio termine delle attività è approntata per:

- conoscenza dell'ente finanziatore (UIT)
- verifica ed analisi interna dei partners coinvolti

Si fa riferimento al prospetto di progettazione di sviluppo temporale dell'attività prodotta per la presentazione del progetto (**Fig. 1**).

2. Sommario riassuntivo delle attività

Ogni attività di progettazione, costruzione di sottosistemi e di sviluppo per la esecuzione di test sperimentali-pre/industriali è stata discussa ed organizzata in costante e stretta collaborazione tra i partners coinvolti (INAF-StudioM).

In **Appendice A** è presentato, mediante fotografie, lo stato attuale (Aprile 2007) di realizzazione e sviluppo del prototipo di sonda e dei suoi sottosistemi.

L'**Appendice B** riporta una sintesi dei risultati tecnico-scientifici ottenuti durante i test di laboratorio e ritenuti più significativi.

Ultimi mesi 2006

Rivelatori: Scelta e procura dei modelli ritenuti adeguati.

Meccanica: Progetto del probe.
Realizzazione di due prototipi.

Materiali: Individuazione dei materiali adeguati.
Procura dei materiali.
Esecuzione delle parti meccaniche di corredo del probe (canotto-schermo Pb, canotto-schermo Cu, isolanti elettrici, isolanti fotonici, particolari meccanici, etc.).
Esecuzione test preliminari di laboratorio per la determinazione dei materiali adeguati all'applicazione.

Elettronica: Test preliminari di Laboratorio con rivelatori CdTe, S/W e elettronica di lettura convenzionale disponibile.
Scelta dei componenti attivi ed elettronici adeguati.
Test intensivo di laboratorio con alimentatore HV EMCO miniaturizzato di ultima generazione. Ordine del materiale per 2-4 unità.

Dicembre 2006-Gennaio/Febbraio 2007

- Test intensivi del materiale approvvigionato e cablato in contenitori di Laboratorio.
- Cablaggio del 1° prototipo di HHProbe in meccanica dedicata (CdTe # 04).
- Test prolungati con elettronica di Lab e sorgenti di ⁵⁷Co (122 keV). N.B. Sono stati usati gli stessi componenti attivi e passivi previsti per la versione finale della applicazione.

 INAF/IASF Bologna	<p align="center">PROTOTIPO PRE-INDUSTRIALE DI SONDA MEDICALE PER DIAGNOSI CHIRURGICA BASATA SU SPETTROMETRI A STATO SOLIDO A CDTE: REPORT DI MID-TERM</p>	<p><i>Ref: CZT-IASF-BO-465</i> <i>Issue: 1.1</i> <i>Date: May 2007</i> <i>page: 3/13</i></p>
---	--	---

- Rilevazione sistematica delle misure eseguite e delle prestazioni elettriche (i dati quantitativi ed i grafici dei tests sono stati immagazzinati e sono disponibili sia per la documentazione successiva che per la certificazione dei prototipi).

Marzo 2007

- Ordinazione materiale per la costruzione di due prototipi aggiuntivi (Totale N. 4 prototipi pre-industriali di livello "1").
- Progetto e sviluppo dei prototipi di circuito stampato per l'alloggiamento del sensore nel probe e per la elettronica di condizionamento analogico dei segnali.
- Cablaggio del 1° prototipo pre-commerciale di HHProbe (sensore + elettronica lineare di condizionamento e formatura)
- Sviluppo del contenitore di Lab in versione pre-industriale.
- Test funzionali (risposta complessiva, valutazione consumi, risoluzione energetica, etc).
- Test di durata (30-40 giorni) per verifica del drift.
- Confronto tra rivelatore CdTe cablato per HHProbe in IASF e rivelatore CdTe della stessa famiglia, identico per dimensioni e condizioni operative) costruito e cablato dal costruttore (Acrorad, Japan).

Aprile 2007

- Sviluppo del 2° prototipo di HHProbe con rivelatore CdTe # 01.
- Integrazione meccanico-elettrica. Con i test eseguiti in precedenza l'unica differenza è rappresentata dal sensore (CdTe in probe): la elettronica di rivelazione è esattamente la stessa.
- Esecuzione dei test funzionali e confronto diretto con i risultati ottenuti con i tests precedenti, ovvero confronto diretto delle prestazioni di due prototipi pre-industriali di HHProbe.

Sistema complessivo di acquisizione della misura

1. E' stata definita la configurazione complessiva basata su due sottosistemi: HHProbe+elettronica analogica & Remote Control System. La scelta di fondo è quella di ricorrere a canali di comunicazione tra i due sottosistemi realizzati mediante trasmissione ad infrarossi.
2. (fine marzo-inizio aprile 2007) Sono state discusse in dettaglio le principali funzioni demandate al sistema di Controllo Remoto.
3. L'avvio delle operazioni di progetto del sistema remoto richiede una attenta verifica delle funzioni e delle prestazioni del sistema sensore (HHProbe) combinato con la elettronica di rivelazione lineare.

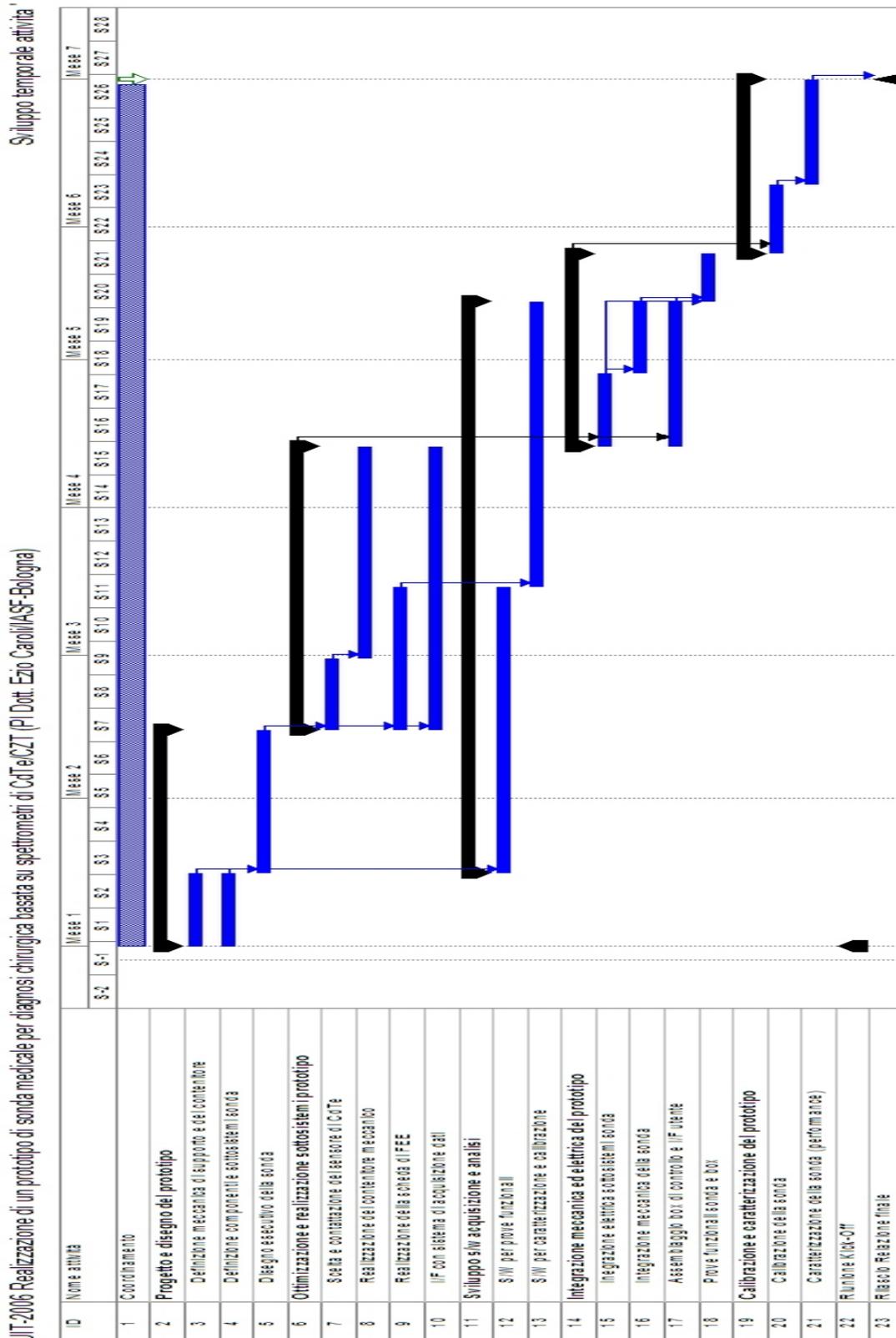


Fig. 1. Sviluppo temporale delle attività previste nella proposta di progetto.

 INAF/IASF Bologna	PROTOTIPO PRE-INDUSTRIALE DI SONDA MEDICALE PER DIAGNOSI CHIRURGICA BASATA SU SPETTROMETRI A STATO SOLIDO A CDTE: REPORT DI MID-TERM	Ref: CZT-IASF-BO-465 Issue: 1.1 Date: May 2007 page: 5/13
---	--	--

3. Sommario dei principali risultati su HHProbe ed elettronica lineare

I principali risultati dei test effettuati presso lo IASF-Bologna con sorgenti radioattive sul sottosistema HHProbe e l'elettronica di condizionamento analogico sono riportati nell'elenco che segue.

- a. Il segnale fornito dal sensore CdTe all'energia di interesse (140 keV di ⁹⁰Tc, ovvero del picco del radionuclide principalmente usato nelle indagini mediche) è di circa 2.8 mV.
- b. La configurazione costituita dal pre-amplificatore Cremat CR-110, accoppiato con amplificatore lineare e post-amplificatore "Shaping" Cremat-200-1 μ s ($G_{TOT} \approx 400 \div 700$), rappresenta una scelta adeguata all'applicazione.
- c. Il rumore indotto sul segnale dall'accoppiamento meccanico-elettrico scelto è compatibile con gli obiettivi dell'applicazione (Risoluzione energetica = FWHM $\approx [5 \div 6]\%$ @ 122 keV di ⁵⁷Co con shaping time di 1 μ s).
- d. Il consumo elettrico complessivo del front-end (HHProbe+catena di amplificazione lineare+Bias rivelatore) è contenuto a 210 mW ($V_{CC} = \pm 6V$). Questi valori giustificano la scelta per una realizzazione "battery powered".
- e. I test iterati di Lab sia con elettronica cablata (IASF) che in PCB (StudioEmme) hanno fornito risultati perfettamente identici.
- f. Lo shift della risposta del sensore ovvero la deriva temporale del segnale analogico corrispondente al picco di 122 keV di ⁵⁷Co è inferiore allo (0.5-1)% su un periodo di funzionamento ininterrotto di 30-35 giorni.
- g. Il confronto tra due sensori CdTe della stessa famiglia, uno cablato da IASF in HHProbe, l'altro cablato dal costruttore (Acrorad) ha messo in evidenza comportamenti migliorativi del probe di produzione IASF-StudioEmme.

In **Appendice B** sono presentati in maggior dettaglio e con l'ausilio di grafici i risultati descritti sinteticamente.

4. Verifica consistenza fra sviluppo temporale previsto e attività (Dicembre 2006-Maggio 2007)

- ▶ Progetto e realizzazione del prototipo di livello "0" (HHProbe)
Eseguito in anticipo insieme con l'elettronica di rivelazione. **Manca il Remote System.**
- ▶ Altre parti meccaniche:
Ancora da definire.
- ▶ Scelta componentistica dei sottosistemi:
Completata, specie per la parte di elettronica lineare di rivelazione.
- ▶ Disegno esecutivo di HHProbe:
Completato con circa 2 mesi di anticipo. Il formato applicativo per gli impieghi industriali è in preparazione-ultimazione e terrà conto di dettagli esecutivi orientati al miglioramento dell'affidabilità e delle norme di sicurezza d'utenza.

 INAF/IASF Bologna	PROTOTIPO PRE-INDUSTRIALE DI SONDA MEDICALE PER DIAGNOSI CHIRURGICA BASATA SU SPETTROMETRI A STATO SOLIDO A CDTE: REPORT DI MID-TERM	<i>Ref: CZT-IASF-BO-465</i> <i>Issue: 1.1</i> <i>Date: May 2007</i> <i>page: 6/13</i>
---	--	--

- ▶ Ottimizzazione e realizzazione dei sottosistemi per prototipo: realizzati in anticipo per due prototipi. In particolare: a) scelta e contrattazione del sensore CdTe: già eseguita; b) realizzazione del contenitore meccanico: già eseguito. **N.B. Sono stati realizzati quattro prototipi meccanici**; c) realizzazione della scheda di FEE: in parte eseguita (1° prototipo). Versione definitiva in corso e attualmente sottoposta a revisione per alcune parti in via di sviluppo (alcuni componenti attivi da riconsiderare, progetto degli alimentatori stabilizzati, scelta delle batterie, contenitore, etc)
- ▶ IF con sistema di acquisizione-dati (Remote Control System):
Definite le caratteristiche principali (H/W, comunicazioni remote, comandi, algoritmi, funzioni, I/O, etc);
In parziale ritardo (2-3 settimane).
- ▶ Sviluppo S/W del sistema di acquisizione-dati (Remote Control System):
Definite le linee operative principali (algoritmi, funzioni, I/O, etc);
In parziale ritardo; in particolare, ritardo all'avvio (1-2 settimane).
- ▶ SW per prove funzionali (calibrazione, messa a punto, etc) di Lab:
In parte esistente presso IASF-Bologna.
In parziale ritardo lo sviluppo del codice dedicato che, comunque, deve tener conto della ultimazione-in corso-del progetto complessivo di HHProbe e Remote Control System per adeguarsi ad una comune strategia di misura.
- ▶ Integrazione meccanica ed elettrica del prototipo:
In anticipo di circa 2 mesi.
- ▶ Integrazione meccanica ed assemblaggio contenitore unità di controllo ed IF utente:
Da definire, discutere e progettare.

Conclusioni riassuntive: sintesi ad Aprile-Maggio 2007

- Sono stati progettati, realizzati ed estensivamente testati due prototipi in versione pre-industriale (pre-commerciali) di probe medicali basati su rivelatori a CdTe.
- È stato realizzato e testato un prototipo pre-industriale/preliminare di elettronica di Front-End per probe medicale (è in corso una revisione-modifica per il congelamento definitivo del progetto).
- Sono state definite e progettate le linee generali realizzative del sistema completo (HHProbe e Remote Control System, inclusivo di H/W e S/W).

Alcune attività (HHProbe e tests relativi) sono in anticipo di realizzazione rispetto al planning propositivo.

Altre attività (Remote Control System) sono leggermente in ritardo rispetto alle previsioni, anche se dal punto di vista progettuale sono già state delineate le funzioni operative e realizzative.

APPENDICE A:
Documentazione fotografica sullo stato di realizzazione del prototipo della sonda chirurgica e dei suoi sottosistemi (Dicembre 2006-Aprile 2007)

La presente appendice riporta una documentazione fotografica dei vari sottosistemi realizzati per la costruzione del prototipo di laboratorio della sonda chirurgica allo scopo di fornire una visione complessiva delle attività svolte Dicembre 2006-Aprile 2007.

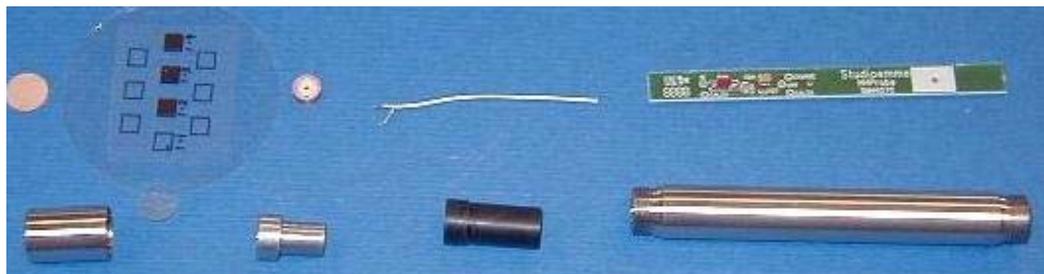


Fig. 1A. *Componenti usati per la costruzione di HHProbe.*

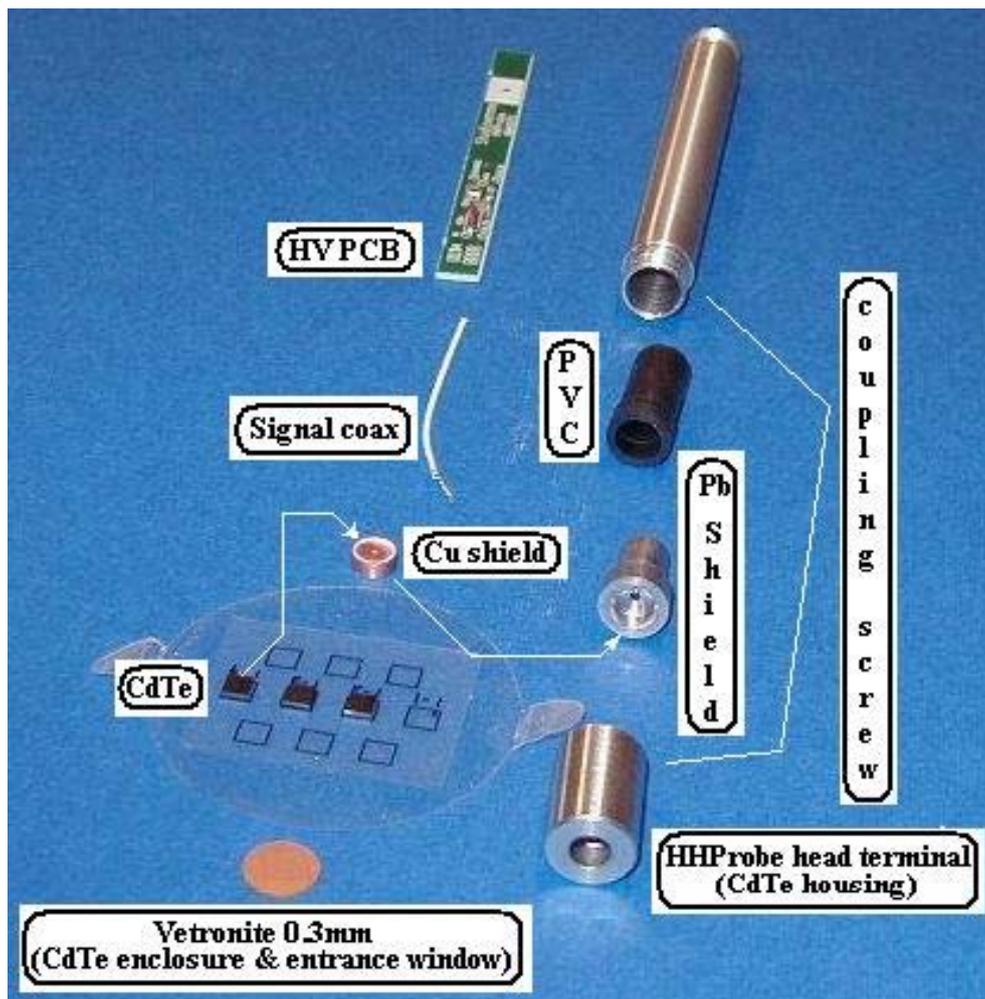


Fig. 2A. *Vista prospettica di alcuni dettagli aggiuntivi rispetto alla rappresentazione di Fig. 1A con accenni e didascalie esplicative del tipo di assemblaggio scelto.*

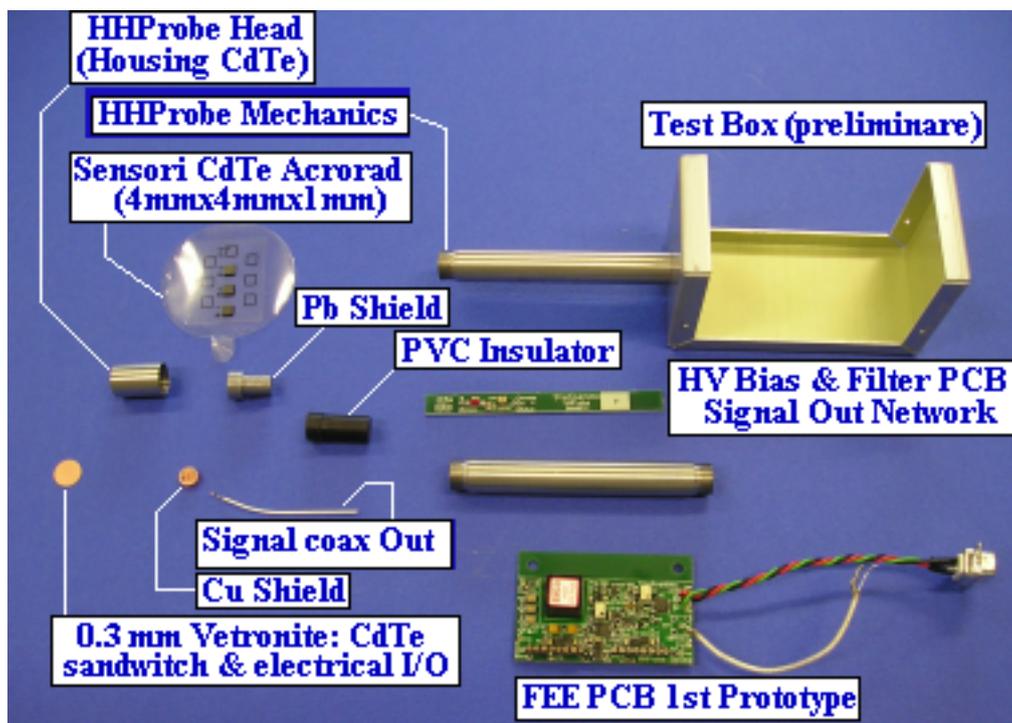


Fig. 3A. Dettaglio dei componenti usati per la costruzione del prototipo di livello "1" di HHProbe, inclusa l'elettronica di rivelazione.

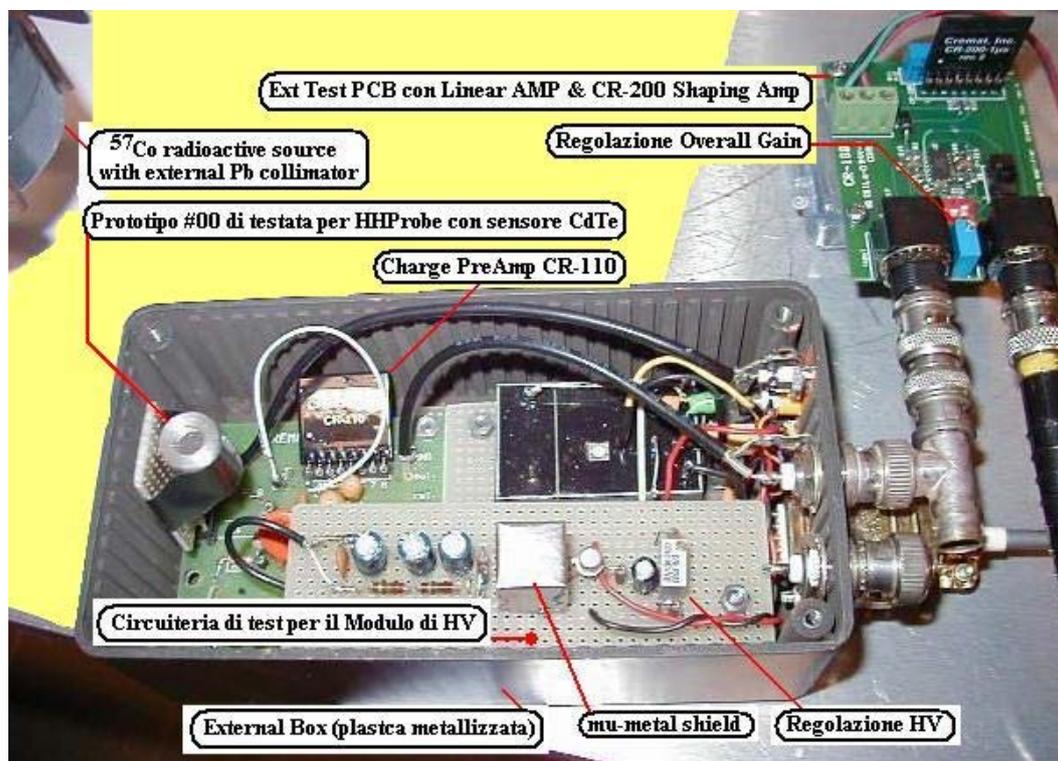


Fig. 4A. Arrangiamento sperimentale per i test preliminari di laboratorio. La componentistica usata è la stessa individuata come adeguata per la applicazione pre-industriale.

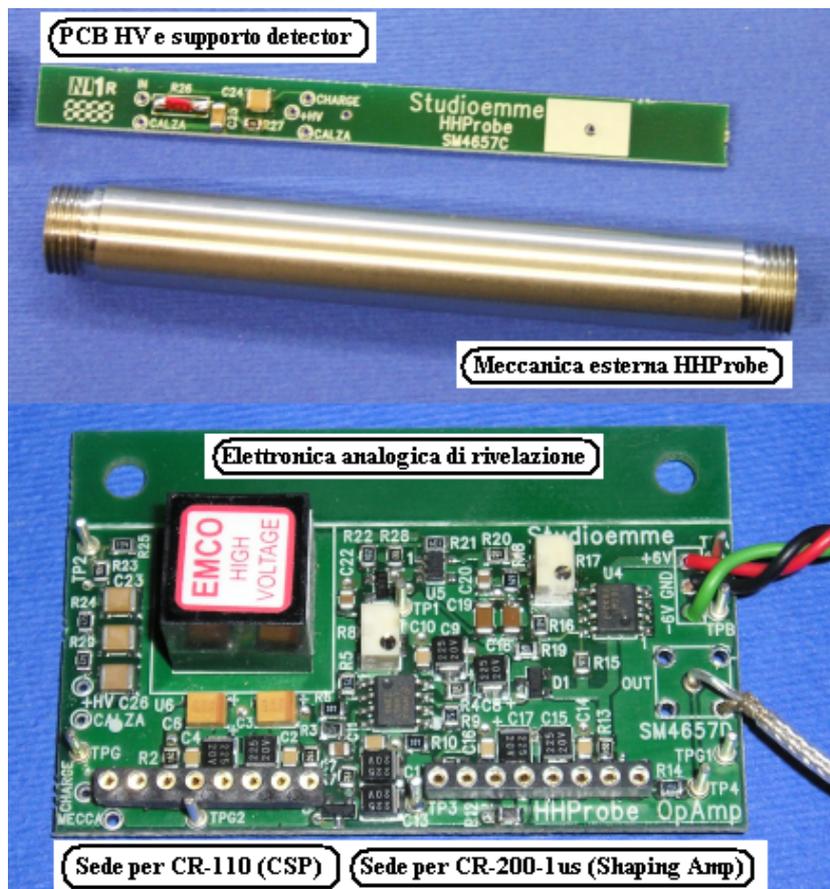


Fig. 5A. Prototipi di circuito stampato sviluppati per la Sonda Medica:

- PCB superiore: distribuzione/filtro HV e supporto per il rivelatore CdTe con contenitore metallico esterno (cilindro esterno in inox) per le indagini intra-operatorie.
- PCB inferiore: generazione HV (modulo EMCO) ed elettronica di rivelazione lineare.

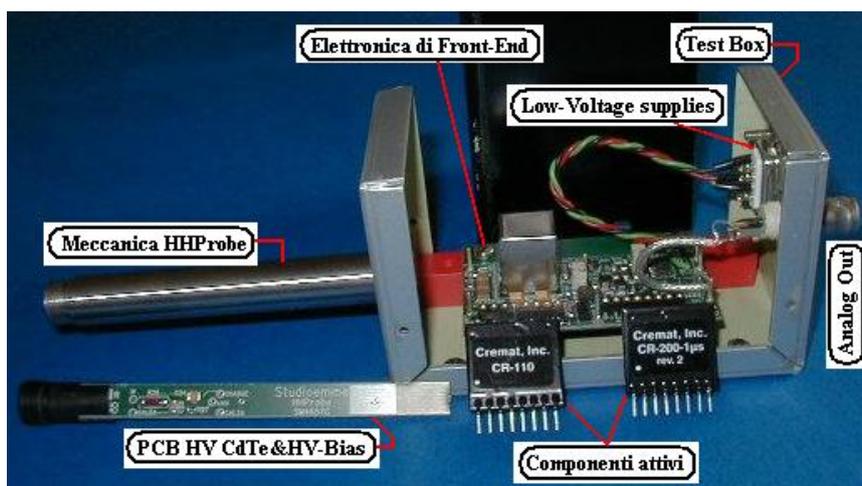


Fig. 6A. Configurazione meccanico-elettrica per i test di laboratorio dei prototipi di HHPProbe realizzati (2 prototipi di livello "1"). I risultati con questa configurazione sono stati confrontati direttamente con quelli ottenuti con gli arrangiamenti sperimentali di livello "0" (HHPProbe preliminari di laboratorio con elettronica standard).

 INAF/IASF Bologna	PROTOTIPO PRE-INDUSTRIALE DI SONDA MEDICALE PER DIAGNOSI CHIRURGICA BASATA SU SPETTROMETRI A STATO SOLIDO A CDTE: REPORT DI MID-TERM	<i>Ref: CZT-IASF-BO-465</i> <i>Issue: 1.1</i> <i>Date: May 2007</i> <i>page: 10/13</i>
---	--	---

APPENDICE B

Risultati sul prototipo di sonda chirurgica e sui sottosistemi e componenti (Dicembre 2006-Aprile 2007)

Ogni componente attivo è stato pre-cablato e testato in ambiente di rivelazione standard di laboratorio (strumentazione di riferimento assunta come campione qualificativo della componentistica sottoposta a test) prima di essere qualificato per l'applicazione.

Per quanto possibile, è stata adottata la stessa procedura di test/qualifica per la componentistica che ha richiesto una pre-cablatura sia meccanica che elettrica.

Il progetto esecutivo ha quindi avuto le premesse qualitative e quantitative dei test preliminari che costituiscono la giustificazione oggettiva necessaria per la affidabilità operativa della sonda sviluppata.

I risultati riportati rappresentano una sintesi delle misure dei test eseguiti.

Alcuni risultati sono presentati in modo da consentire un confronto diretto tra le configurazioni standard adottate per i test di laboratorio e quelle ottenute con i dispositivi sviluppati nell'ambito del progetto.

Segnali forniti dalla elettronica di rivelazione di Front-End

L'apparato di rivelazione di Front-End è costituito da:

- sensore a CdTe (4mmx4mmx1mm) con Bias (HV) filtrata + circuiteria per il segnale cablato nella meccanica sviluppata per HHProbe.
- preAmp di carica (CSP) CR-110.

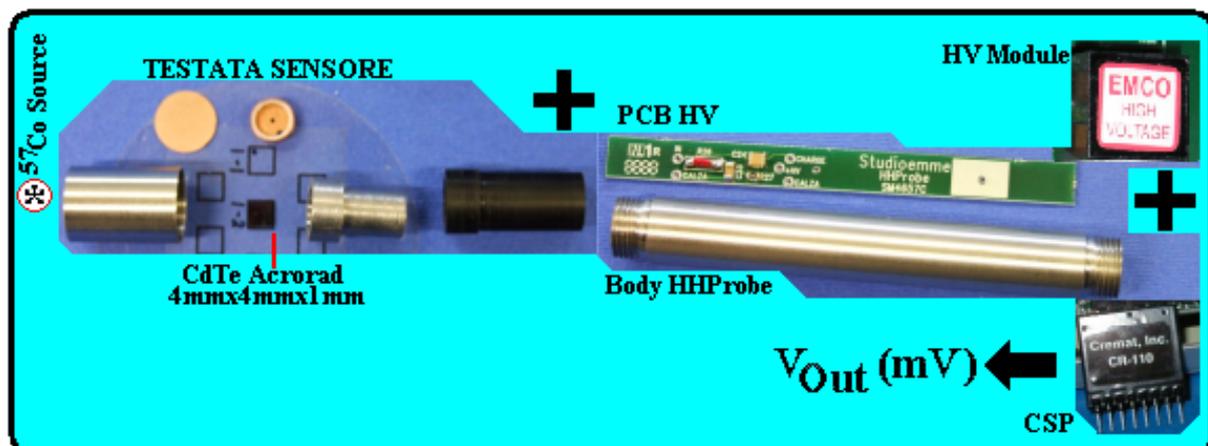


Fig. 1B. Rappresentazione schematico-oggettiva della componentistica di rivelazione lineare impiegata per i test qualificativi dei sistemi di HHProbe.

Test eseguiti con sorgenti radioattive di ^{57}Co (122keV) e ^{109}Cd (22keV ed 88keV).

Le valutazioni teoriche sono state confermate dalle misure eseguite: la tensione di uscita del CSP impiegato è di 2.44 mV alla energia di 122 keV di ^{57}Co ; ne consegue che per ^{90}Tc (140 keV) la risposta sarà dell'ordine di 2.8 mV (pendenza ≈ 0.02 mV/keV). Considerato che l'amplificatore shaping CR-200 ha un guadagno in tensione di circa 10, questa valutazione sperimentale consente di fissare il guadagno dello stadio di amplificatore lineare connesso all'uscita del CSP. E' ragionevole ritenere che il segnale di uscita della elettronica

 INAF/IASF Bologna	PROTOTIPO PRE-INDUSTRIALE DI SONDA MEDICALE PER DIAGNOSI CHIRURGICA BASATA SU SPETTROMETRI A STATO SOLIDO A CDTE: REPORT DI MID-TERM	<i>Ref: CZT-IASF-BO-465</i> <i>Issue: 1.1</i> <i>Date: May 2007</i> <i>page: 11/13</i>
---	--	---

corrispondente a 140 keV di ^{90}Tc possa essere fissato a $[1.2\div 1.4]\text{V}$; il guadagno dello stadio lineare interposto sarà di 40 Min, 50 Max. Con questi valori di guadagno il sistema HHProbe avrà la capacità di coprire un ampio intervallo energetico [dinamica $\approx 20 \text{ keV}(\text{min})$, $\approx 450 \text{ keV}(\text{max})$].

Alimentatore HV EMCOQ02-5

Fornisce una tensione HV di alimentazione al rivelatore CdTe proporzionale al valore della tensione di alimentazione continua cui lo si alimenta. La relazione $V_{\text{Out}}-V_{\text{In}}$, dedotta sperimentalmente, è:

$$(HV)_{\text{Out}} \cong 48.5 \cdot V_{\text{In}} \text{ per } V_{\text{In}} > 0.75\text{V}, 0\text{V} < V_{\text{In}} < 5.5\text{V}$$

Per bassi assorbimenti fissati all'uscita (2-4 μA), il consumo di corrente nel circuito di alimentazione di ingresso è del tipo:

$$I_{\text{DC}}(\text{mA}) \cong 0.103 \cdot V_{\text{Out}} - 1.8$$

Il ripple residuo all'uscita può essere considerevolmente ridotto con filtri RC; nelle condizioni di test adottate il ripple residuo è dell'ordine di 1 mV_{RMS}.

Qualificazione della componentistica di rivelazione lineare (CR-110, CR-200)

I tests preliminari hanno consolidato le scelte per il PreAmp di carica (CR-110) e dello Shaping Amp (CR-200-1us); in particolare particolarmente condizionante è stata la necessità del contenimento dei consumi. CR-110 e CR-200 possono operare con prestazioni tollerabilmente degradate ad alimentazioni $V_{\text{CC}} = \pm 6\text{V}$. Tuttavia il compromesso principale è dovuto al fatto che il 1° stadio lineare di Front-End (CR-110) affacciato al rivelatore non può per le sue dimensioni fisiche-essere cablato nelle immediate vicinanze del rivelatore stesso: ciò comporta che l'accoppiamento tra CdTe ed ingresso di CR-110 sia realizzato mediante cavetto coassiale ($l \cong 5 \text{ cm}$) con conseguente aumento del rumore equivalente in bassa energia dovuto ad un incremento della capacità equivalente di ingresso. Il peggioramento della risoluzione energetica è tuttavia tollerabile e compatibile con l'applicazione; si sono ottenuti i seguenti risultati con connessione di ingresso realizzata a cavo coax di 10 cm di lunghezza:

Sorgente	Picco (Ch)	FWHM(%)	FWHM (keV) [°]	FWHM(%)	FWHM (keV)
^{109}Cd 24 keV	64	24	Non fornito	25	6
^{109}Cd 88 keV	227	6.3	Non fornito	7.4	6.5
^{57}Co 122keV	313	5.2	9-10	6.2	7.6-8

CdTe connesso direttamente a CR-110 e uscita su cavo coassiale

[°] Valori forniti dal costruttore

E' evidente dai dati sperimentali che la risoluzione energetica ottenuta con l'elettronica adottata per HHProbe è migliorativa, anche nel caso di accoppiamento di ingresso con cavo coax, rispetto a quella dichiarata dal costruttore.

Linearità: $\text{Out}(\text{Ch}) \cong 2.55 \cdot E(\text{keV})$, errore $< 0.5\%$.

Nei test di laboratorio eseguiti su tutti i sistemi di HHProbe (prototipo preliminare, prototipo di livello "0", due prototipi pre-industriali indipendenti di livello "1") per periodi di tempo prolungato (2-3 mesi) la risoluzione energetica relativa al picco di 122 keV di ^{57}Co è sempre risultata dello stesso valore e ripetitiva (FWHM $\cong 5-6\%$).

Il budget di consumo complessivo dell'elettronica di rivelazione completa (CdTe, HV Bias Module e relativa regolazione, CR-110, Amplificatore Lineare con $G \approx 40-60$, CR-200) è di 205-210 mW @ $\pm 6V$. Le correnti sono erogate quasi simmetricamente dalle due tensioni di alimentazione ($\pm 17-18$ mA).

E' stata rilevata la deriva del segnale dell'HHProbe con rivelatore # 01 in un lungo periodo ininterrotto di funzionamento (35 giorni). L'aggiustamento del guadagno della elettronica lineare (Fig. 5A) è stato approntato in modo da far corrispondere alla energia del picco di energia di 122keV di ^{57}Co la tensione di circa 1.22 V (≈ 10 mV/keV). La risoluzione energetica non varia in maniera sensibile col tempo (Variazioni di FWHM < 0.1%). La deriva risultante (Fig. 2B) in un periodo di 35-38 giorni di funzionamento continuo è inferiore allo 0.5% nel lungo periodo, complessivamente inferiore all'incirca all'1% sul lungo periodo. In termini di valore assoluto in tensione, la variazione del segnale corrispondente al picco di 122keV di ^{57}Co è al massimo di 10-12 mV in 35 giorni di funzionamento ininterrotto.

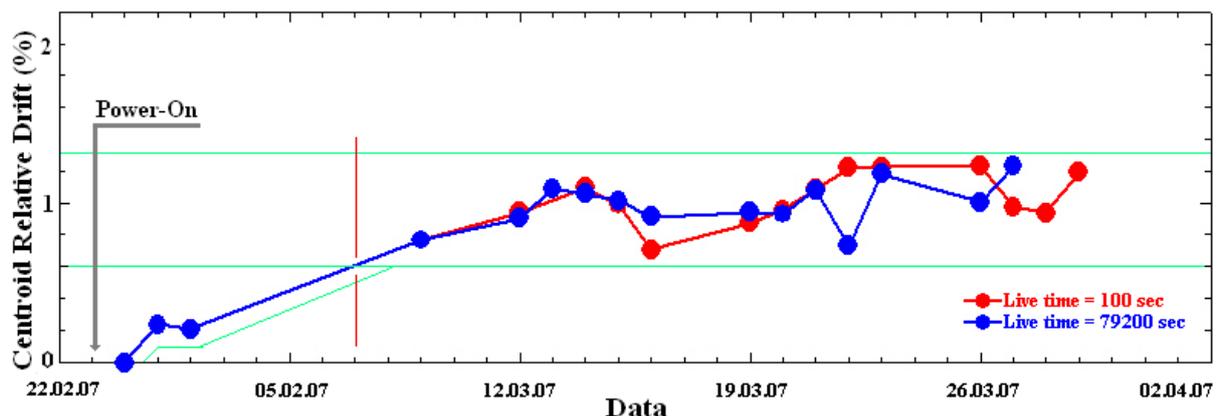


Fig. 2B. Rappresentazione della deriva temporale della elettronica di HHProbe alla sollecitazione del picco di energia di 122 keV in un periodo di tempo di 35-38 giorni di funzionamento ininterrotto.

Confronti tra sistemi omologhi

a). 2 Rivelatori Acrorad CdTe della stessa famiglia, con le stesse dimensioni, l'uno cablato in HHProbe in IASF (#01), l'altro cablato dal costruttore su supporto il Al₂O₃: la risposta energetica (spettro) dei due rivelatori connessi alla stessa elettronica analogica di condizionamento del segnale è, per quanto riguarda il picco energetico di 122keV, perfettamente identica, sia agli effetti della risoluzione energetica che dell'ampiezza. Per HHProbe #01 la soglia energetica inferiore è a circa 20 keV, per l'altro rivelatore è a 10 keV.

b). 2 Rivelatori Acrorad CdTe della stessa famiglia (#01 & #04), con le stesse dimensioni, entrambi cablati in due HHProbe in collaborazione tra IASF-Bo e Studioemme: la risposta energetica (spettro) dei due rivelatori connessi alla stessa elettronica analogica di condizionamento del segnale mostrata in Fig. 6A è, per quanto riguarda il picco energetico di 122keV, perfettamente identica, agli effetti dell'ampiezza (tensione corrispondente al picco). La risoluzione energetica al picco di 122keV è leggermente migliore per il prototipo #04 (FWHM ≈ 5.1 %), mentre per il prototipo #01 la risoluzione è ≈ 6.0 %.

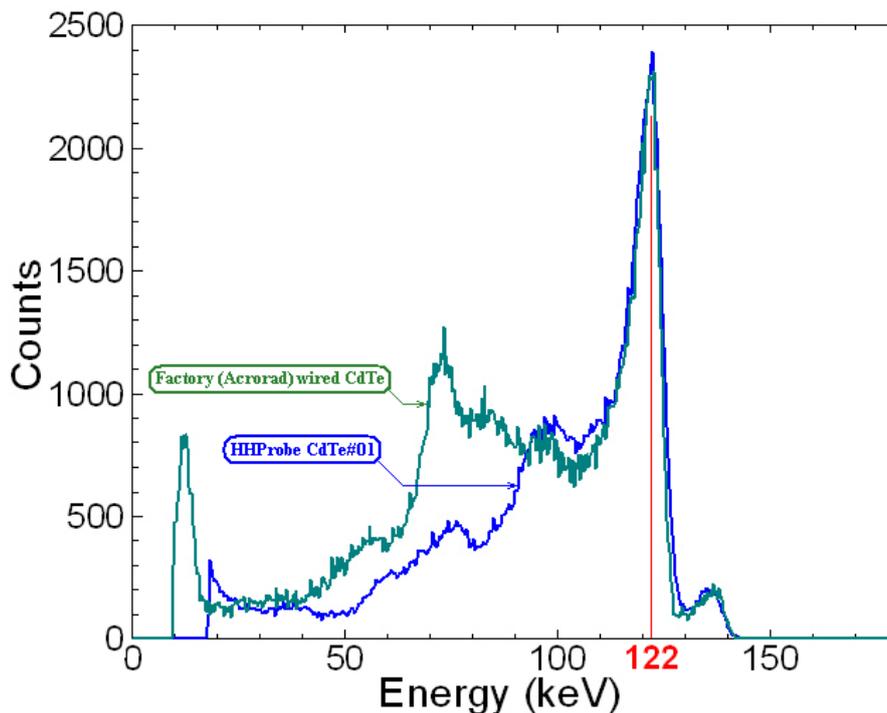


Fig. 3B. Risposta di due sistemi di rivelazione distinti basati su CdTe della stessa famiglia (Acrorad, 4mmx4mmx1mm) cablati l'uno in HHProbe, l'altro dal costruttore. La elettronica di rivelazione usata è la stessa per i due sistemi.

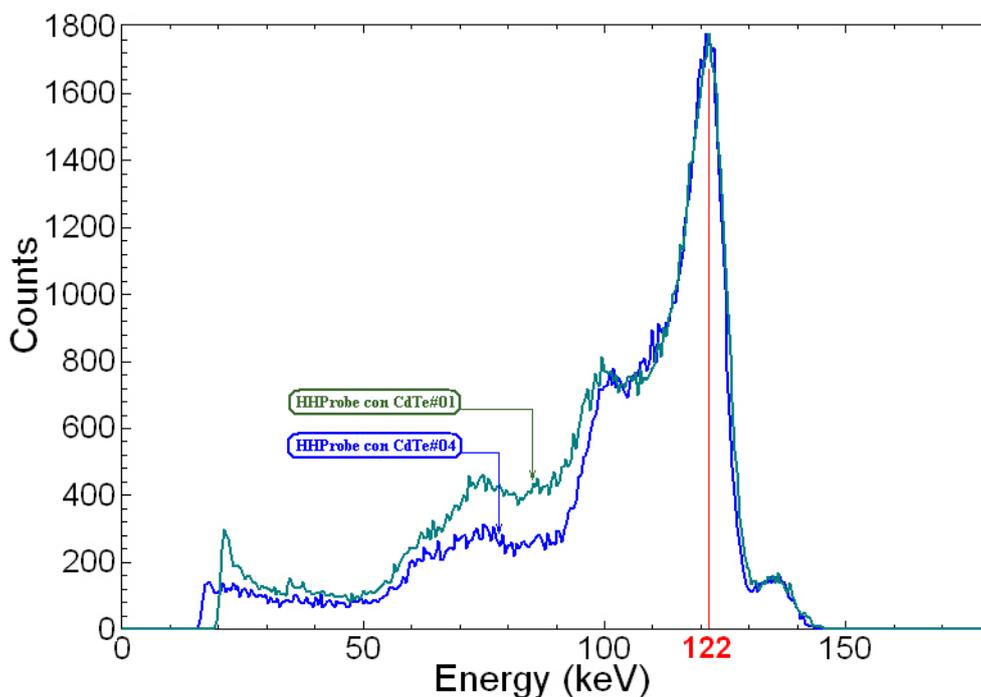


Fig. 4B. Risposta di due sistemi di rivelazione basati su CdTe della stessa famiglia (Acrorad, 4mmx4mmx1mm) cablati in due HHProbe distinti. La elettronica di rivelazione usata è la stessa per i due sistemi ed è mostrata in Fig. 6A.