



Università
degli Studi di Palermo

Università degli Studi di Palermo

Dipartimento di Fisica e Chimica



Ciclo Seminari Attività di Ricerca, 4-18 Aprile 2016, Palermo

Sistemi Spettroscopici a Semiconduttore per Energy-Resolved X-ray Imaging in Condizioni di Alto Flusso

Leonardo Abbene

leonardo.abbene@unipa.it

Sommario

- **X-ray Imaging**
- **Energy-Resolved X-ray Imaging**
- **Challenges nello sviluppo di Energy Resolved Photon Counting (ERPC) Systems**
- **Progetto di Ricerca presso il DiFC di Palermo**
- **Attività Sperimentali**

Scenario

Sin dalla scoperta nel 1895 (Roentgen C.), la radiazione X ha avuto un ruolo cruciale in diverse applicazioni, dall' Imaging Diagnostico in Medicina, alla Caratterizzazione di Materiali, ai Controlli di Sicurezza.

L'imaging a raggi X ha avuto, nell'ultimo mezzo secolo, dei progressi tecnologici così avanzati che spesso appaiono scontati.

Tuttavia, importanti Aspetti Critici sono ancora presenti negli attuali sistemi di X-ray imaging nella medicina diagnostica:

- (i) Contrasto limitato tra i diversi tessuti molli;**
- (ii) Tessuti differenti sono spesso caratterizzati da valori simili nei pixel dell'immagine;**
- (iii) Dosi elevate nelle scansioni;**
- (iv) I conteggi dei pixel danno solo informazioni qualitative.**

Un po di storia....Mammografia Digitale

Riduzione Dose e Incremento Qualità Immagini

1999

2002

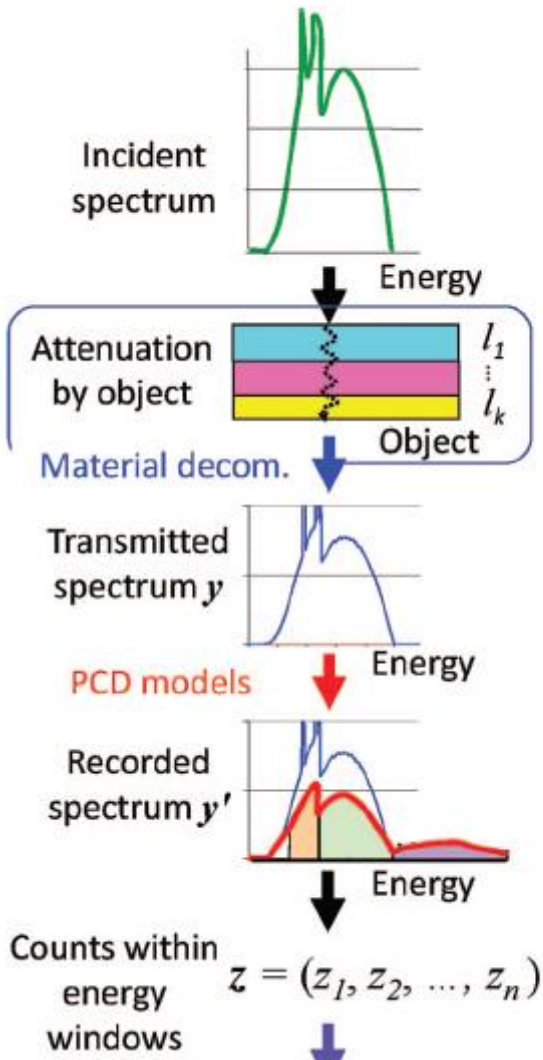
2003

- **RIVELAZIONE INDIRETTA:** conversione della radiazione in luce e poi in segnale elettrico (CR plates, a-Si/CCD)
- **Elettronica Analogica**
CURRENT MODE

- **RIVELAZIONE DIRETTA:** Conversione della radiazione in segnale elettrico (a-Se)
- **Elettronica Analogica**
CURRENT MODE

- **RIVELAZIONE DIRETTA:** Conversione della radiazione in segnale elettrico (semiconduttori)
- **Elettronica analogica**
PULSE MODE

Energy-Resolved X-ray Imaging



ENERGIA & CONTEGGI

ERPC: Energy Resolved Photon Counting Systems

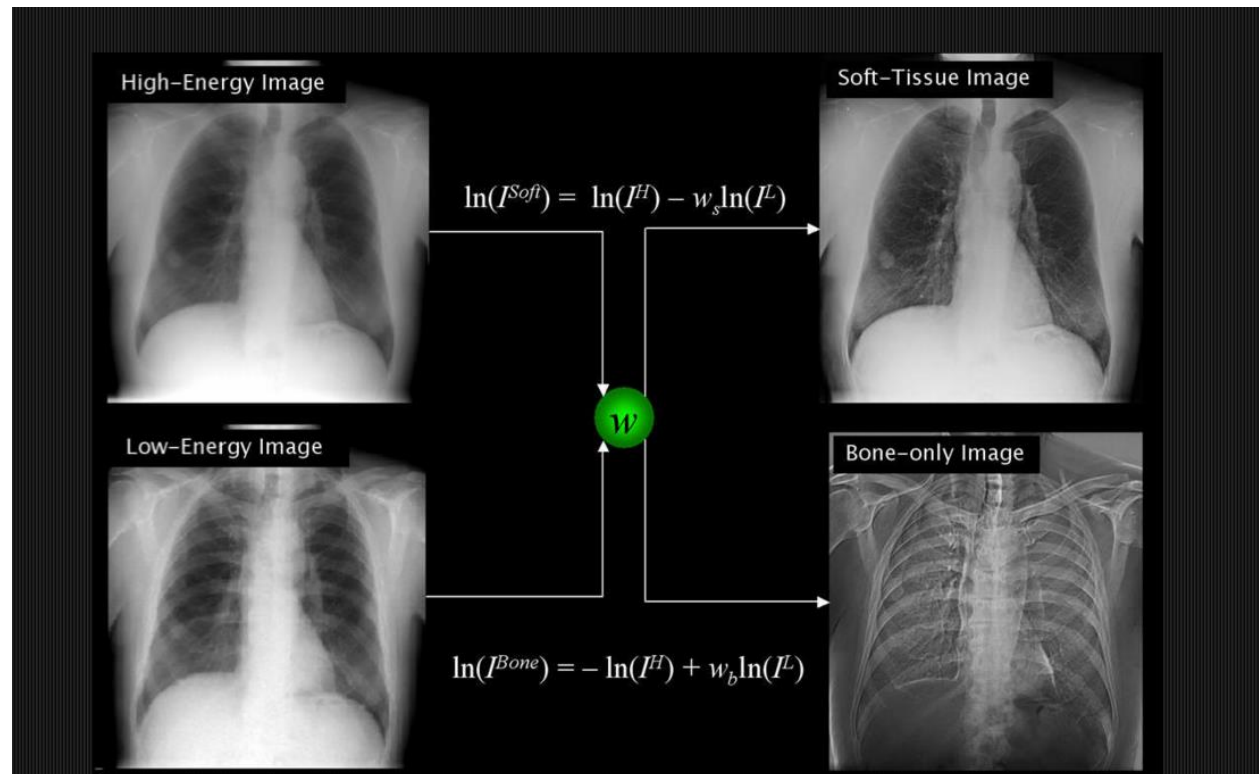
Strumentazione di nuova generazione in grado di fare imaging attraverso il conteggio e la discriminazione in energia di ogni singolo fotone anche in condizioni di flusso elevato.

GREAT CHALLENGE

at fluxes $> 10^6$ fotoni/mm² s !

Un esempio attuale: Dual Energy Imaging

120 kV



60 kV

Doppia scansione.....doppia dose !

Shkumat et al.: "Dual-energy optimization for chest imaging", Med. Phys. 34 (10), 2007

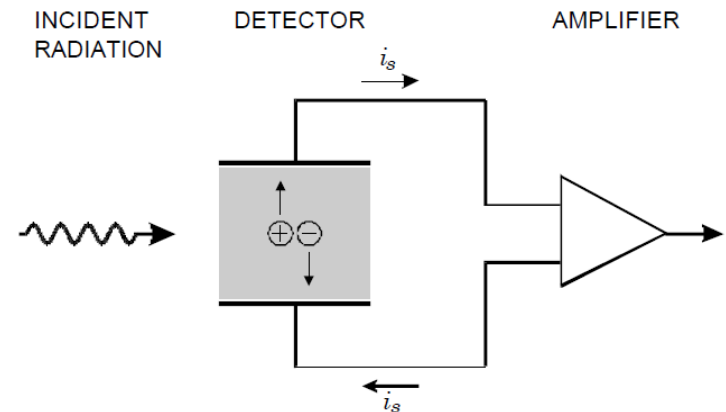
ERPC: Energy Resolved Photon Counting Systems

Elementi Chiave.....

DETECTOR

Direct Detector:

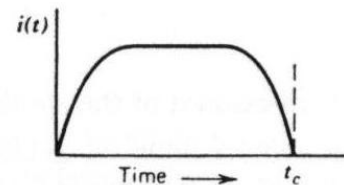
Radiation ionizes atoms in absorber, creating mobile charges.



READ-OUT ELECTRONICS

Pulse Mode Electronics:

Able to count each photon detected and binning its energy



$$\int_0^{t_c} i(t) dt = Q$$

ERPC: Energy Resolved Photon Counting Systems

Aspetti Critici....

- Crollo del rivelatore

Collasso del campo elettrico per via del flusso elevato (Radiation induced Polarization)

- Effetto Compton

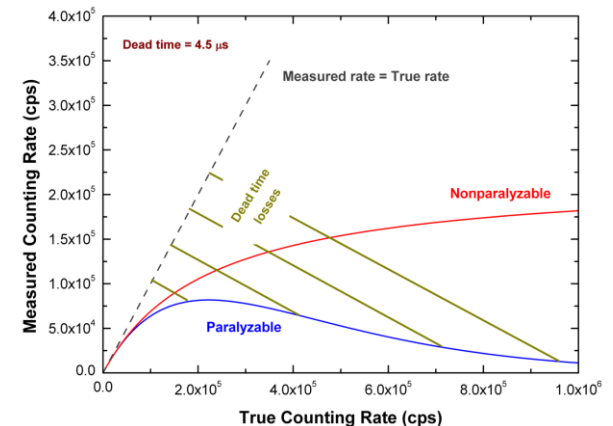
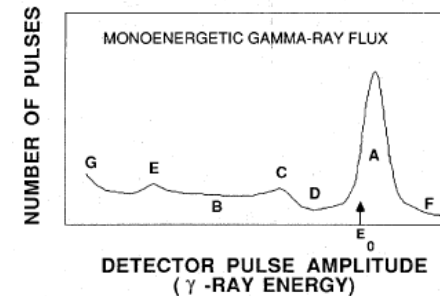
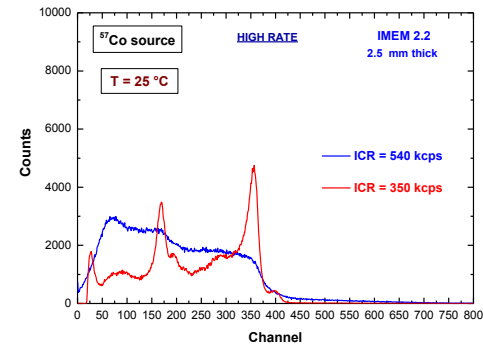
Segnali non più proporzionali all'energia del fascio X

- Dead time

Rate misurato diverso dal rate vero del fascio X

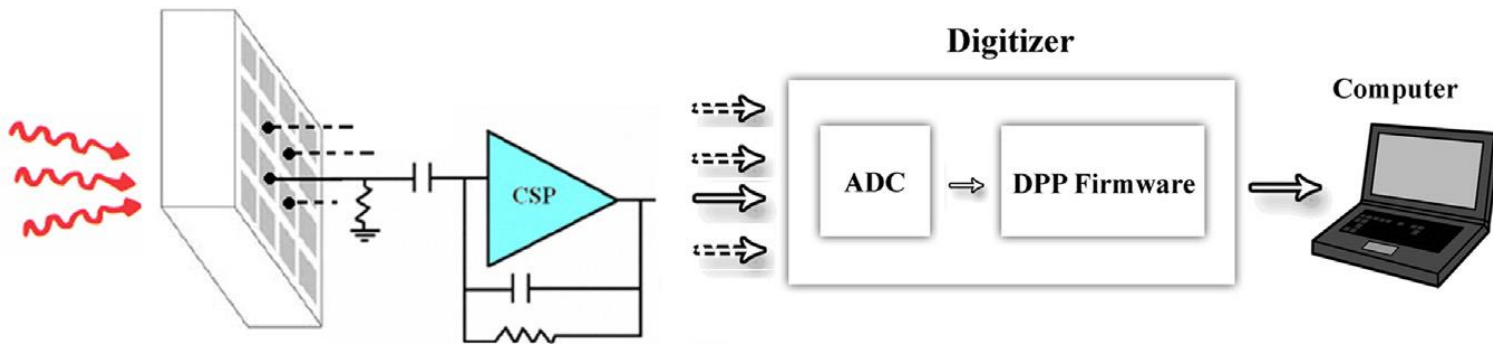
- Pulse Pile-up

Rate misurato diverso dal rate vero del fascio X; degradazione della risoluzione energetica, della calibrazione, etc...



Proposed ERPC systems at DiFC

Progetto PRIN2012 (2014-2017)

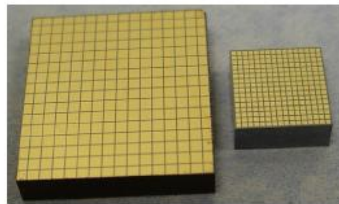


Materiali Innovativi:

Semiconduttori composti con alto Z ed ampia band-gap (CdTe, CdZnTe)

Ottime prestazioni

a temperatura ambiente



Elettronica Innovativa:

Elettronica digitale Pulse Mode per misure in condizioni di flusso elevate (> 1 Mcps)

Analisi multi-parametrica (conteggio, energia e shape) e migliori prestazioni rispetto all'elettronica analogica



Da più di un decennio, CdTe e CdZnTe detectors dominano nella room temperature X-ray detection



ELSEVIER

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 428 (1999) 38–44

**NUCLEAR
INSTRUMENTS
& METHODS
IN PHYSICS
RESEARCH**
Section A

CdTe and $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ for nuclear detectors: facts and fictions

P. Fougères^{a,*}, P. Siffert^b, M. Hageali^b, J.M. Koebel^b, R. Regal^b

^aEURORAD II-VI s.a., BP20, 67037 Strasbourg, France

^bPHASE, CNRS, BP 20, 67037 Strasbourg, France

Abstract

Both CdTe and $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ (CZT) can be considered from their physical properties as very good materials for room

CdTe e CdZnTe I

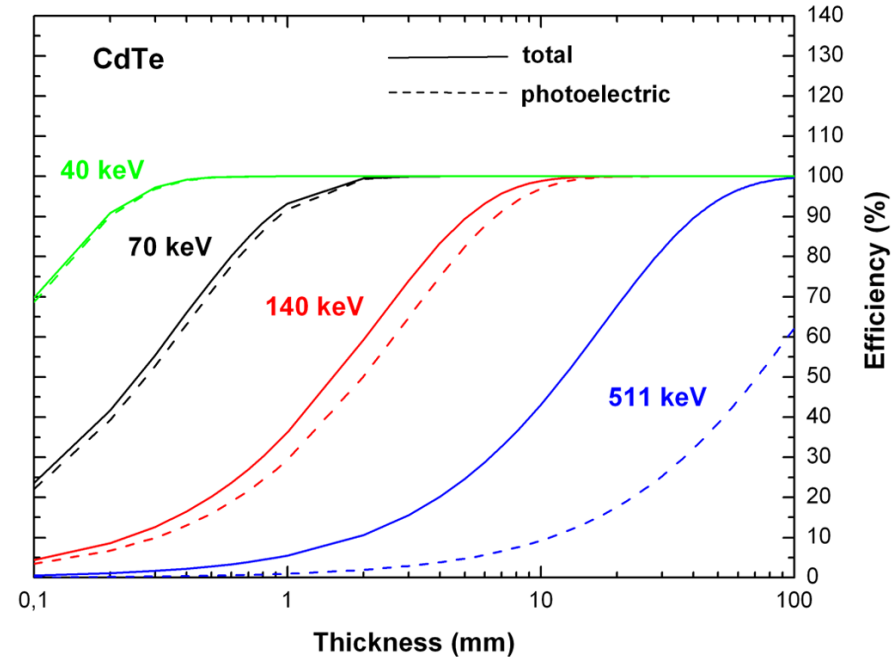
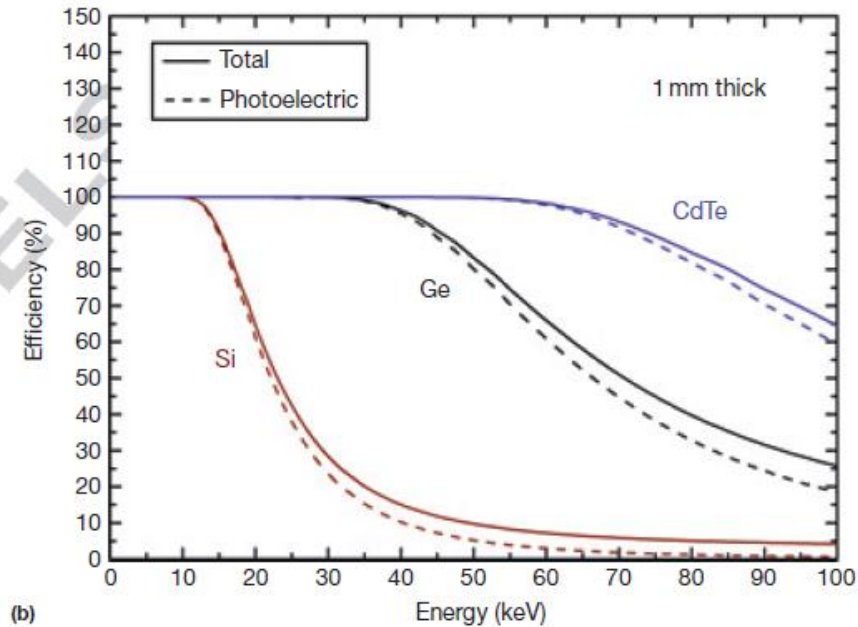
materiale	Si	Ge	GaAs	CdTe	Cd _{0,9} Zn _{0,1} Te	HgI ₂
density (g/cm ³)	2.33	5.33	5.32	6.20	5.78	6.40
atomic number (max)	14	32	33	52	52	80
band-gap (eV)	1.12	0.67	1.43	1.44	1.57	2.15
w (eV)	3.62	2.96	4.20	4.43	4.64	6.50
resistivity (Ω · cm)	10 ⁴	50	10 ⁷	10 ⁹	10 ¹⁰	10 ¹³
μ τ _e (cm ² / V)	> 1	> 1	8 · 10 ⁻⁵	3 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻⁴
μ τ _h (cm ² / V)	~1	> 1	4 · 10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	4 · 10 ⁻⁵

Alto Z → **Efficienza elevata, predominanza effetto Fotoelettrico su Compton**

Ampia band-gap → **Correnti di leakage < nA ; room temperature operation**

Trapping → **Riduzione risoluzione energetica ed accelerazione del crollo dei rivelatori ad alto rate**

CdTe e CdZnTe II



L. Abbene et al... CdTe detectors, in *Comprehensive Biomedical Physics*, (2014) Elsevier.

Digital Read-out Electronics



**Elettronica digitale innovativa,
sviluppata dal nostro gruppo, per
spettroscopia ed imaging ad alto rate**

**DPP
FIRMWARE**

Fast Shaping

- Pulse Detection and Triggering
- Fast Pulse Shape and Height Analysis (PSHA) on detected pulses
- Pile-up Rejection (PUR)

- Arrival Time distribution
- Input Counting Rate (ICR)
- Time Width distribution
- Energy Spectra with high throughput

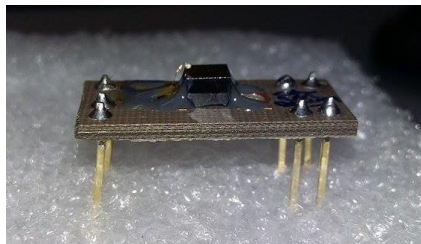
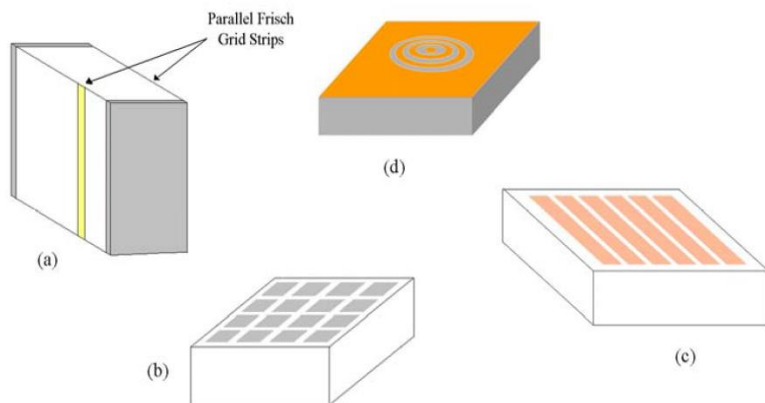
- Slow Pulse Shape and Height Analysis (PSHA) on pulses selected by the PUR

- Arrival Time distribution
- Peaking Time distribution
- Energy Spectra with high energy resolution

Slow Shaping

Attività Sperimentali I

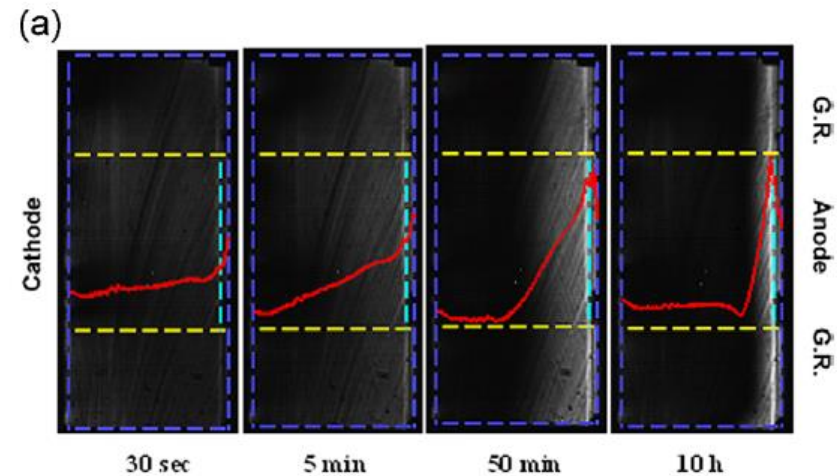
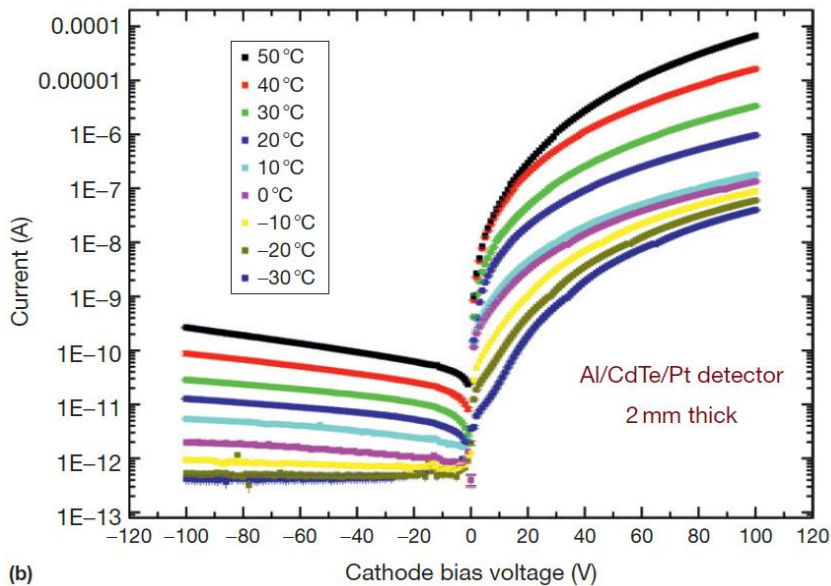
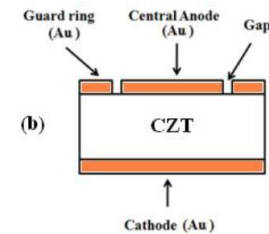
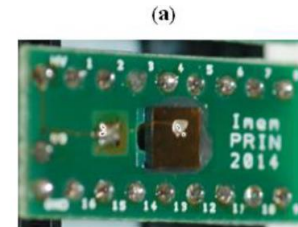
- **Progettazione e Realizzazione di Prototipi basati su CdTe e CZT**
- **Progettazione e realizzazione di Elettronica Digitale**
- **Ottimizzazione della ricetta ottimale (caratterizzazione elettrica, spettroscopica,.....)**
- **Analisi Dati (analisi bi-parametriche, segnali in coincidenza)**



Attività Sperimentali II

Caratterizzazione elettrica dei rivelatori

- Caratteristiche I-V a varie temperature
- Misure di campo elettrico
- Misure TOF per proprietà portatori di carica

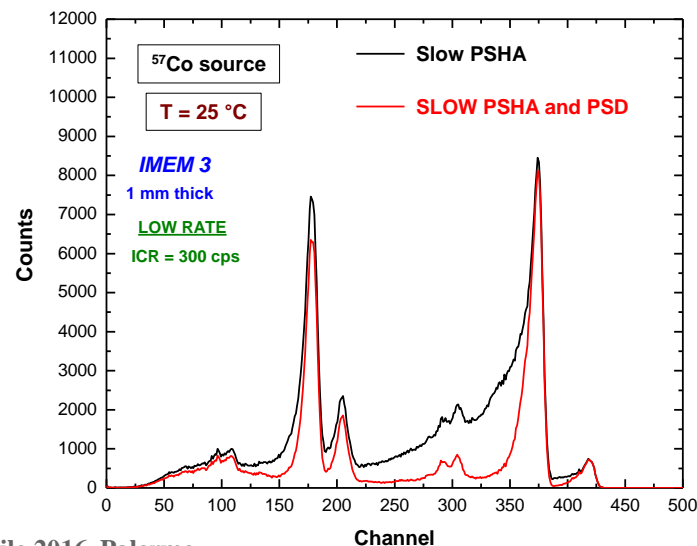
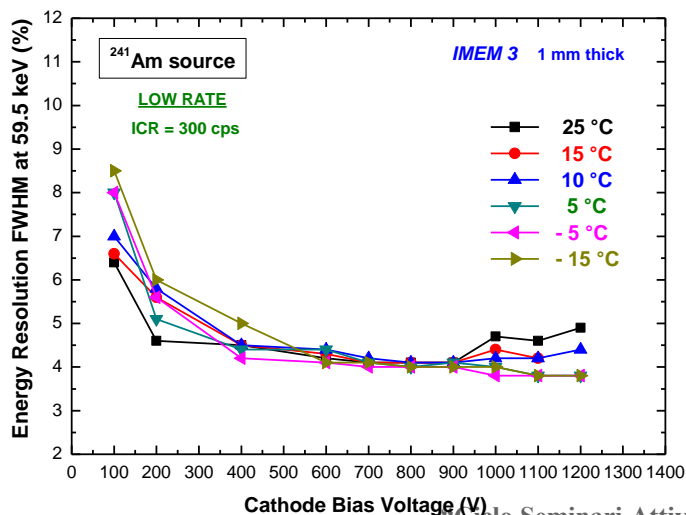
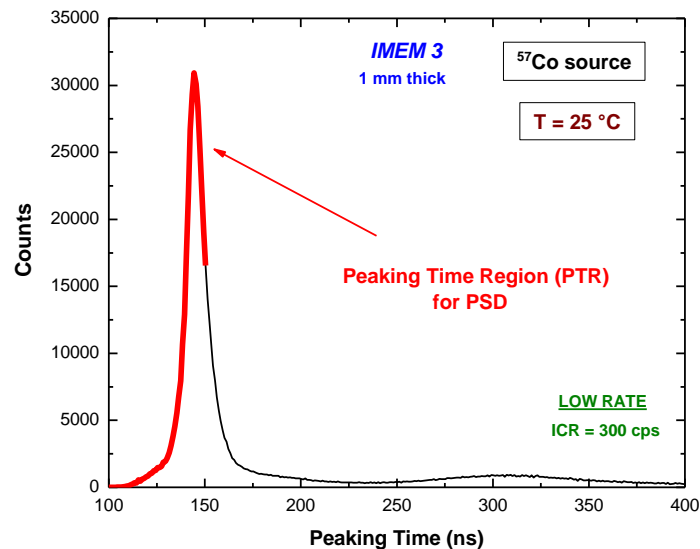


- A. Turturici et al. NIM A 795 (2015) 58.
- F. Principato et al. JAP 112 (2012) 094506.

Attività Sperimentali III

Caratterizzazione Spettroscopica (LOW-RATE)

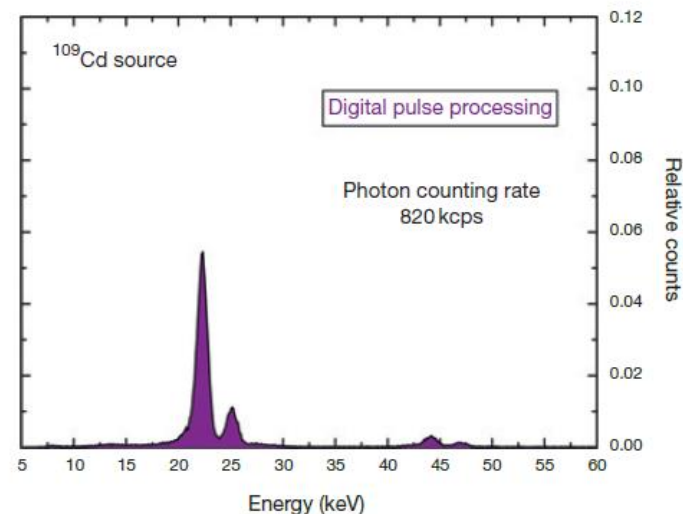
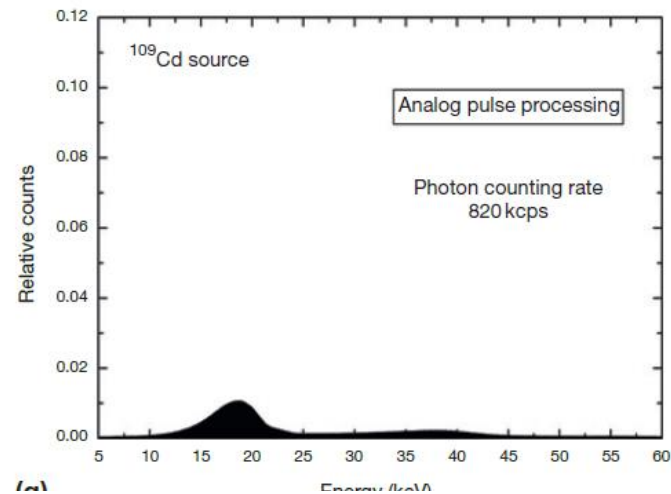
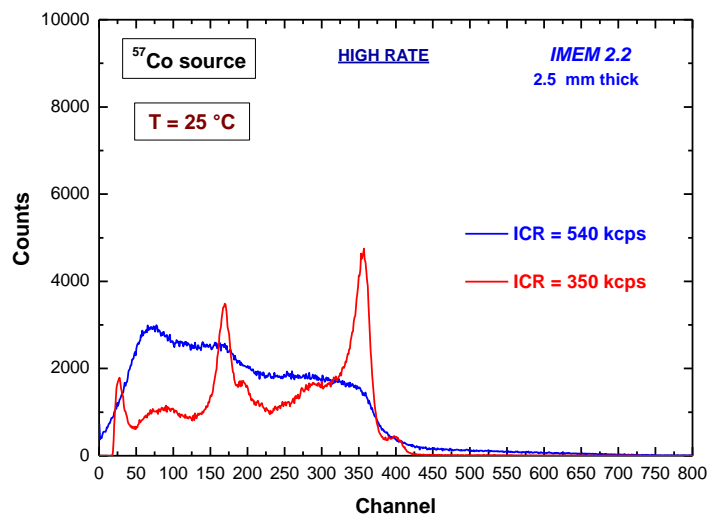
- Risposta a varie energie, temperature, tensioni,...(sorgenti radioattive monoenergetiche)
- Calibrazione
- Stabilità (Bias Induced Polarization)
- Misure in coincidenza temporale per charge sharing (20 ns time window)
- Analisi bi-parametriche (energia, peaking time)



Attività Sperimentali IV

Caratterizzazione Spettroscopica (HIGH-RATE)

- Risposta con sorgenti, fasci X e sincrotrone
- Stabilità (Radiation Induced Polarization)
- Studio del collasso dei rivelatori
- Misure di tempo morto e rate vero



Laboratori

- **Rivelatori ed Elettronica, Ed. 18 (Resp. L. Abbene)**
- **Fisica della Materia, Ed. 18 (Resp. F. Principato)**
- **LAX Livio Scarsi, Ed. 18 (Resp. F. Principato)**



Progetti e Collaborazioni

PRIN MIUR 2012 (2014-2017) (P. I.: L. Abbene)

Development of advanced room temperature spectrometers for high flux X-ray colour imaging (1 -140 keV)

Research Units:

- DiFC, University of Palermo, Italy (L. Abbene, G. Gerardi, F. Principato)
- IMEM/CNR, Parma, Italy (A. Zappettini, D. Calestani, G. Benassi, N. Zambelli)
- IASF/INAF, Bologna, Palermo, Italy (E. Caroli, N. Auricchio, S. Del Sordo)

Collaborations:

- Rutherford Appleton Laboratory and University of Surrey, UK
(P. Seller, M.C. Veale, M. Wilson)
- Institute of Physics of Charles University, Prague, Czech Republic,
(J. Franc, R. Grill, V. Dedic)

References

- **G. F. Knoll**, Radiation Detection and Measurement, 3rd Edition, *Wiley* 2000.
- **K. Debertin and R.T. Helmer** - "Gamma and X-Ray Spectrometry with Semiconductor Detectors" – North Holland Publishers (Amsterdam 1988).
- **Del Sordo S., Abbene L., Caroli E., Mancini A. M., Zappettini A., Ubertini P.** "Progress in the Development of CdTe and CdZnTe Semiconductor Radiation Detectors for Astrophysical and Medical Applications" *Sensors*, 9, pp. 3491-3525, (2009)
- **Abbene L. and Del Sordo S.** "CdTe detectors" *Comprehensive Biomedical Physics*, Elsevier (2014).