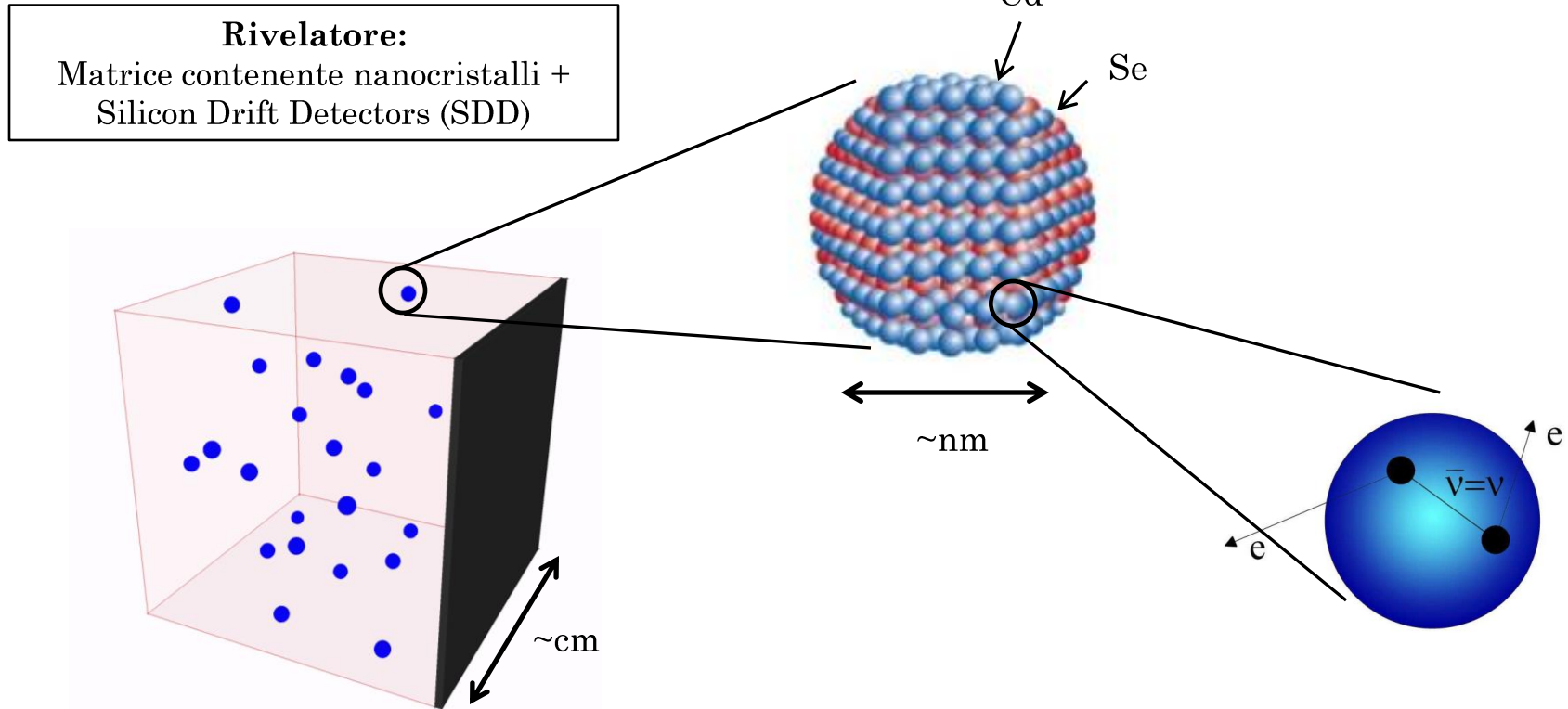

ESQUIRE

Experiment with Scintillating Quantum dots
for Ionizing Radiation Events

ESQUIRE

Lo scopo finale di ESQUIRE è dimostrare la possibilità di usare un **nuovo approccio** nello studio degli eventi rari come il **Decadimento Doppio Beta senza emissione di neutrini**.



Obiettivo principale:

realizzare uno scintillatore con una **buona risoluzione energetica** e **facilmente scalabile in massa**.



Inoltre, essendo un approccio completamente nuovo, gli studi condotti in ESQUIRE potrebbero aprire la strada per futuri sviluppi di nuovi dispositivi nel campo dei rilevatori di radiazioni.

Quantum Dots (QD)

Nanocristalli di materiale semiconduttore con diametri di 2-10 nm



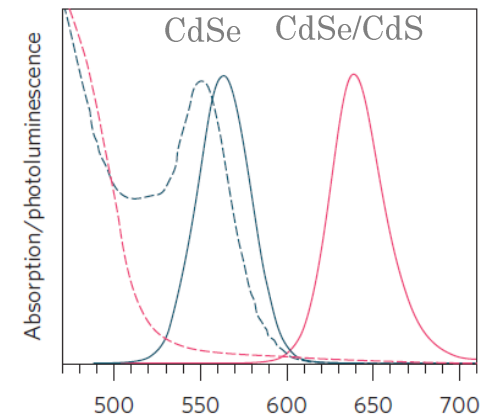
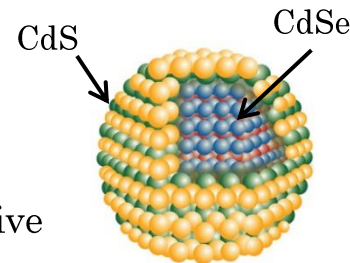
- Band gap regolabile attraverso le dimensioni dei dot
- Spettro di emissione molto stretto
- Elevata efficienza di conversione in luce
- Recente utilizzo in una vasta gamma di applicazioni
- Processo di produzione relativamente semplice



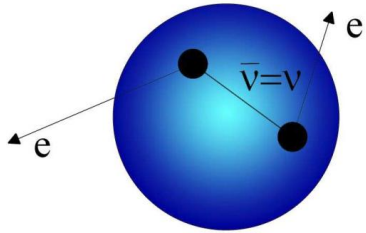
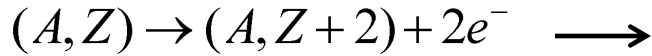
Particolarmente interessanti risultano essere i core/shell Quantum Dots di **CdSe/CdS** e **CuInSe₂**



- Elevato Stokes shift (basso autoassorbimento)
- Ridotta probabilità di ricombinazioni Auger nonradiative
- Photo-stability
- Indicazioni preliminari di elevata resa in luce per interazione di raggi X e gamma
- **¹¹⁶Cd e ⁸²Se sono due tra gli isotopi candidati al doppio decadimento beta senza emissione di neutrini (0νDBD) più interessanti**



Decadimento Doppio Beta senza neutrini (0νDBD)



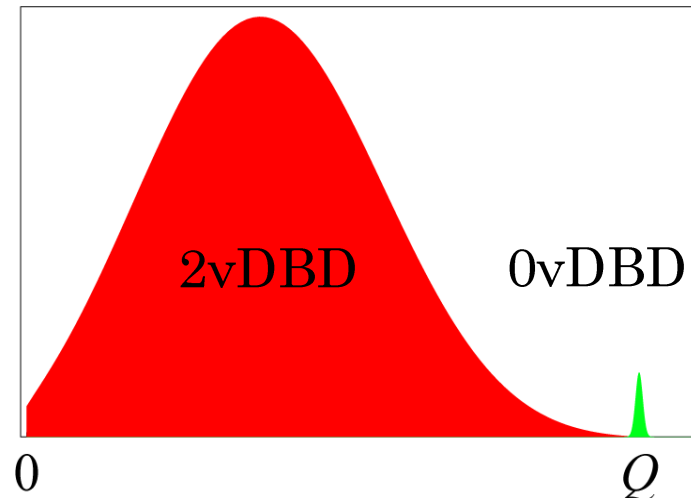
- Proibito nel Modello Standard ($\Delta L=2$)
- Può avvenire solo se il neutrino è una particella di Majorana
- Il neutrino deve avere massa non nulla
- Possibile per ~ 35 nuclei ma solo pochi veramente interessanti
- Processo estremamente raro ($T_{1/2}^{0\nu} > 10^{24} - 10^{25}$ y)

| 0νDBD | Q [keV] | i.a. [%] |
|-------------------|---------|----------|
| ^{130}Te | 2528 | 34 |
| ^{116}Cd | 2814 | 7.5 |
| ^{82}Se | 2996 | 8.7 |
| ^{100}Mo | 3034 | 9.6 |

Massa effettiva del neutrino:

$$\langle m_\nu \rangle = \frac{m_e}{\sqrt{F_N \cdot T_{1/2}^{0\nu}}}$$

F_N = fattore di merito nucleare
(elemento di matrice nucleare + spazio fasi)



Ricerca sperimentale del $0\nu\text{DBD}$

Sensibilità sperimentale nella ricerca di eventi rari: half-life corrispondente al massimo segnale che può essere osservato ad un determinato C.L..

$$S_B \propto \sqrt{\frac{M \cdot T}{B \cdot \Delta}}$$

Parametri sperimentali critici:

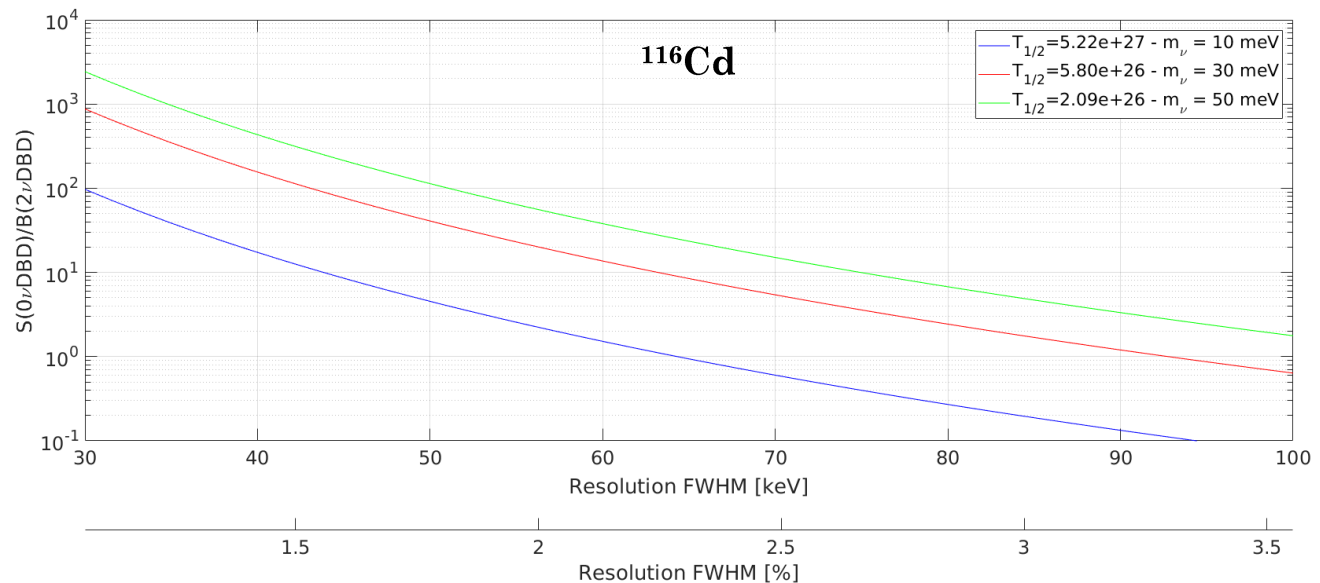
- Massa isotopo (M)
- Risoluzione energetica (Δ)
- Background (B)



Scalabilità della massa a basso costo e abbondanze isotopiche elevate sono obbligatorie per gli esperimenti di prossima generazione

Risoluzione energetica del % necessaria per non essere dominati dal fondo dovuto al $2\nu\text{DBD}$

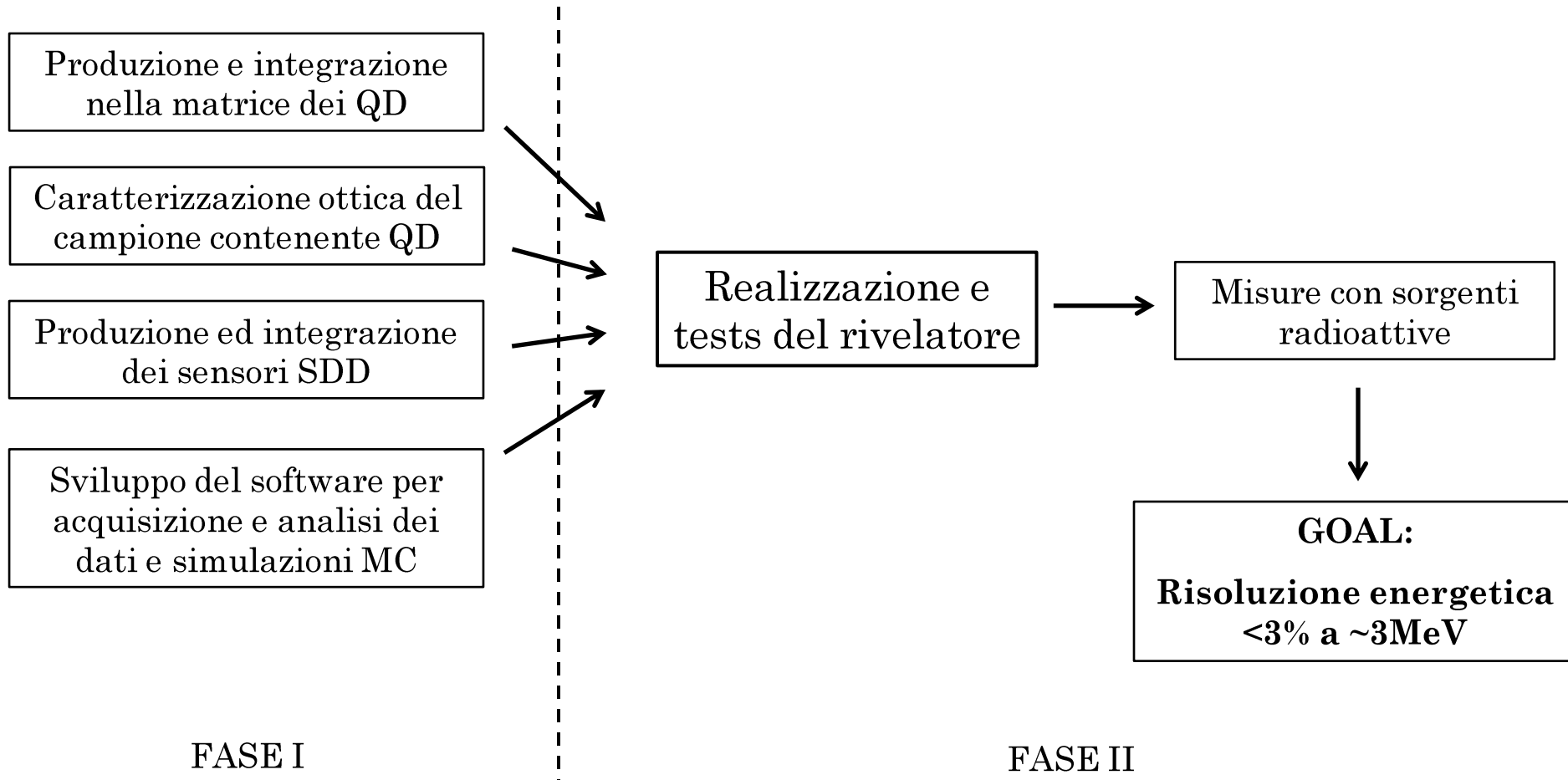
$$\frac{S}{B} = \frac{m_e}{7} \frac{T_{1/2}^{2\nu}}{T_{1/2}^{0\nu}} \frac{Q^5}{\Delta E^6}$$



Il progetto ESQUIRE

OBIETTIVO

Misura della resa in luce e della conseguente **risoluzione energetica** ottenibile accoppiando un campione con dimensioni del cm e contenente **QD** a sensori con elevata efficienza quantica (**SDD**).



Il campione con Quantum Dots @ Scienza dei materiali, UniMiB

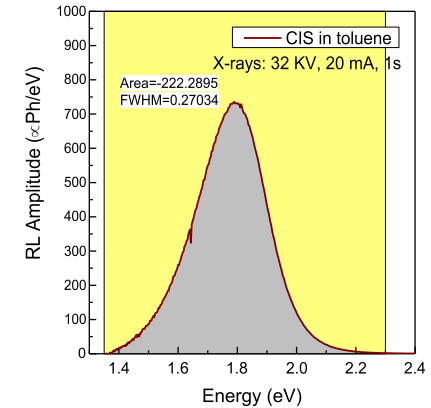
Produzione, integrazione e ottimizzazione del campione.



Acquisto di vari QD contenenti nuclei candidati al 0vDBD (^{82}Se , ^{116}Cd , ^{130}Te)

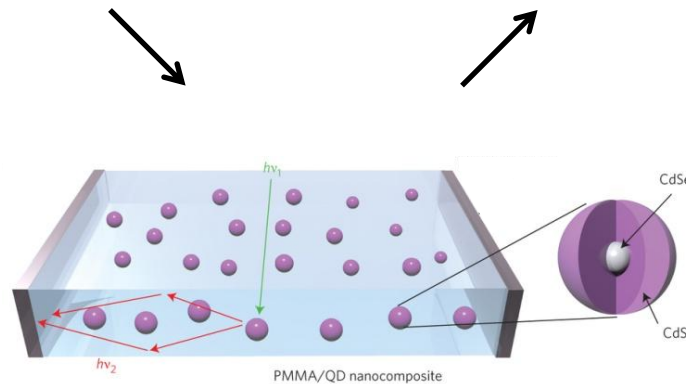
CdSe/CdS - CdTe/CdS -
CuInSe₂

←
se necessario



Caratterizzazione ottica (10-320 K) e selezione dei campioni:

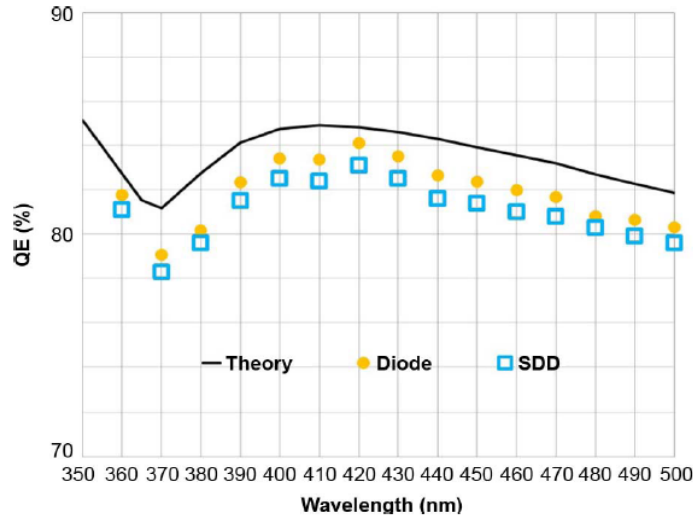
- Spettro di assorbimento
- Radio-luminescenza
- Foto-luminescenza (in stato stazionario e risolta in tempo)



Integrazione dei QD in matrici con differente:

- composizione per un migliore accoppiamento a SDD (toluene, PMMA,)
- concentrazione di QD (5-40%)
- dimensioni

Produzione (FBK) ed integrazione dei sensori SDD.

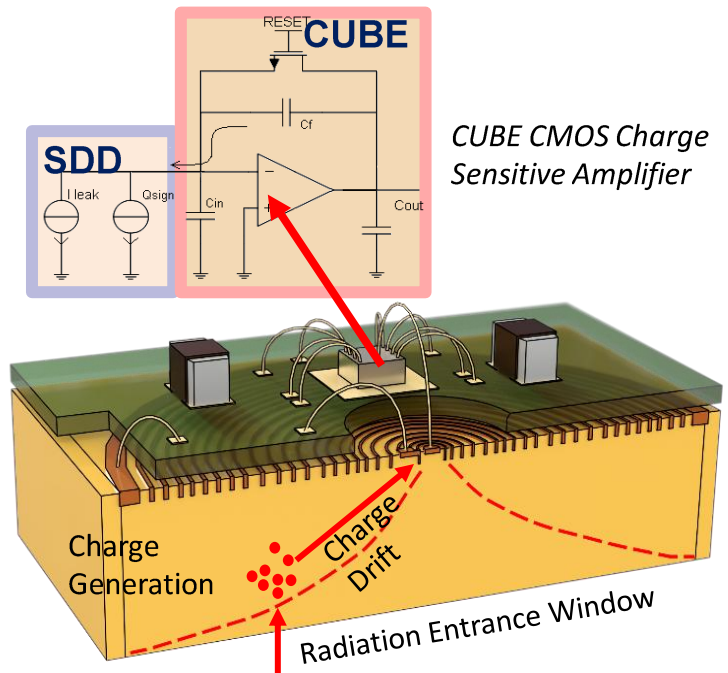


Efficienza quantica dei
fototubi commerciali ~ 35%

Le SDDs hanno efficienza quantica più elevate (~80%), basso rumore elettronico e non hanno allargamento intrinseco dovuto alla moltiplicazione.

Progressi nell'utilizzo di SDD come fotorivelatori per scintillatori:

- Identificazione della migliore elaborazione del segnale massimizzando S/N
- Indicazioni per l'utilizzo di processamento digitale o ASICs per esperimenti su larga scala
- Array di SDD *vs* singola cella di grandi dimensioni
- QE massima alle lunghezza d'onda di emissione dei QD selezionati
- Affidabilità nell'accoppiamento ottico degli SDD agli scintillatori in termini di robustezza



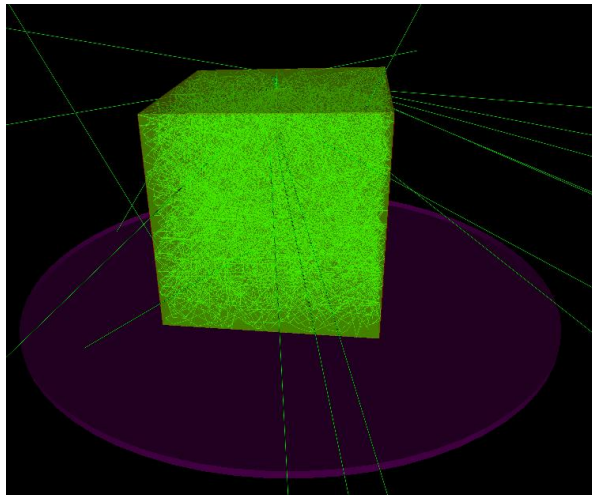
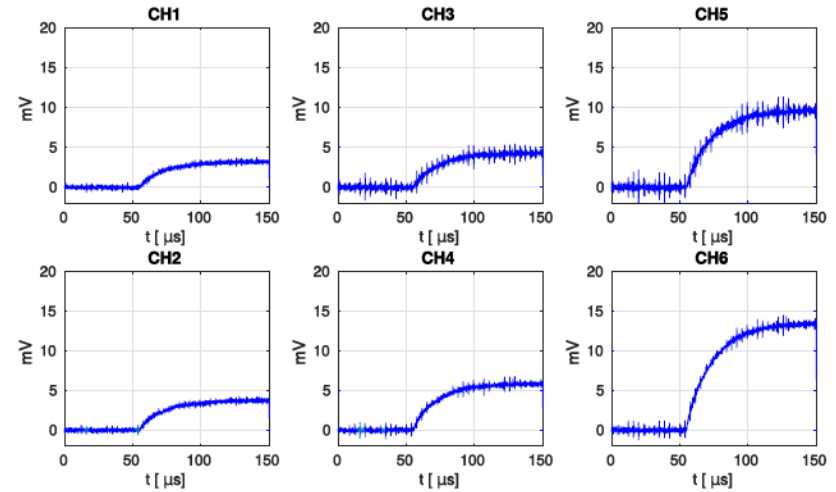
CUBE CMOS Charge Sensitive Amplifier

Software per acquisizione e analisi dati e simulazioni MC.

Acquisizione & analisi dati

Array SDD \longrightarrow Preamp \longrightarrow ASICs \longrightarrow MCA

- Topologia evento \longleftarrow
- Autoassorbimento
- Light Yield
- Quenching Factor

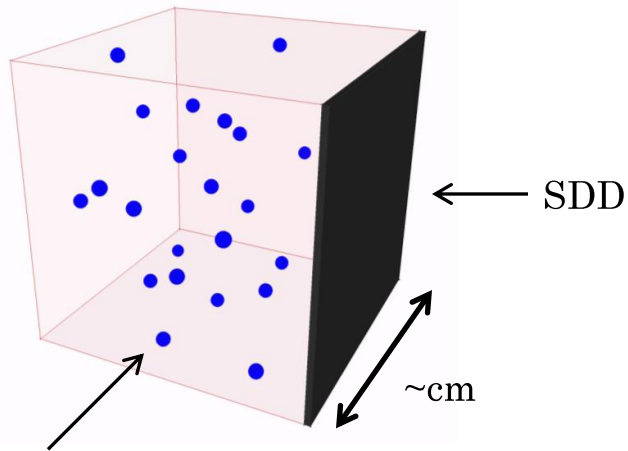


Simulazioni MC

Sviluppo di codici MC basati su Geant4 per caratterizzazione ed ottimizzazione del rivelatore attraverso lo studio della produzione e propagazione della luce di scintillazione.

Realizzazione e tests del rivelatore .

Costruzione del singolo modulo (QD+SDD) e dell'apparato sperimentale.
Ottimizzazione della raccolta di luce



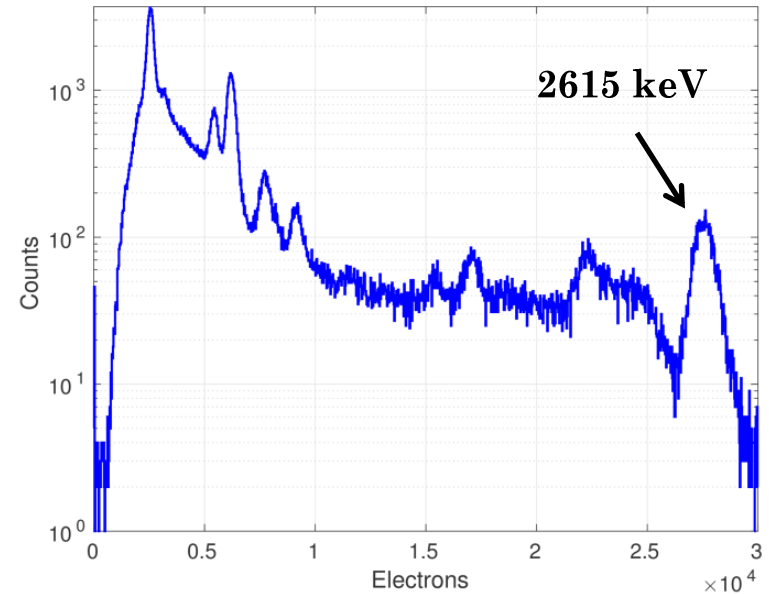
Campione contenente QD

Misure con sorgenti radioattive
(X, γ e α esterne)

Alcuni campioni saranno prodotti con
contaminazioni α e β interne



Data analysis
(risoluzione energetica e pulse shape)



Timeline

| Project years | | Y1 | | | Y2 | | | Y3 | | |
|---|---|----|---|----|----|---|----|----|---|----|
| Activity | Tasks | 4 | 8 | 12 | 4 | 8 | 12 | 4 | 8 | 12 |
| Scintillating samples production + Optical measurements | Production of QD with different characteristics | ■ | ■ | | | | | | | |
| | Samples preparation with different concentration, dimensions, ... | | ■ | ■ | | | | | | |
| | Optical characterization of the different samples | | | ■ | ■ | | | | | |
| | Production of the selected sample | | | | | | ■ | | | |
| | Final samples preparation | | | | | | | ■ | ■ | |
| Sensors development | Integration with electronics and performances tests of FBK SDD arrays 3x3 | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| | Production run of FBK SDDs specifically developed for ESQUIRE (optimization of scintillator readout, reliability) | | | | ■ | ■ | | | | |
| | Integration and performances tests of all the sensors | | | | | | ■ | | | |
| Detector module (scintillating material + light sensor) | Setup construction | ■ | ■ | | | | | | | |
| | Data acquisition and analysis software development | | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | Test of the selected samples | | | | | ■ | | | | |
| | Light collection optimization | | | | | | ■ | | | |
| | Optical studies (Topology studies, Light Yield, Quenching factor, ...) | | | | | | ■ | ■ | | |
| | Measurement with the final samples | | | | | | | | ■ | ■ |
| | Data Analysis | | | | | | | | ■ | ■ |
| | MC simulation software development | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| | Test and validation of MC software | | | | | ■ | ■ | | | |

Anagrafica 2018

INFN Milano – Bicocca

| | | |
|----------------------|---------------------|------|
| Mattia Beretta | Ph.D. Student | 20 % |
| Sergio Brovelli | Associate Professor | 50 % |
| Chiara Brofferio | Associate Professor | 20 % |
| Silvia Capelli | Associate Professor | 20 % |
| Francesca Cova | Ph.D. Student | 30 % |
| Luca Gironi | Researcher | 40 % |
| Mauro Fasoli | Researcher | 50 % |
| Anna Graziella Vedda | Full Professor | 30 % |

Total in FTE 2.6

INFN Milano

| | | |
|---------------|----------------|------|
| Carlo Fiorini | Full Professor | 30 % |
| G. Bellotti | Ph.D. Student | 70 % |
| G. Montagnani | Ph.D. Student | 50 % |

Total in FTE 1.5
