

# SCINTILLATORI ORGANICI PER LA RIVELAZIONE DI RADIAZIONE IONIZZANTE E DI NEUTRONI TERMALIZZATI



---

Studenti: N. Zancopè, G. Sartori, F. Simioni, D. Tietto, A. Salvato, O. Volpato  
Tutor: F. Gramegna, S. M. Carturan, M. Cinausero, M. Cicerchia, M. Vesco

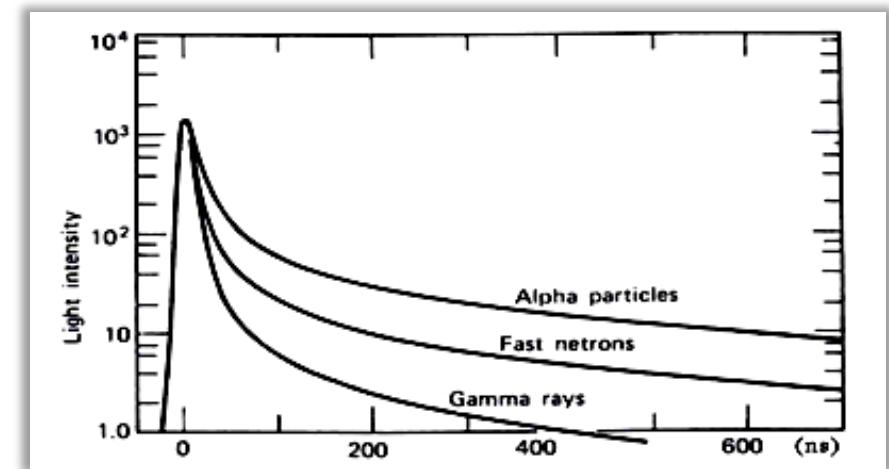
# Schema della presentazione

1. Introduzione interazione radiazione – materia
2. Principi di scintillazione
3. Sintesi degli scintillatori (organici e inorganici)
4. Misure con sorgenti radioattive
5. Misure di fluorescenza
6. Conclusioni

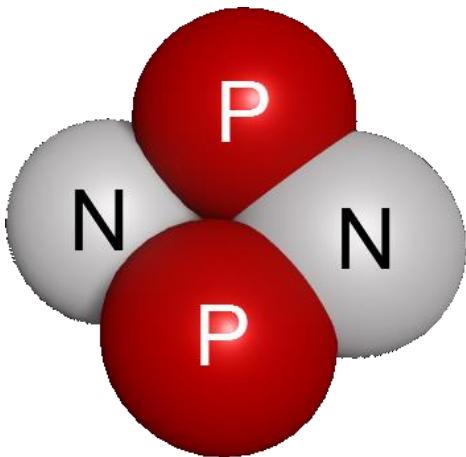
# Cos'è uno scintillatore?

Uno scintillatore è un materiale che, quando colpito da radiazioni, emette luce.

- $E_{\text{assorbita}} \propto I_{\text{emessa}}$
- Dallo studio dell'evoluzione temporale dell'emissione di luce, possiamo risalire al tipo di particella.
- Radiazioni rilevabili:
  - particelle cariche
  - raggi  $\gamma$
  - neutroni

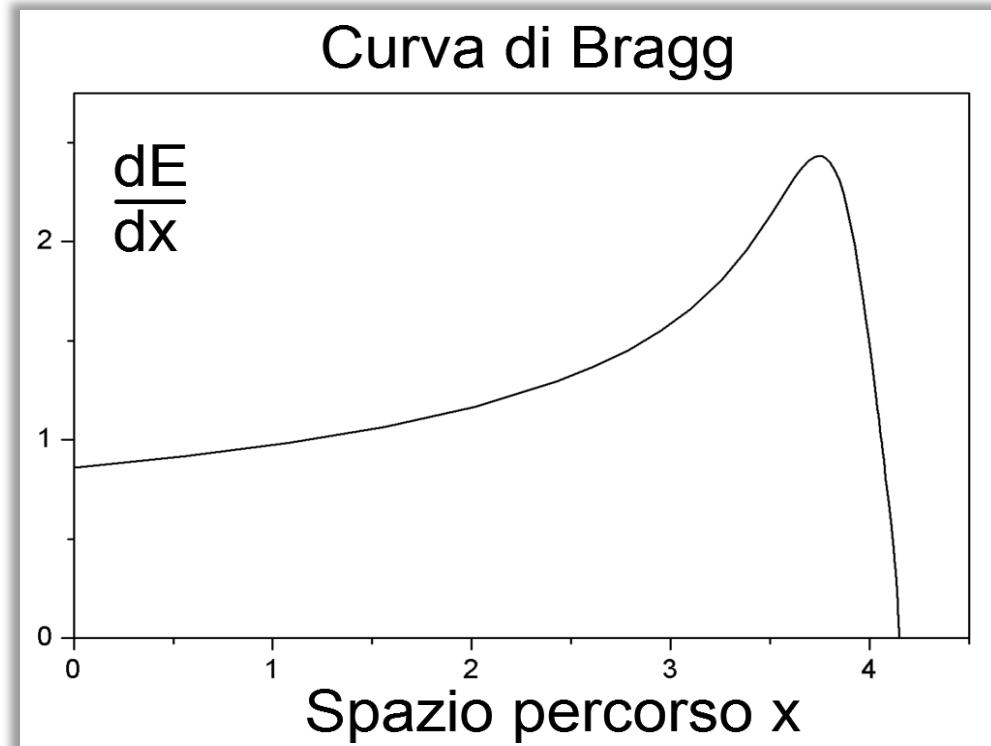


# Particelle $\alpha$

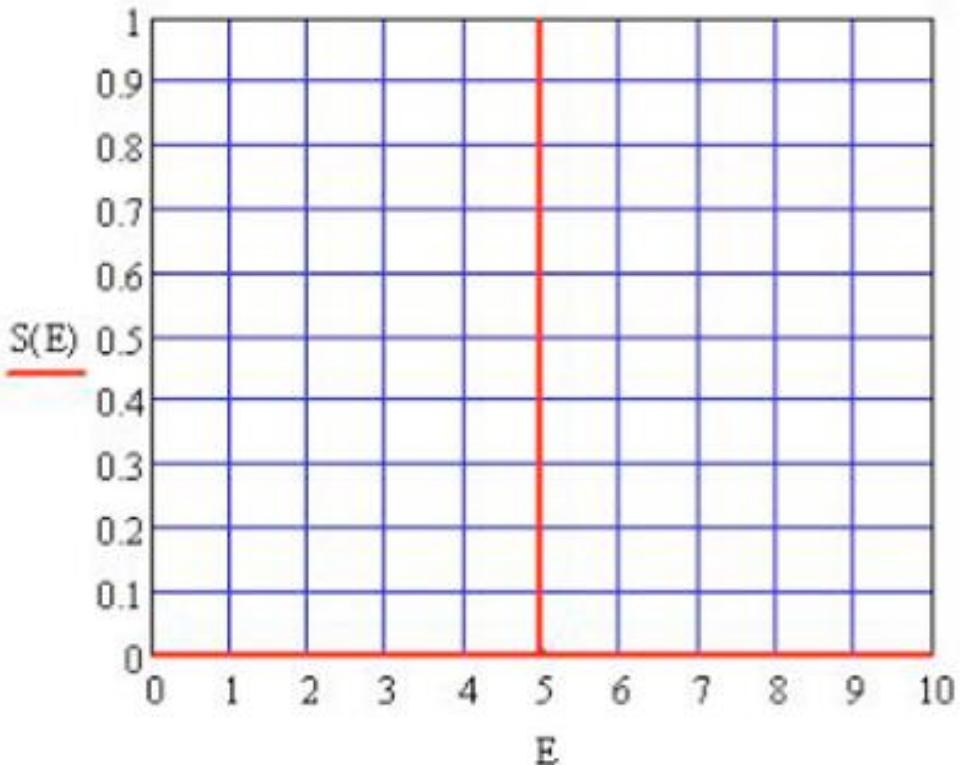


- Sono nuclei di  ${}^4\text{He}^{2+}$ ,  $2\text{p} + 2\text{n}$
- Vengono emessi in decadimenti di nuclei instabili  
es.  ${}^{241}\text{Am} \rightarrow {}^{237}\text{Np} + \alpha$

- L' $\alpha$  interagisce con gli elettroni, ionizzando le molecole; l'energia ceduta segue la curva di Bragg;
- Gli elettroni liberi urtano gli altri elettroni, eccitandoli;
- Gli elettroni, ritornando allo stato fondamentale, cedono l'energia acquistata sotto forma di fotoni.

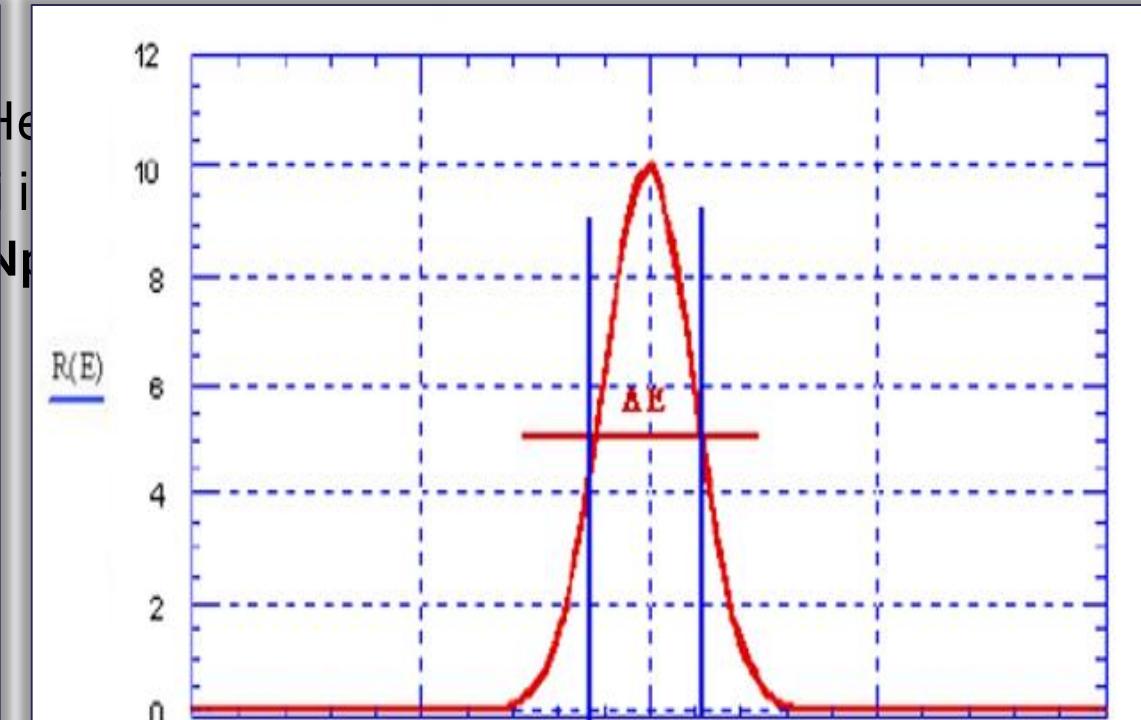


## Particelle e



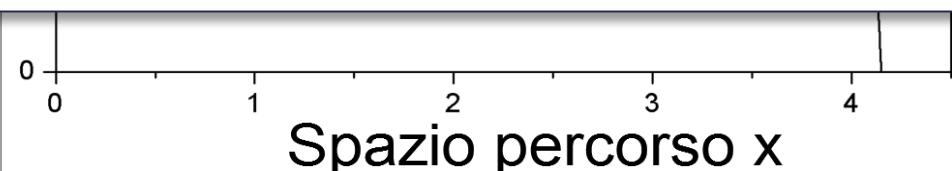
spettro monocromatico  $S(E)$  p o alfa

- Gli elettroni, ritornando allo stato fondamentale, cedono l'energia acquistata sotto forma di fotoni.



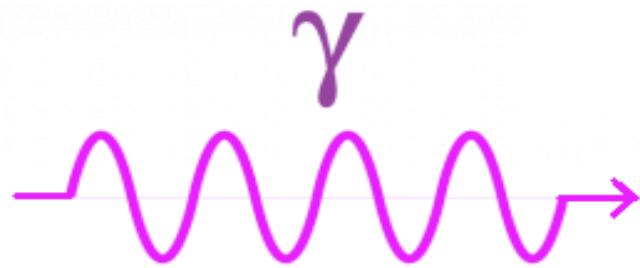
il significato della grandezza FWHM

funzione di risposta  $R(E)$  gaussiana



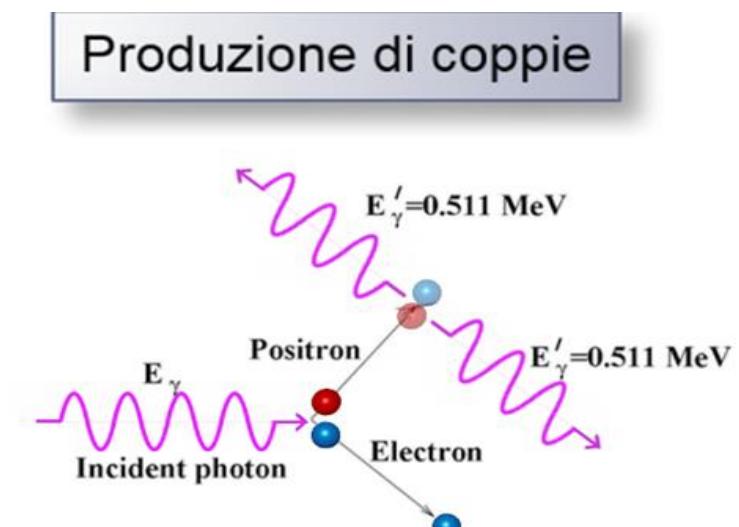
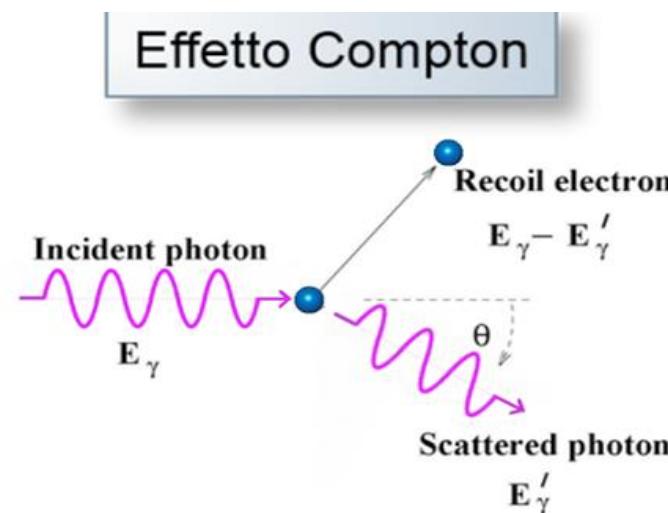
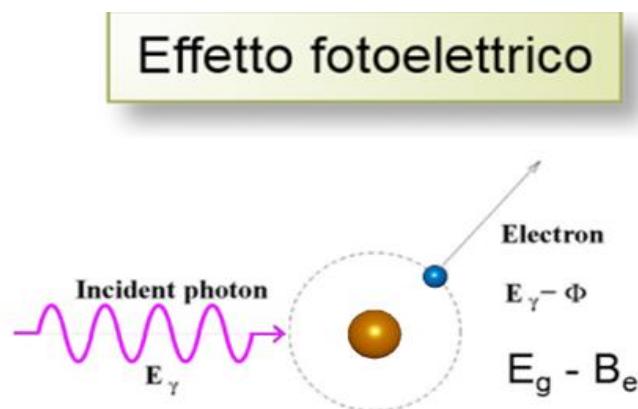
Spazio percorso x

# Raggi $\gamma$

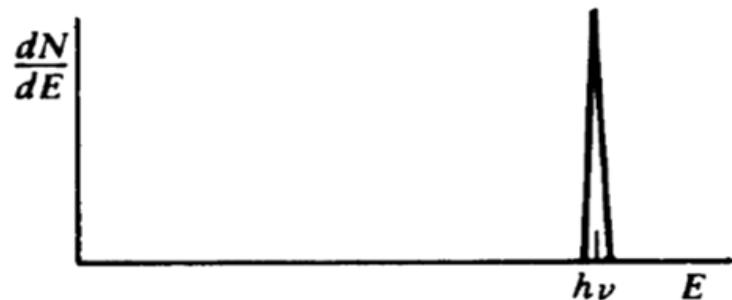


- Sono onde elettromagnetiche (come la luce) ad alta energia.
- Prodotti dalla diseccitazione di livelli nucleari;  
es:  $^{60}\text{Co} \rightarrow ^{60}\text{Ni} + \text{e}^- + \bar{\nu}_{ei}$   
il  $^{60}\text{Ni}$  ottenuto è in uno stato eccitato, per cui rilascia due raggi  $\gamma$

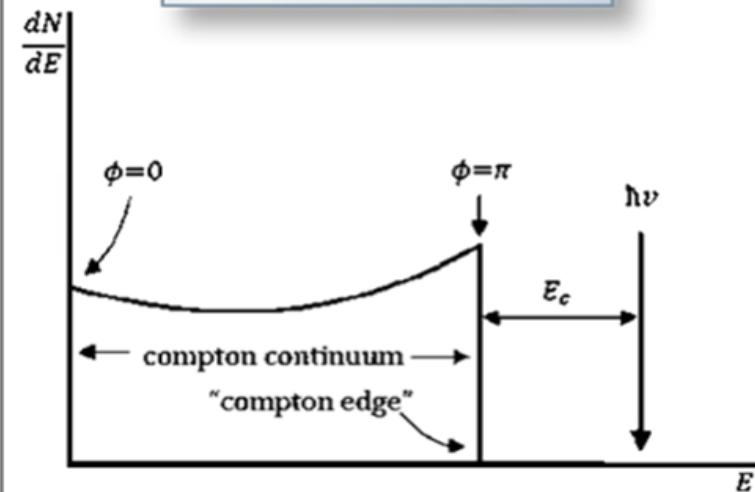
Tre tipi di interazioni con la materia:



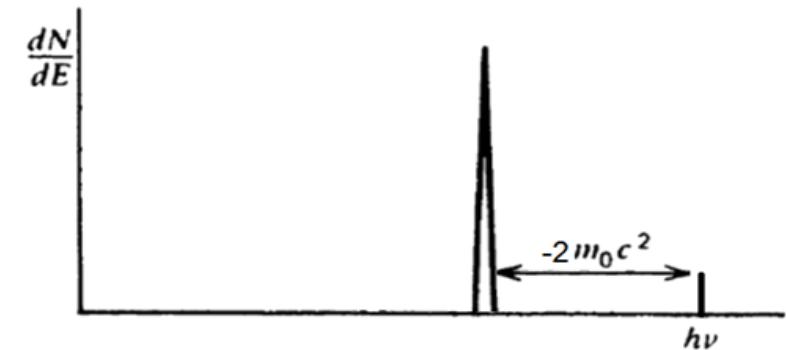
## Effetto fotoelettrico



## Effetto Compton

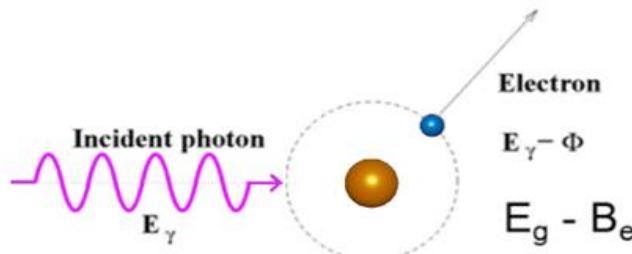


## Produzione di coppie

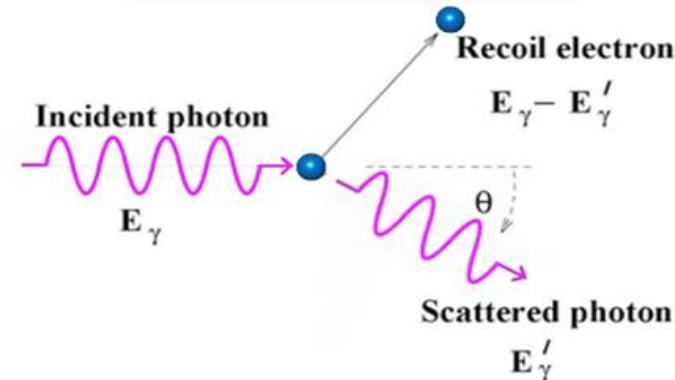


Tre tipi di interazioni con la materia:

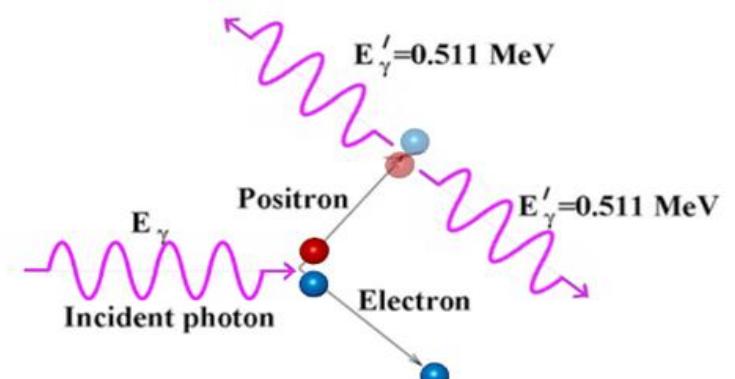
## Effetto fotoelettrico



## Effetto Compton



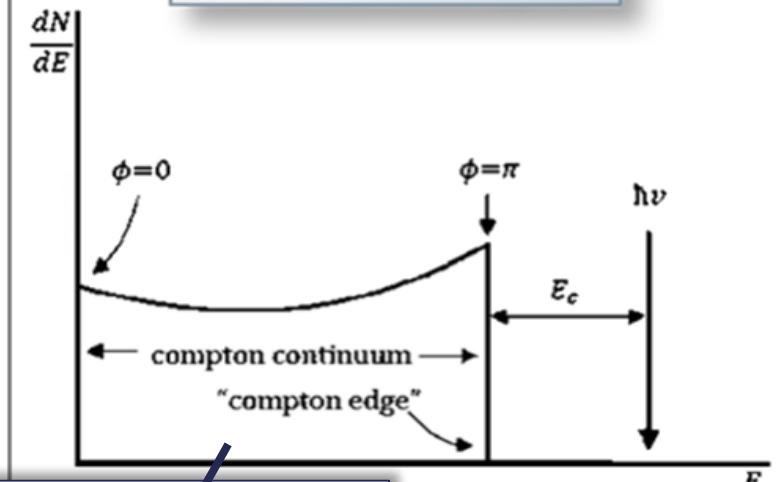
## Produzione di coppie



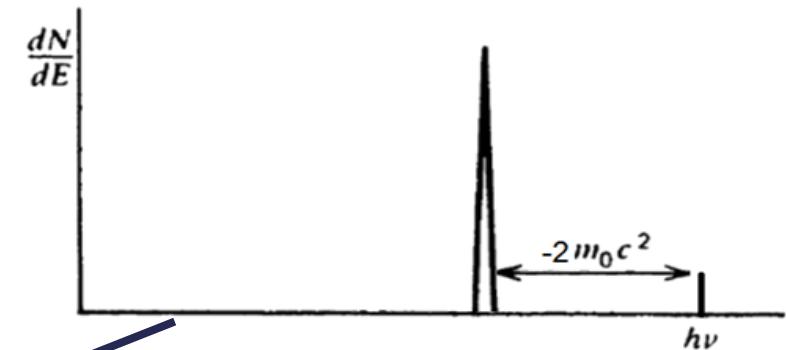
## Effetto fotoelettrico



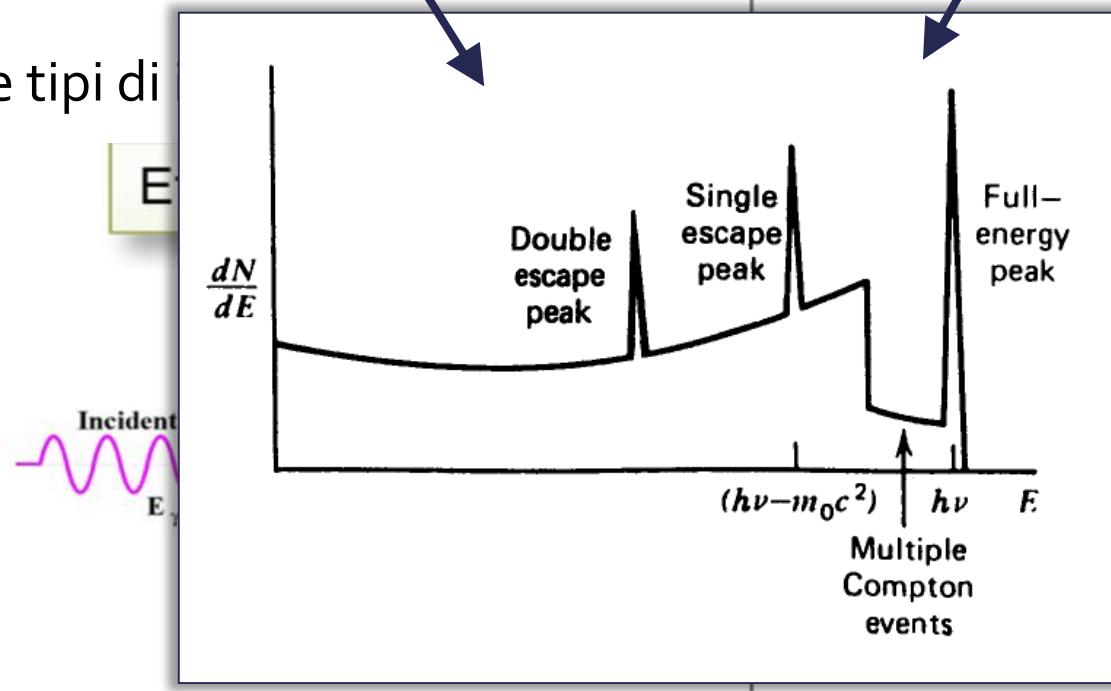
## Effetto Compton



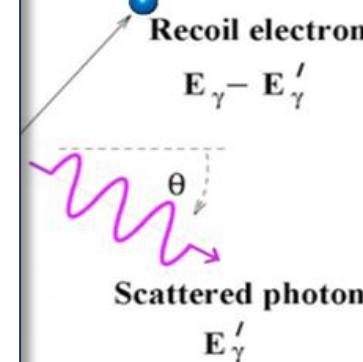
## Produzione di coppie



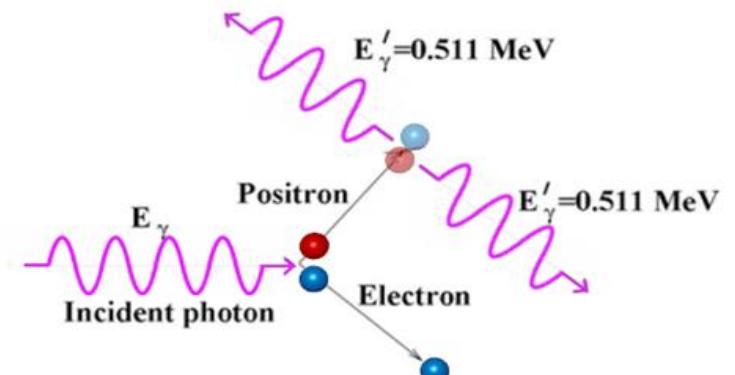
Tre tipi di



## Compton



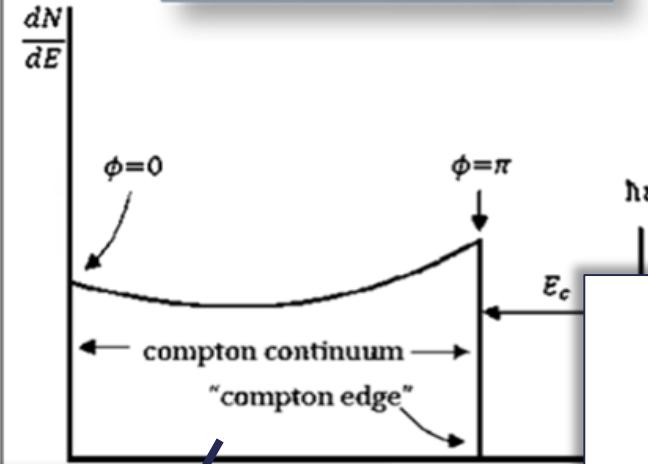
## Produzione di coppie



## Effetto fotoelettrico



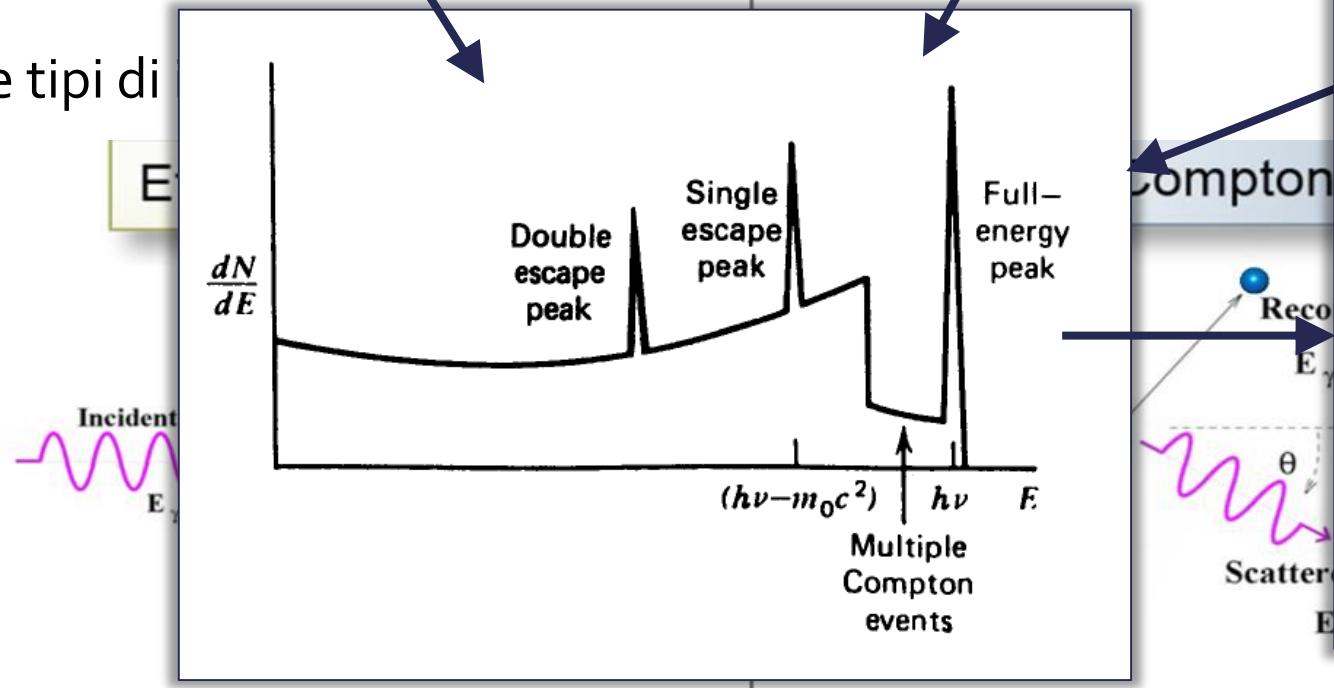
## Effetto Compton



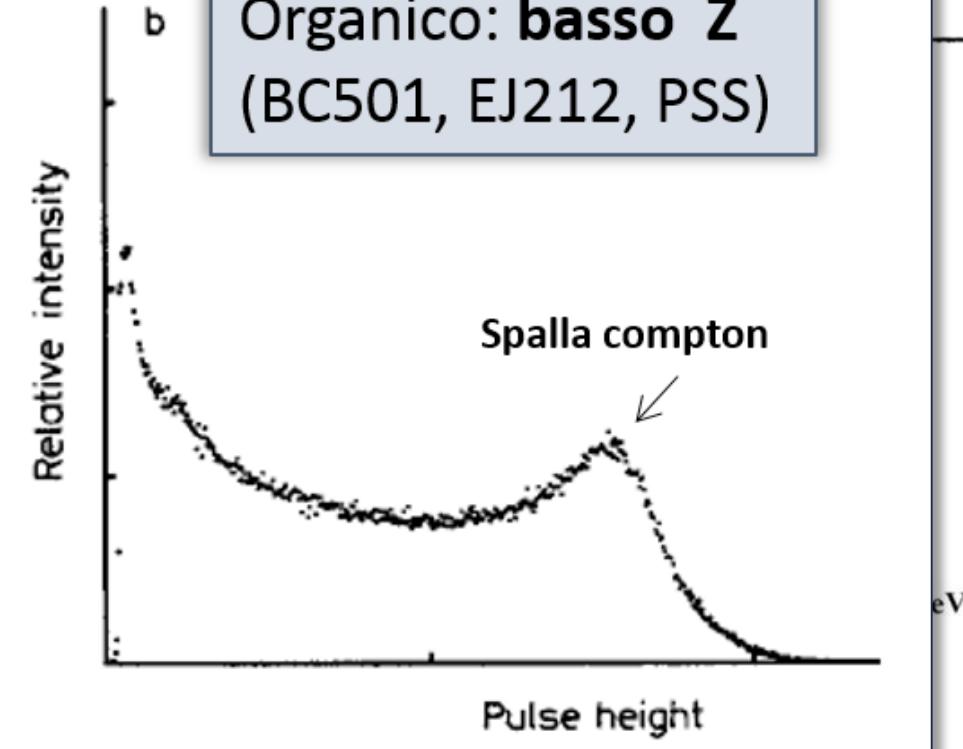
## Produzione di coppie



Tre tipi di



**Organico: basso Z**  
(BC501, EJ212, PSS)



# Neutroni

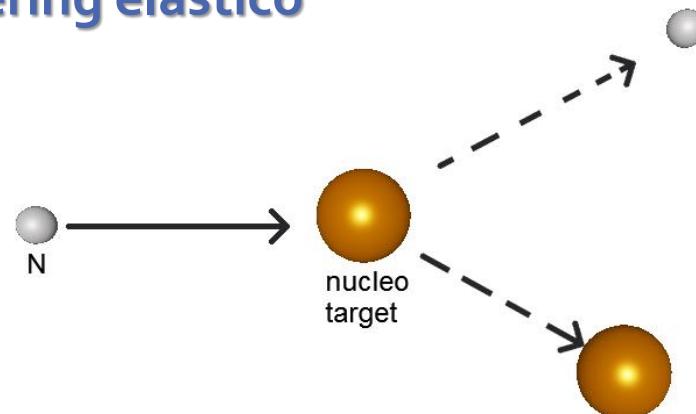


- Particelle neutre, si trovano nei nuclei atomici assieme ai protoni
- Rilasciate dai nuclei radioattivi in fissioni spontanee, come quelle dei nuclei di  $^{252}\text{Cf}$  ( $3/4$  n per nucleo)

I neutroni interagiscono solo per forza forte  $\Rightarrow$  possiamo solo rilevarli indirettamente

2 tipi di interazione con la materia:

## Scattering elastico



## Reazioni nucleari:

- $n + {}^6\text{Li} \rightarrow \alpha + {}^3\text{He}$  ( $Q=2.31$  MeV)
- $n + {}^{10}\text{B} \rightarrow \alpha + {}^7\text{Li}$  ( $Q=4.78$  MeV)
- $n + {}^3\text{He} \rightarrow p + {}^3\text{H}$  ( $Q=0.764$  MeV)

# Neutroni

I neutr

Scatter



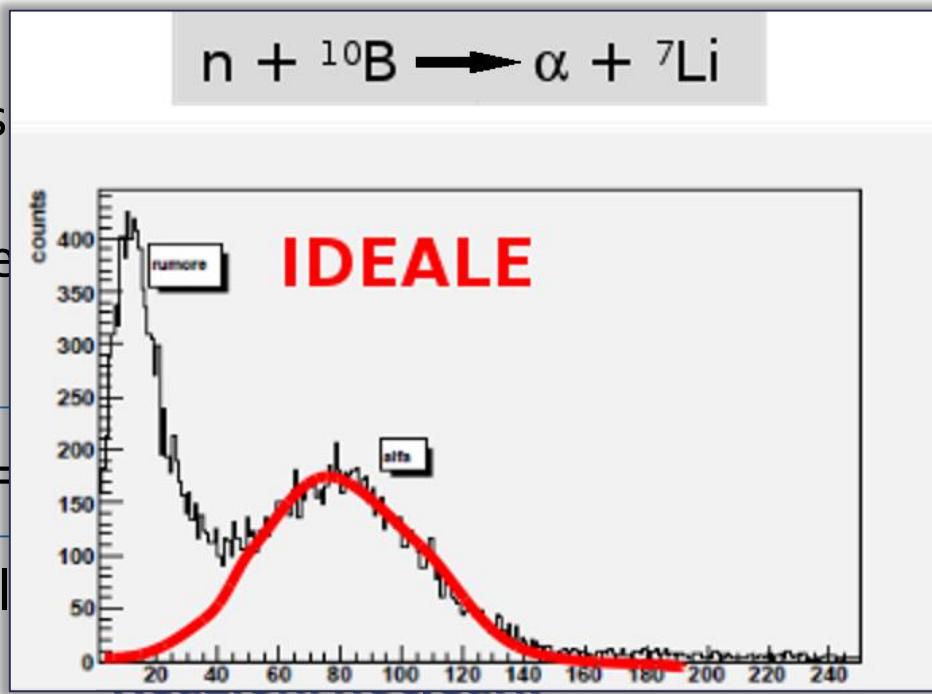
tre, s

nucleo

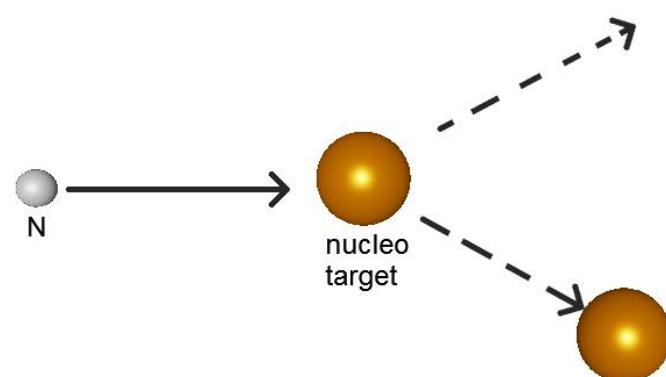
lei di

rete =

con l



nte



- $n + {}^6\text{Li} \rightarrow \alpha + {}^3\text{He} (Q=2.31 \text{ MeV})$
- $n + {}^{10}\text{B} \rightarrow \alpha + {}^7\text{Li} (Q=4.78 \text{ MeV})$
- $n + {}^3\text{He} \rightarrow p + {}^3\text{H} (Q=0.764 \text{ MeV})$



# Scintillatori organici

Elementi

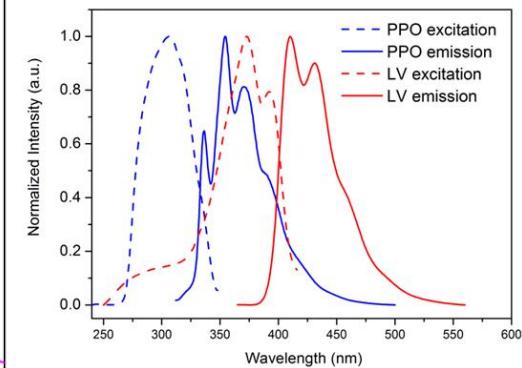
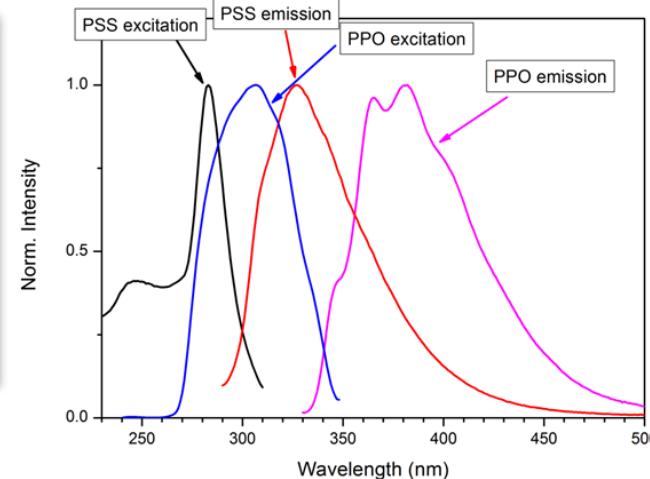
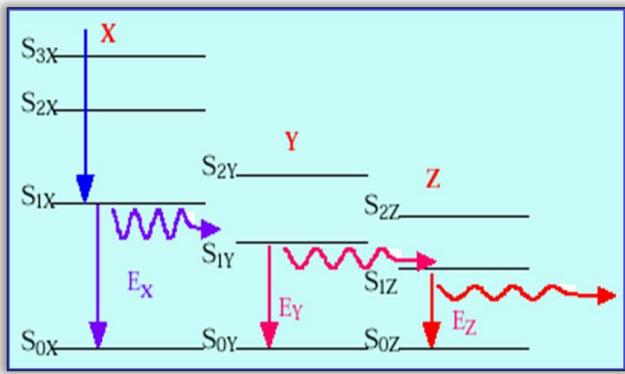
- ✓ **Matrice X**
- ✓ **1° soluto Y**
- ✓ **2° soluto Z**



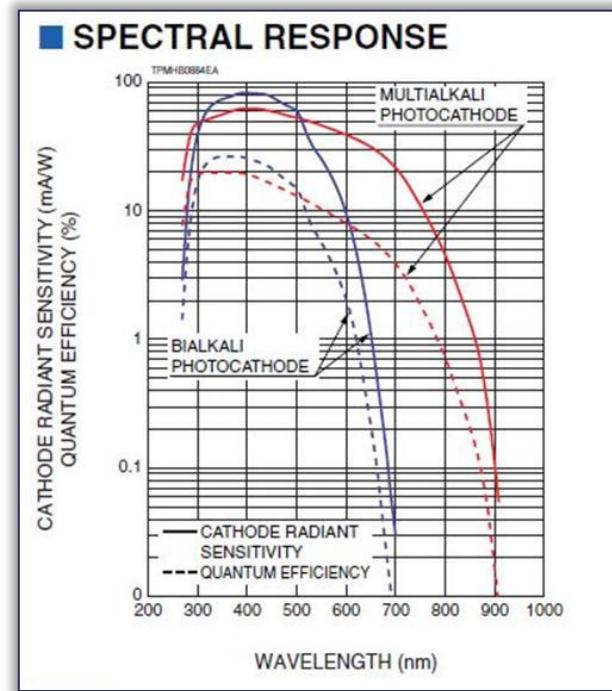
Assorbe energia delle particelle e la trasferisce agli stati eccitati delle molecole del 1° soluto

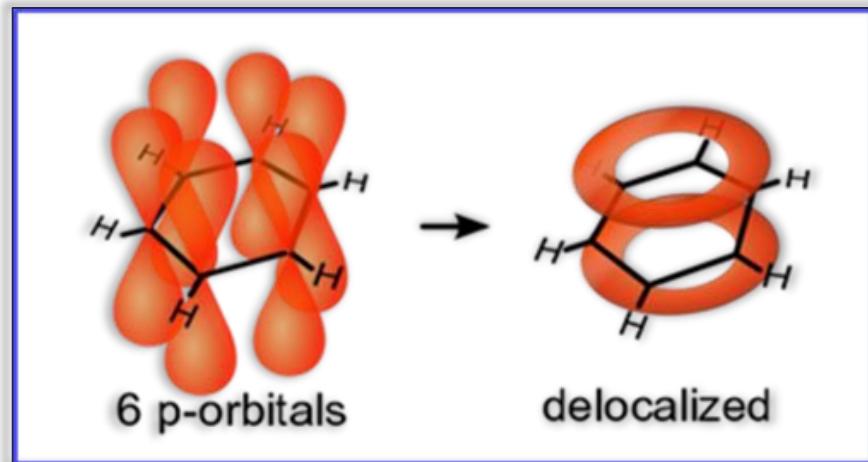
Emette nell' UV (380 nm) dove il 2° soluto può assorbire

Assorbe a circa 380 nm e fluoresce a 430 nm come si vede dagli spettri sotto riportati



Lo scopo di aggiungere il dye secondario (waveshifter) è quello di ottenere la massima risposta dal fototubo. Come si vede da questo grafico la massima sensibilità è a circa 450 nm





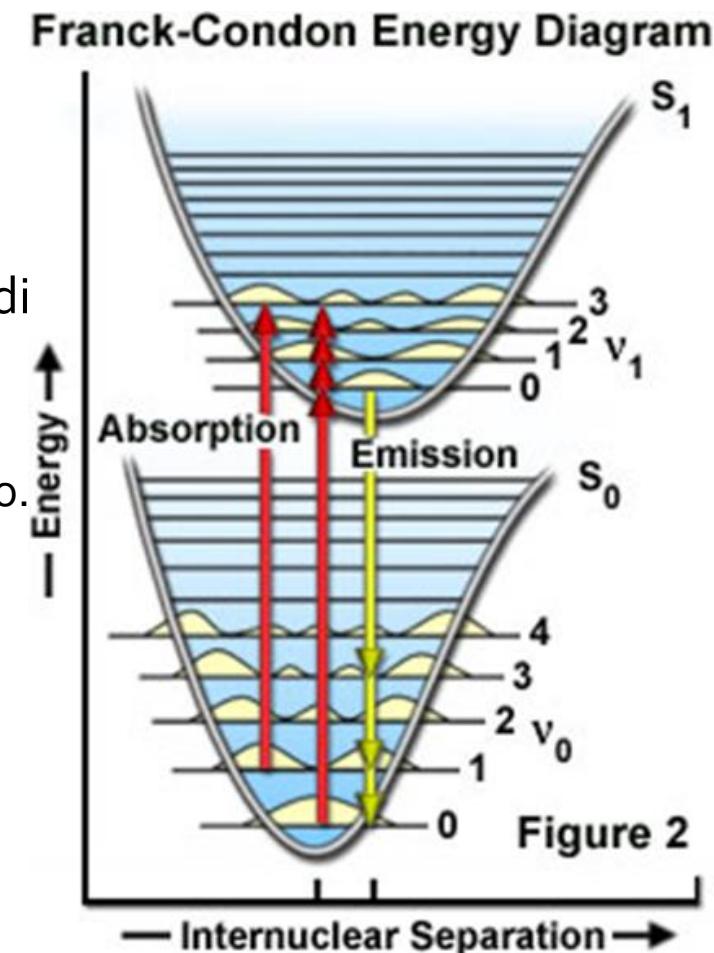
La matrice polimerica deve contenere anelli benzenici : la delocalizzazione degli elettroni nell'anello favorisce l'emissione di fluorescenza.

Qui a destra sono rappresentati lo stato fondamentale e il 1° stato eccitato di una molecola fluorescente: l'eccitazione (UV o radiazioni) causa la transizione di un elettrone da S<sub>0</sub> a S<sub>1</sub>, quindi avviene la diseccitazione con emissione di luce

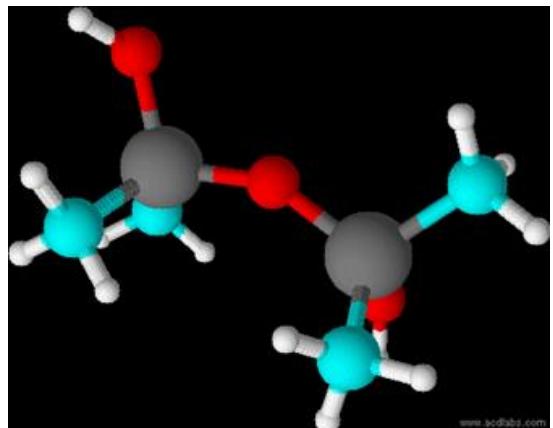
Ecco perché nei nostri siliconi sono presenti gruppi benzenici nella struttura del polimero.

I dyes, PPO e Lumogen Violet (LV), possiedono caratteristiche importanti:

- Alta efficienza
- Sovrapposizione tra emissione e assorbimento (energy transfer)
- Solubilità nella matrice
- Emissione veloce
- Resistenza alle radiazioni



	Si-O	C-C	
Energia (kJ/mol)	452	346	<b>PIU' FORTE!</b>
Lunghezza di legame (Å)	1.63-1.66	1.54	<b>PIU' LUNGO!</b>
Angolo (°)	130 - 150	109.5	<b>PIU' FLESSIBILE!</b>
Barriera torsionale (kJ/mol)	0!	13	<b>FISSO!</b>



I motivi per cui si è preferito usare composti di silicone sono molteplici

- ❖ Il legame Si-O del silicone è più forte del legame C-C presente negli scintillatori commerciali e questo lo rende più resistente alle radiazioni
- ❖ Non è tossico
- ❖ L'elasticità permette varie forme
- ❖ Riesce a sciogliere al suo interno il PPO e il Lumogen Violet

Il legame C-C degli scintillatori commerciali (EJ212) dopo molti irraggiamenti si può danneggiare e si verifica ingiallimento e diminuzione della resa di luce

# Scintillatori Inorganici

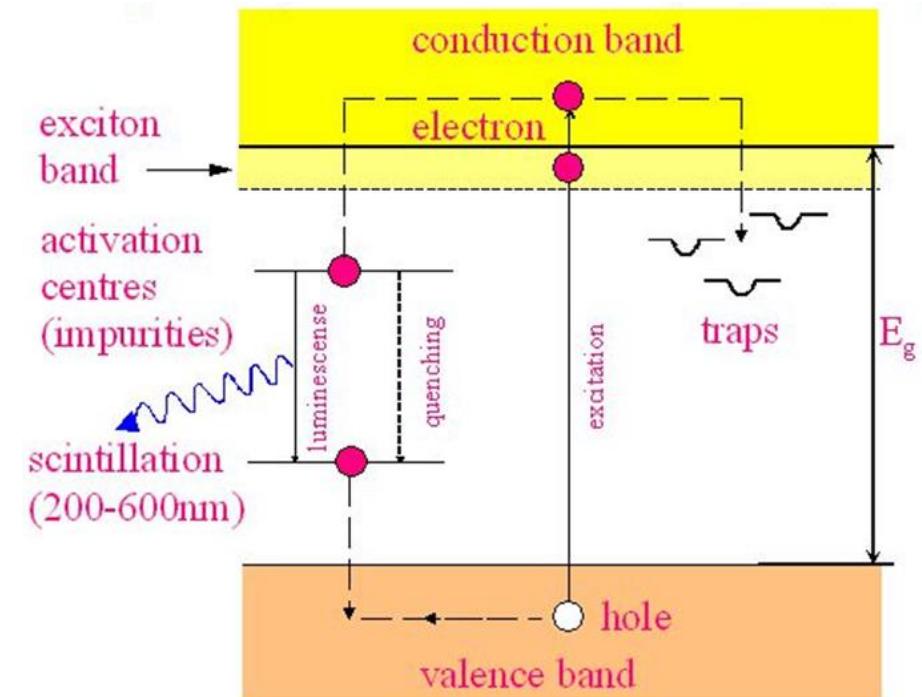
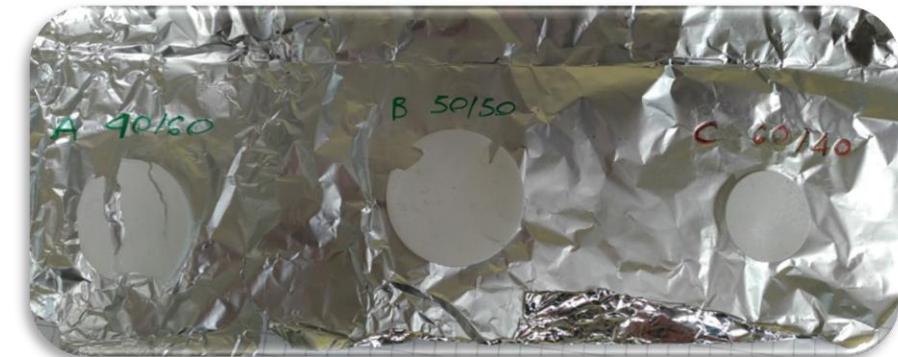
→ Sono cristalli drogati con impurità (attivatori). In generale, hanno una risposta in luce 2-3 volte maggiore degli scintillatori organici.

La **resa di luce** viene favorita dalla presenza di tracce di argento o manganese nel caso del solfuro di zinco, tracce di tallio nel caso di ioduro di cesio.

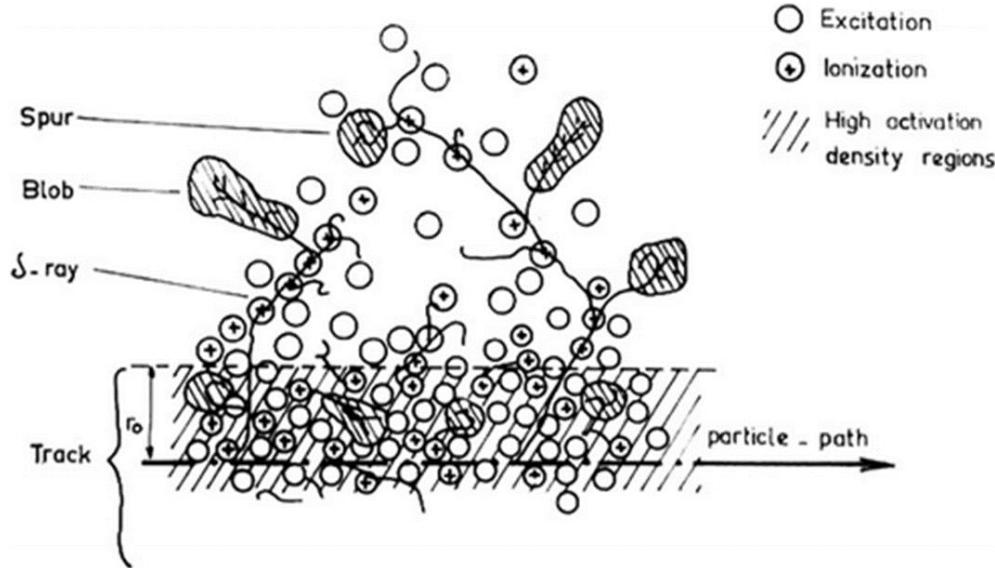
In questi cristalli, gli elettroni sono disposti in una banda di energia detta **banda di valenza** dove sono strettamente uniti in legami chimici (covalenti o ionici) e in una banda ad energia superiore detta **banda di conduzione**. L'**eccitazione** provoca un salto dell'elettrone dalla banda di valenza alla banda di conduzione, la **diseccitazione** avviene con l'emissione di luce, facilitata dalla presenza dei livelli interbanda delle sostanze droganti.

I vantaggi degli scintillatori inorganici sono :

- l'elevato potere frenante (alto Z)
- le uscite di luce a più alte frequenze (particolarmente favorevoli per la rivelazione di raggi  $\gamma$ , di elettroni e positroni di alta energia)

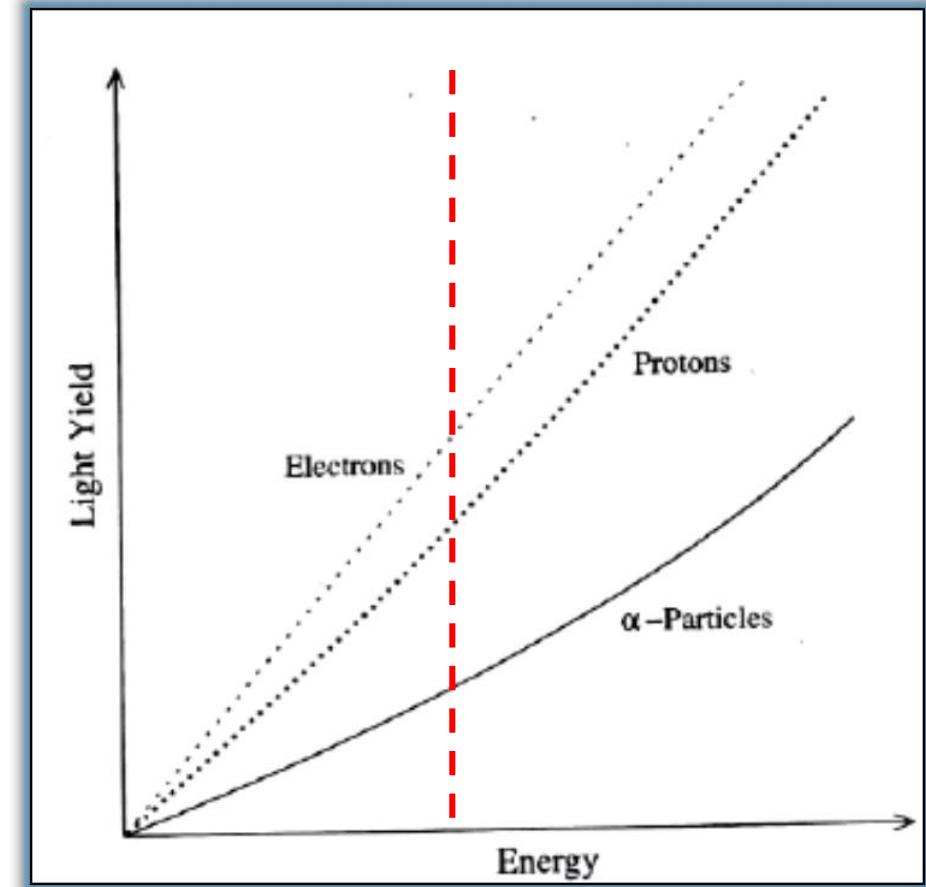


In questo grafico si può vedere che la luce emessa varia a parità di energia gli elettroni hanno una resa in luce più alta rispetto ai protoni, e ancora più alta rispetto alle particelle alfa.



Una particella alfa deposita tutta la sua energia in un volume molto ristretto causando un'elevata densità di ionizzazione, questo favorisce la diseccitazione non radiativa, la resa di luce si abbassa perché aumenta il «quenching».

L'elettrone perde poca energia gradualmente, interagendo con una maggiore quantità di materiale, quindi il quenching è minore.



# Sintesi degli scintillatori siliconici

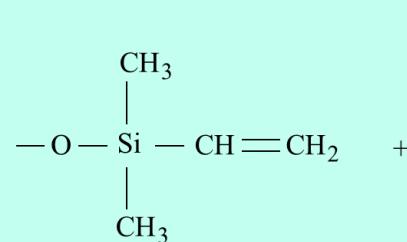
- Resina A (PSS<sub>15</sub> o PSS<sub>22</sub>)
- Resina B
- Catalizzatore [Pt] in soluzione
- Inibitore
- PPO (first dye)
- LV (second dye)



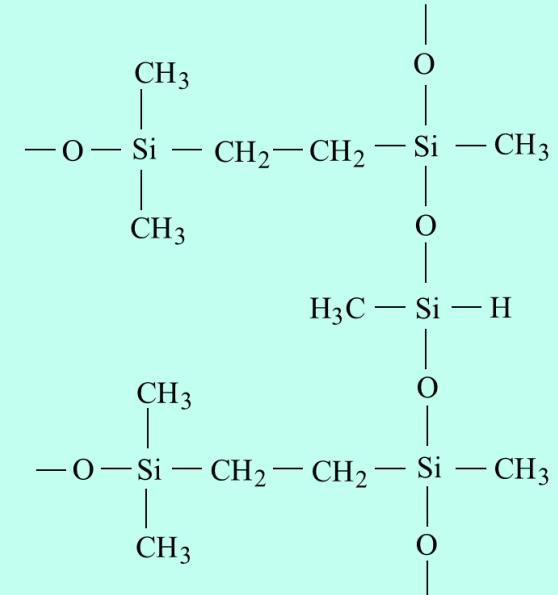
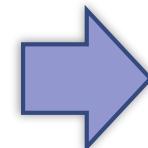
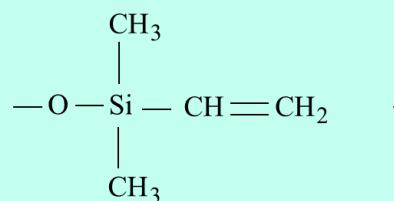
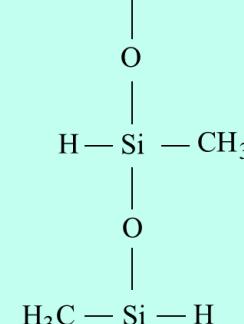
# La reazione di ADDIZIONE

In presenza di Pt come catalizzatore, le **due resine reagiscono**, formando un legame covalente tra i due polimeri, il che rende la nuova molecola solida.

Divinyl polymethyl siloxane

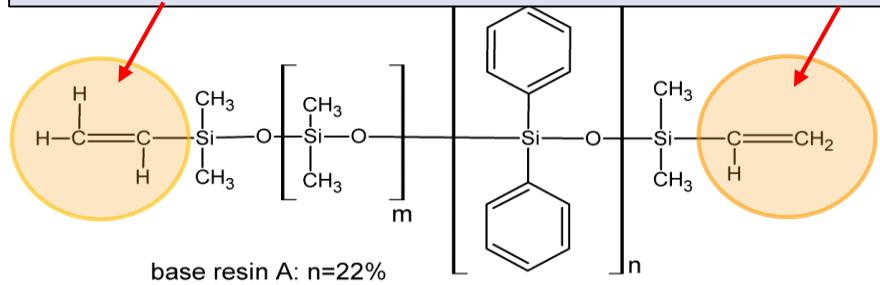


Polymethyl hydrogen siloxane

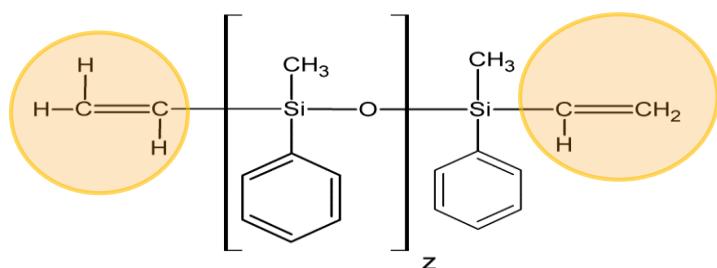
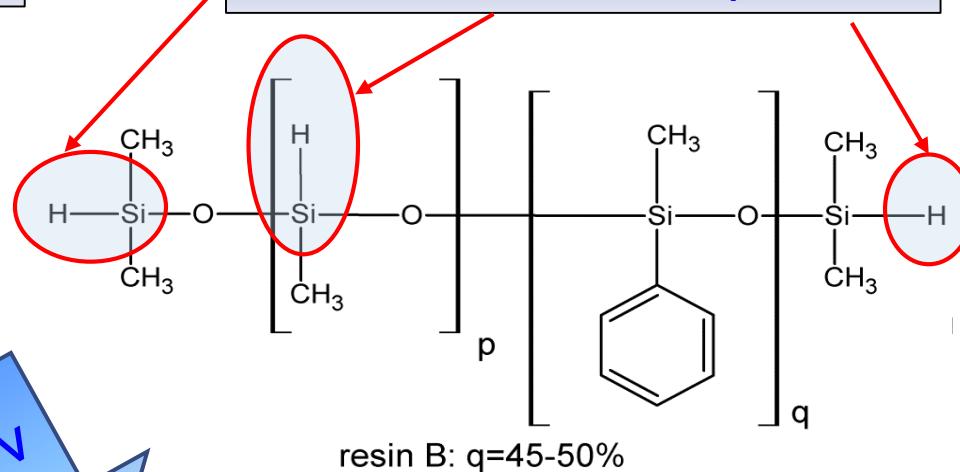


Poly(vinyl siloxane) after setting

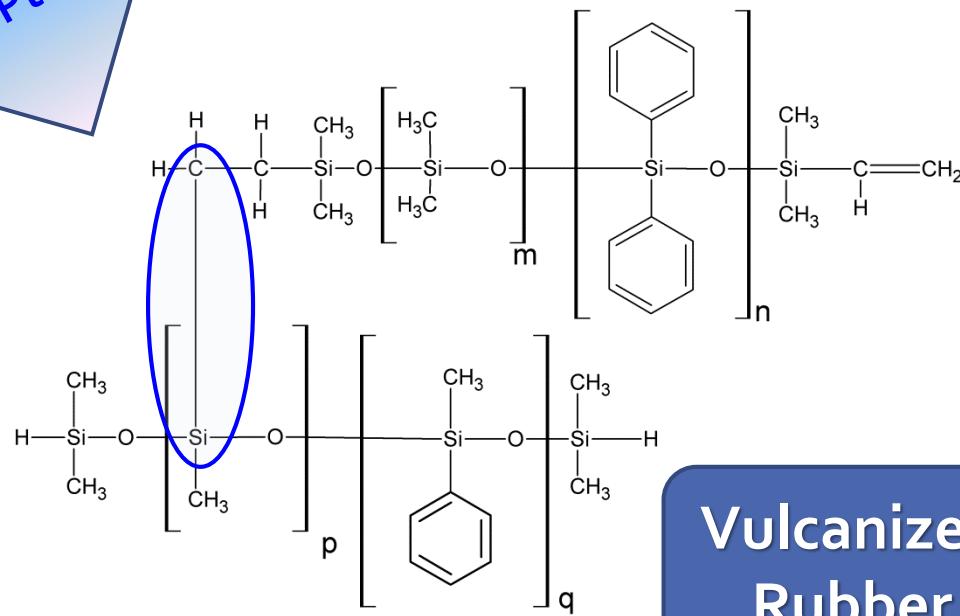
**Reactive terminal vinyl groups – double bond**



**Cross-linker: reactive Groups Si-H**



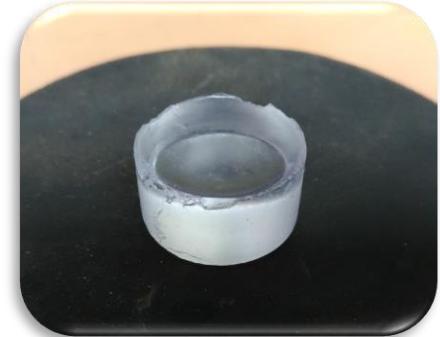
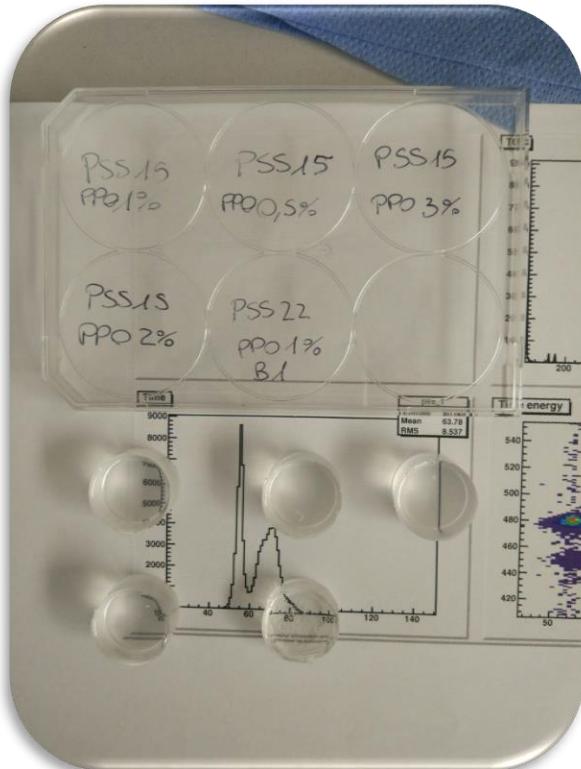
RTV  
Pt



**Vulcanized  
Rubber**

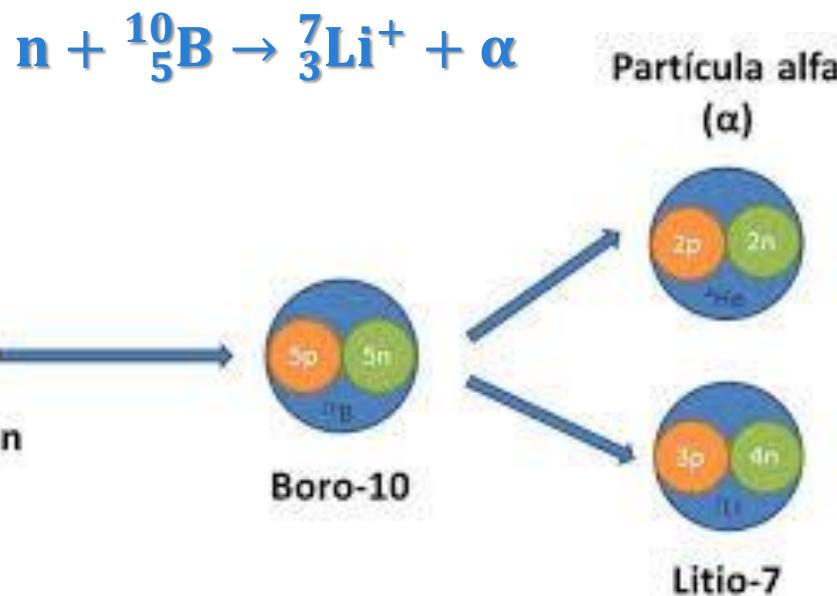
# Scintillatori siliconici

Gli scintillatori prodotti si differenziano sulla base della **quantità di PPO** contenuta e della **quantità di gruppi fenili** contenuti nella resina A (PSS).



# Scintillatori al $^{10}\text{B}$

Si possono realizzare scintillatori organici che rivelano neutroni termici, addizionandogli atomi di  $^{10}\text{B}$ , contenuti nella molecola di carborano, infatti l'isotopo 10 del boro è sensibile ai neutroni termici.



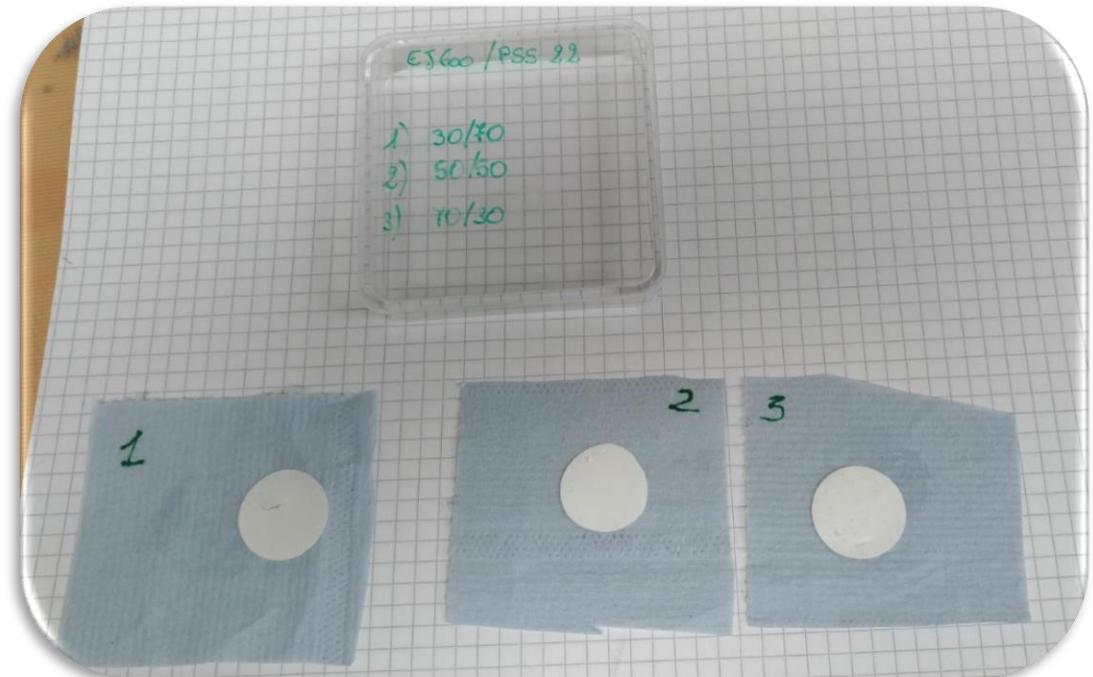
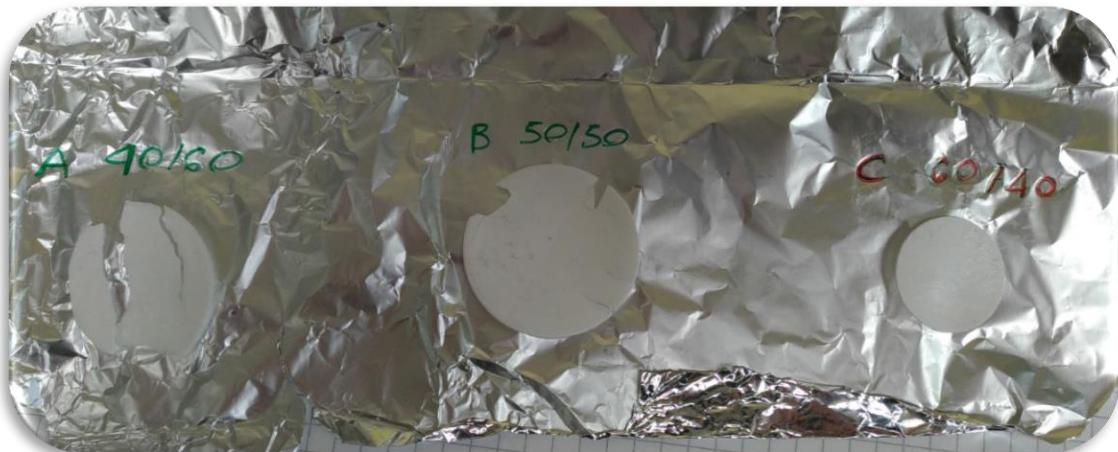
**Carborano**  $[\text{C}_2\text{B}_{10}\text{H}_{12}]$

$^{10}\text{B}$  è presente nel carborano con un'abbondanza del 20% circa

# Scintillatori inorganici

Si possono creare anche dei scintillatori inorganici, ad esempio con il solfuro di zinco drogato Argento (ZnS:Ag).

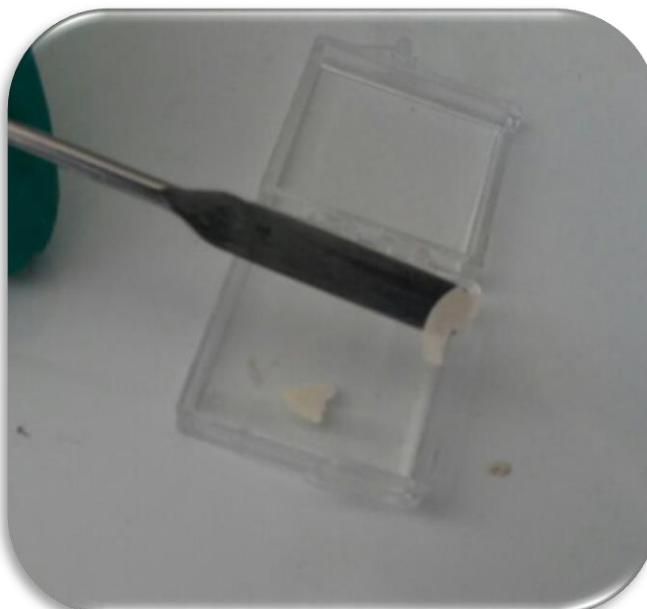
- **ZnS:Ag(1%) (EJ600)**
- **PSS 22**

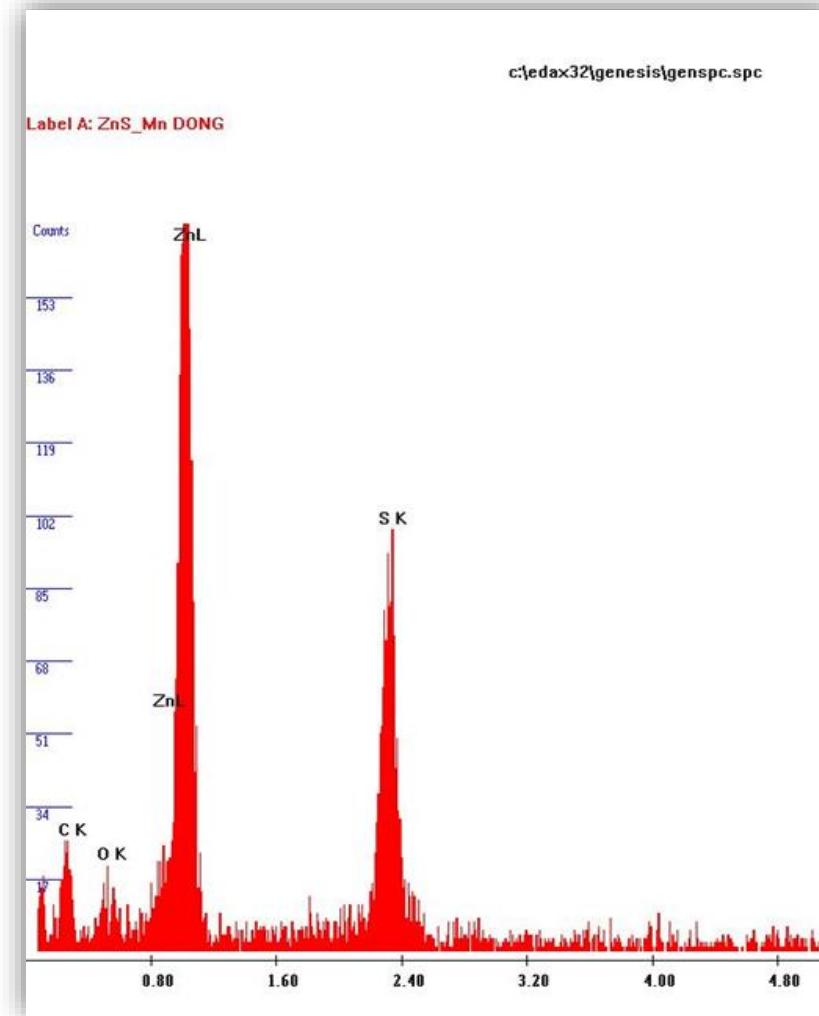
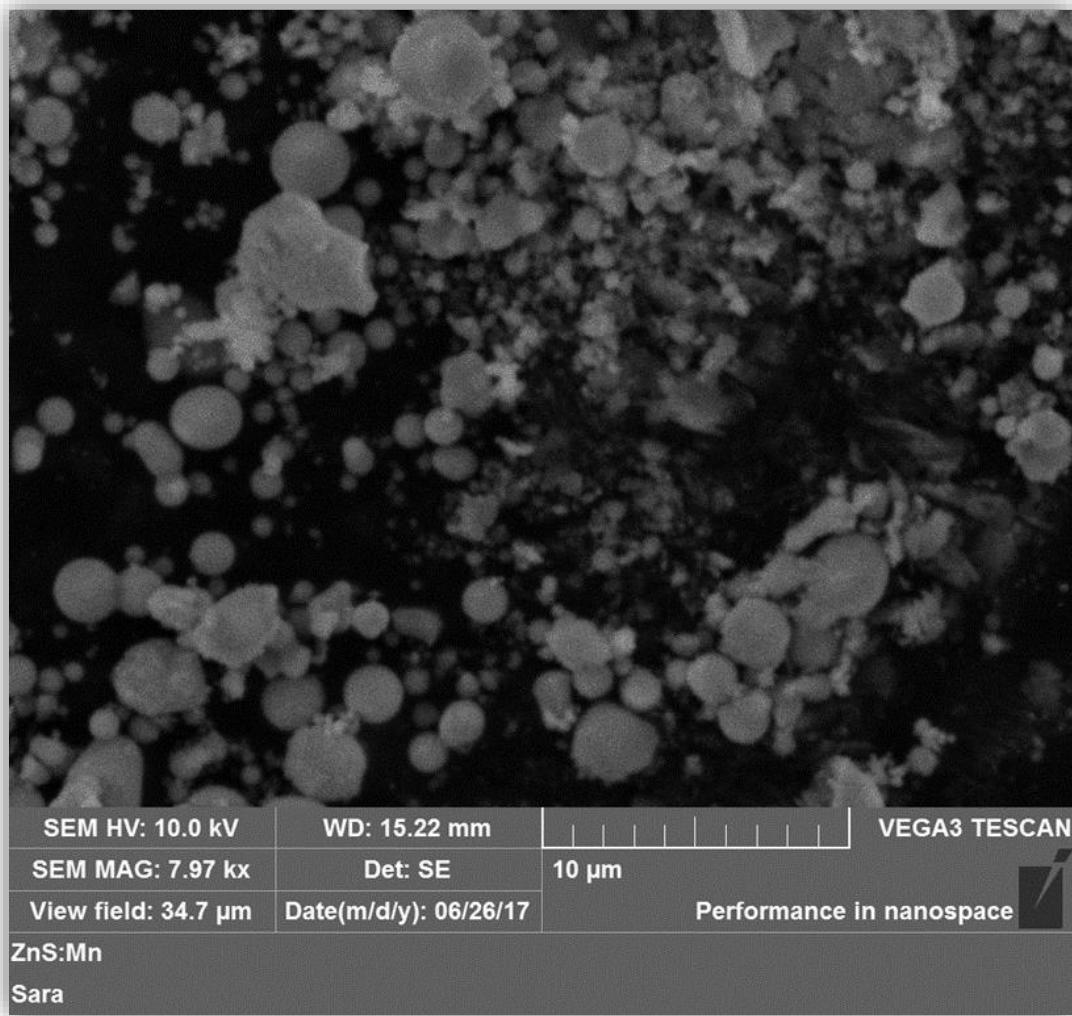


# Sintesi ZnS:Mn (Dong)

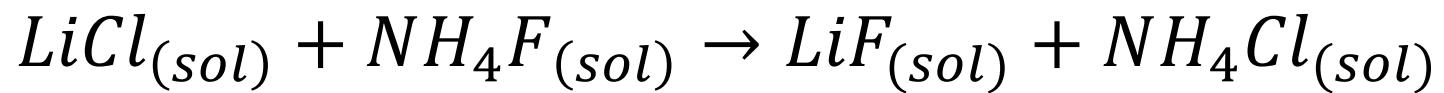
ZnS:Mn (1%/3%)

- $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Mn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Na}_2\text{S}$





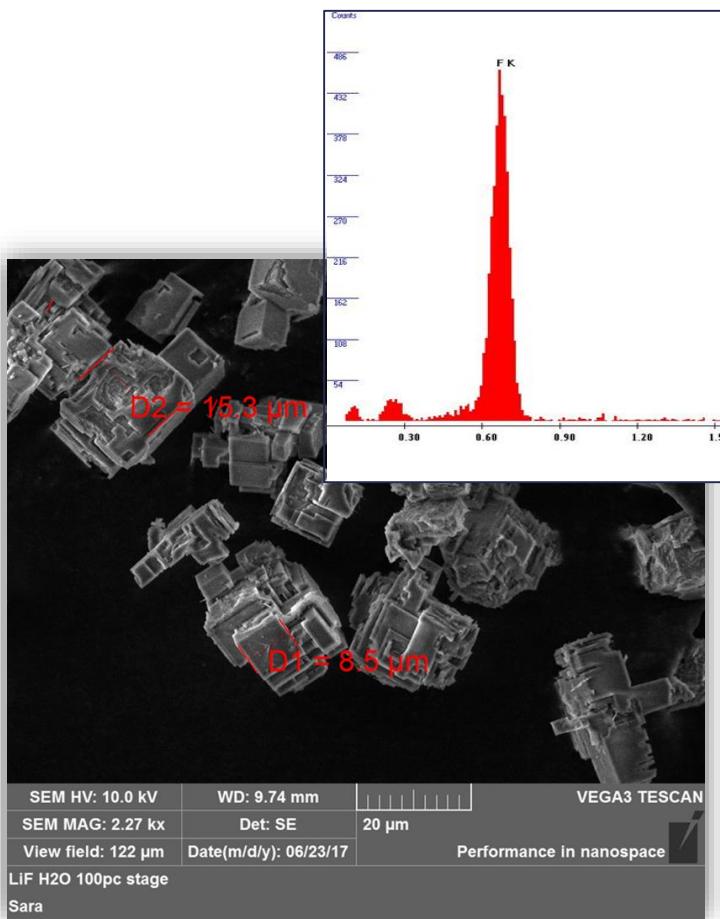
# Sintesi LiF



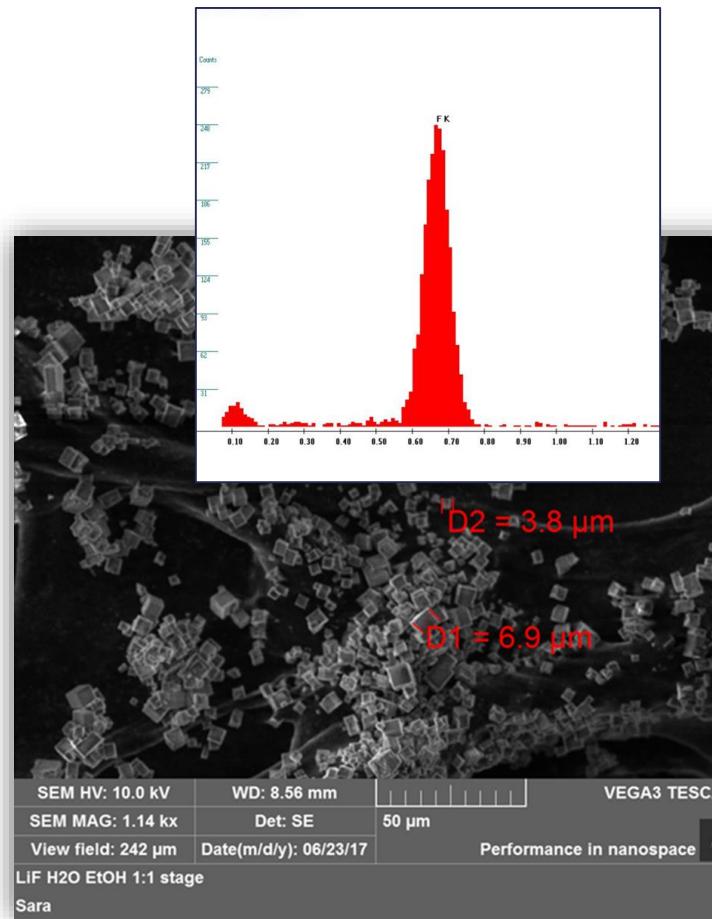
sol=

- Acqua
- Etanolo 50% V/V
- Isopropanolo 50% V/V

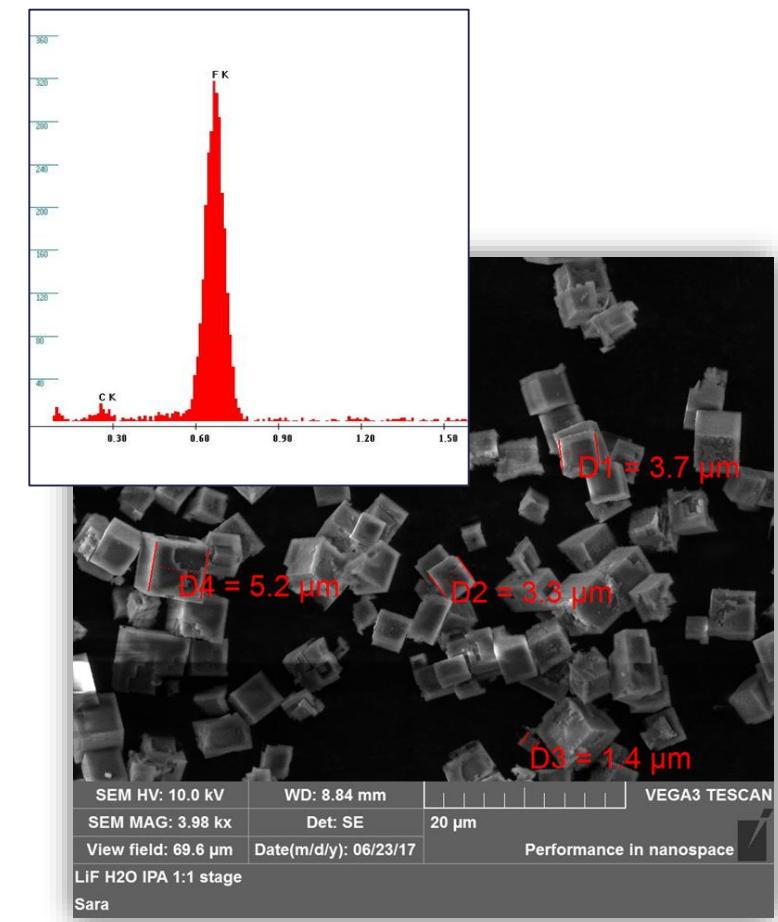




H<sub>2</sub>O 100%

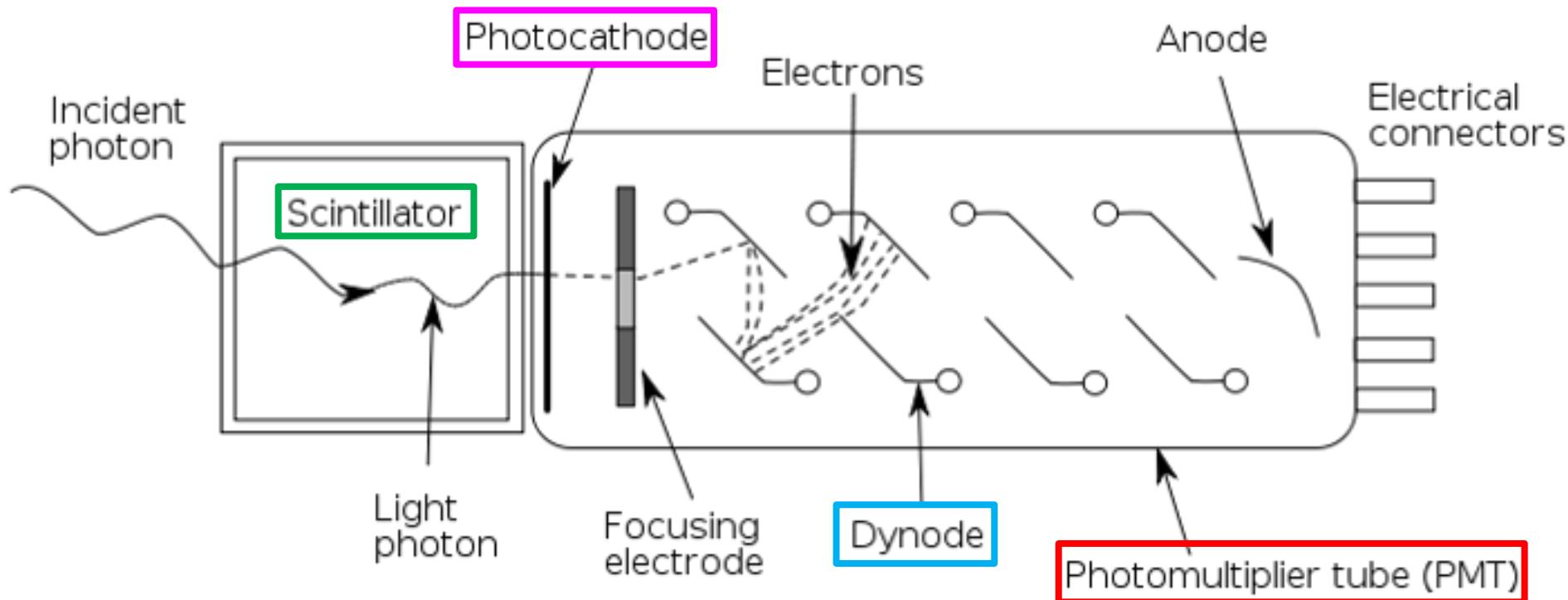


H<sub>2</sub>O 50% EtOH 50%



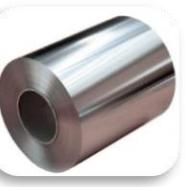
H<sub>2</sub>O 50% IPA 50%

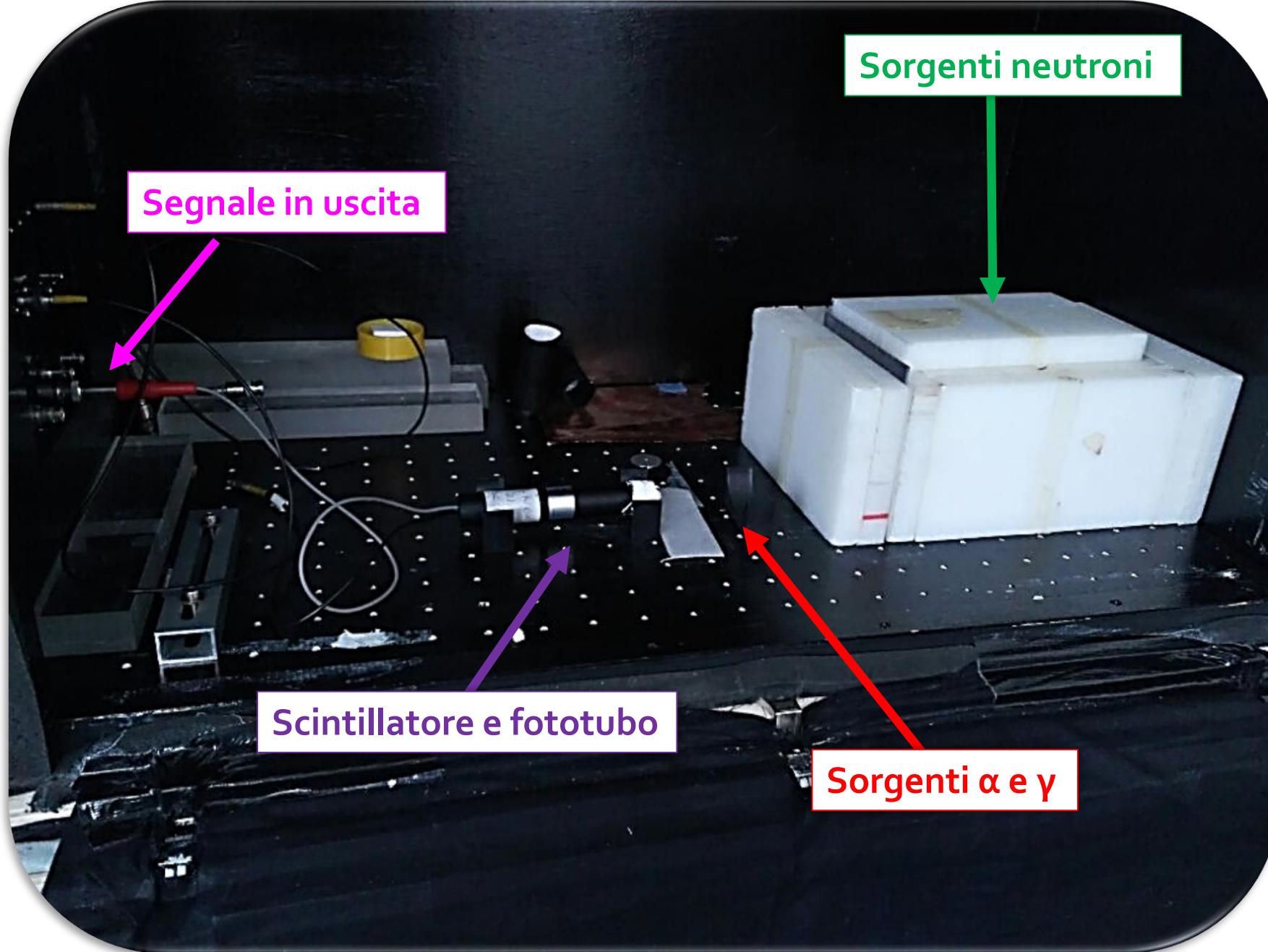
# APPARATO Sperimentale



La LUCE emessa dallo SCINTILLATORE è PROPORZIONALE all'ENERGIA rilasciata dalla particella  $\Rightarrow$  Gli ELETTRONI in uscita al FOTOMOLTIPLICATORE sono PROPORZIONALI al segnale LUMINOSO dallo scintillatore

$$E_{\text{particella}} \propto \text{LUCE}_{\text{scintillatore}} \propto \#_{\text{elettroni}}$$

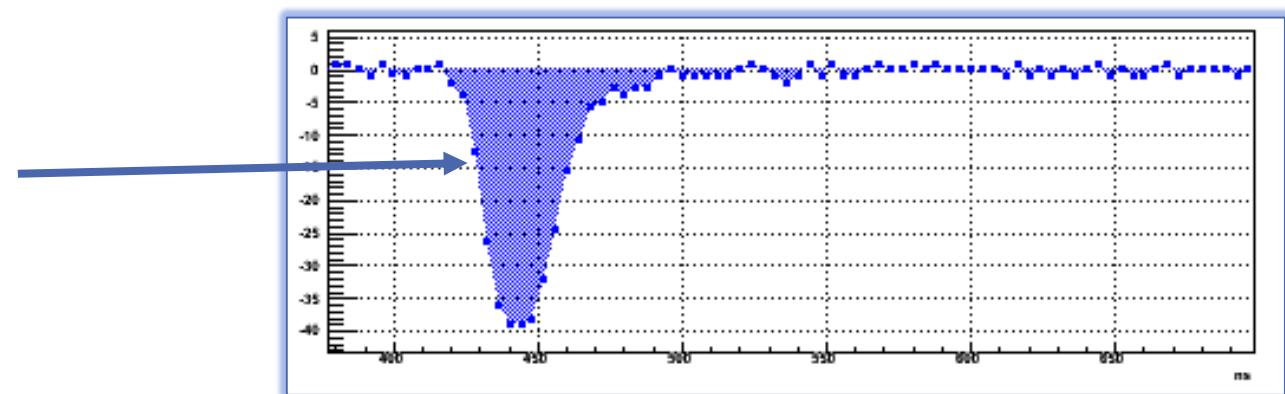




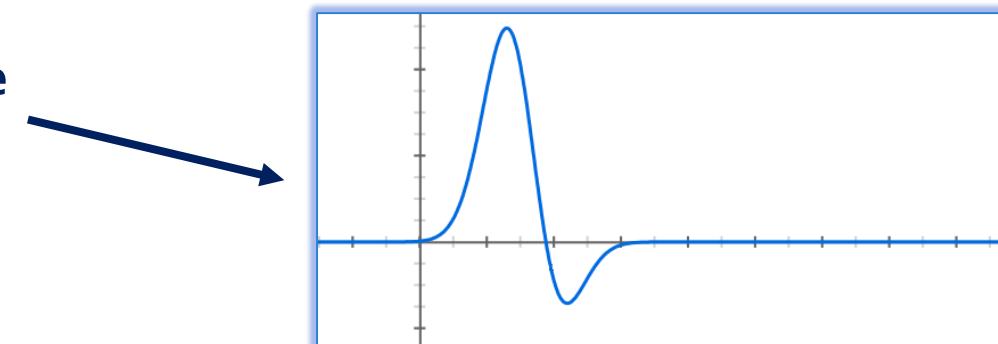
# RACCOLTA DATI

$$E_{\text{particella}} \propto LUCE_{\text{scintillatore}} \propto \#_{\text{elettroni}}$$

L'area sottesa dalla curva del segnale è proporzionale alla quantità di elettroni

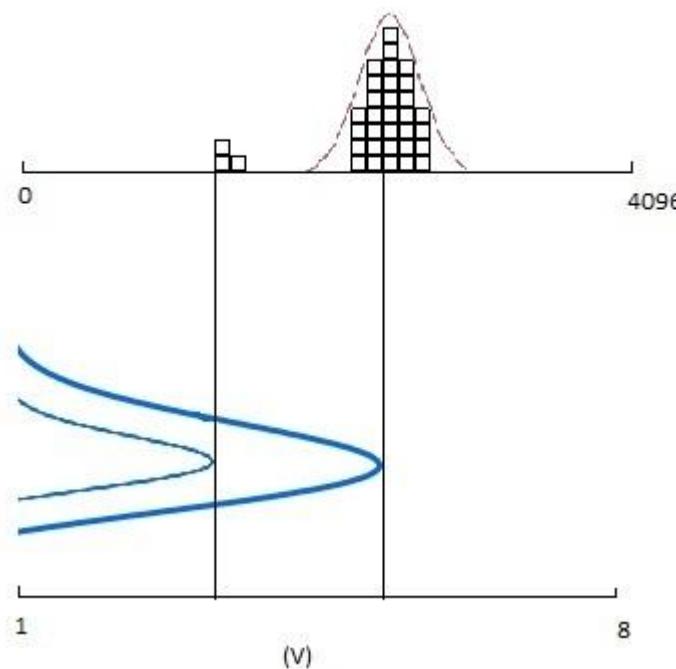


L'amplificatore integrando la carica raccolta produce un segnale di ampiezza proporzionale all'area del segnale in input



# RACCOLTA DATI

A secondo dell'ampiezza, la conversione analogico-digitale associa un canale più o meno alto nello spettro

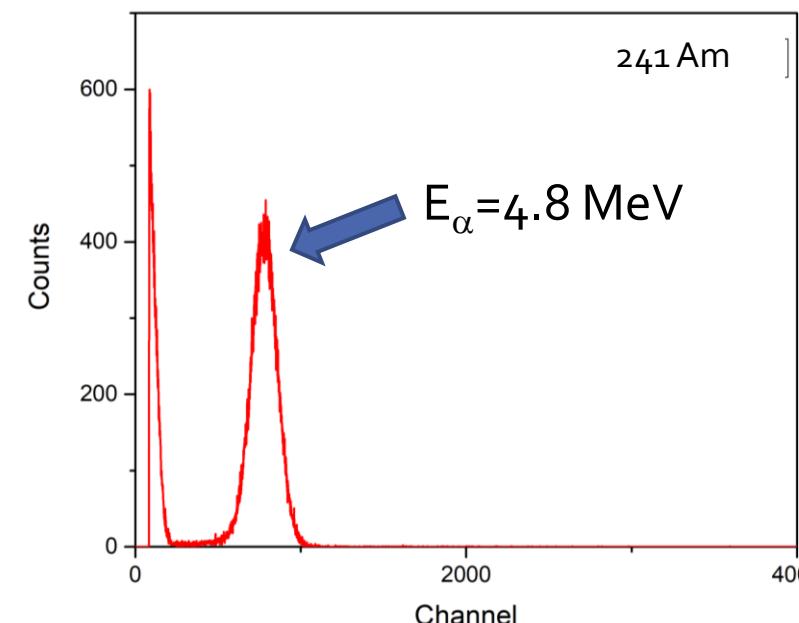
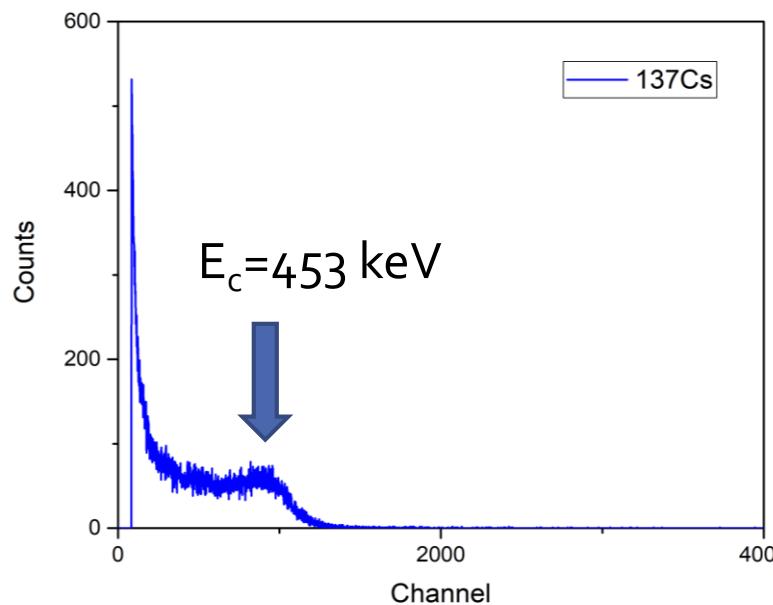
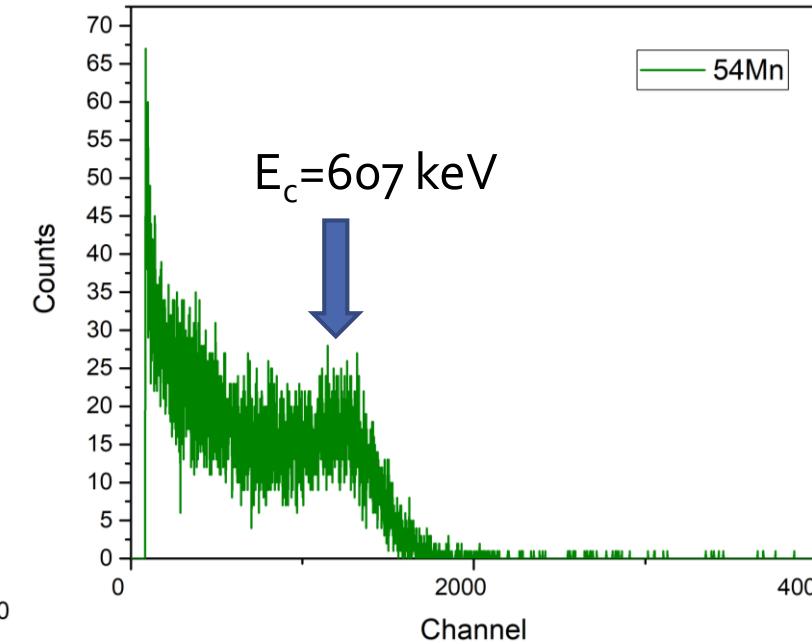
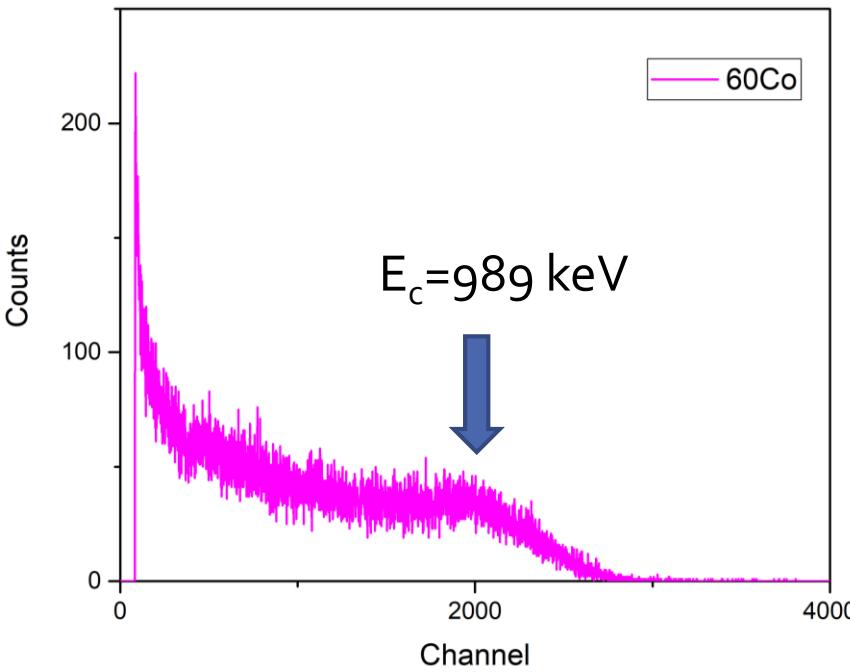


➤ MAGGIORE ENERGIA  $\Rightarrow$  maggior numero elettroni  
 $\Rightarrow$  maggiore area  $\Rightarrow$  maggior ampiezza amplificata  
 $\Rightarrow$  MAGGIOR CANALE

➤ MAGGIOR NUMERO EVENTI (dello stesso tipo)  $\Rightarrow$   
maggior frequenza dell'evento  $\Rightarrow$  MAGGIOR  
NUMERO DI CONTEGGI NEL CANALE



**RESA di LUCE è legata al CANALE**  
**EFFICIENZA è legata all'INTEGRALE dello SPETTRO**

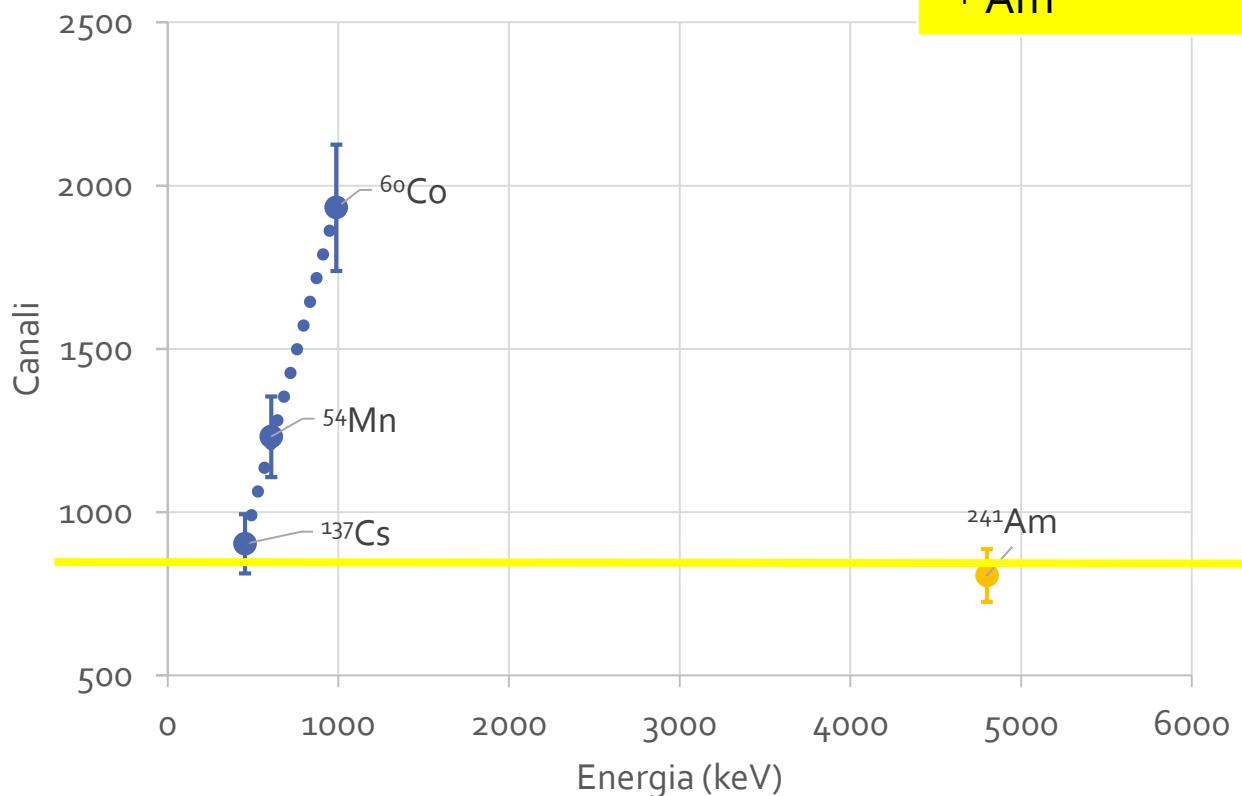


Esempi di spettri  
energetici acquisiti

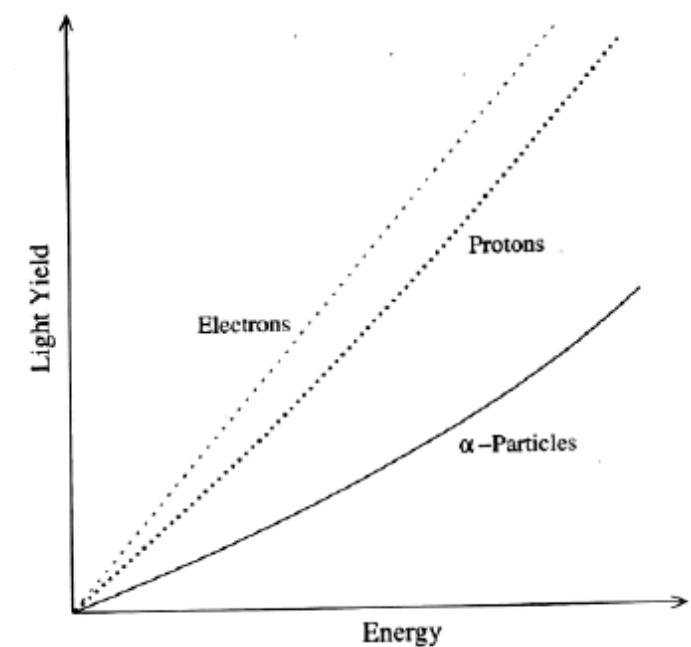
## PSS 15 PPO 1%

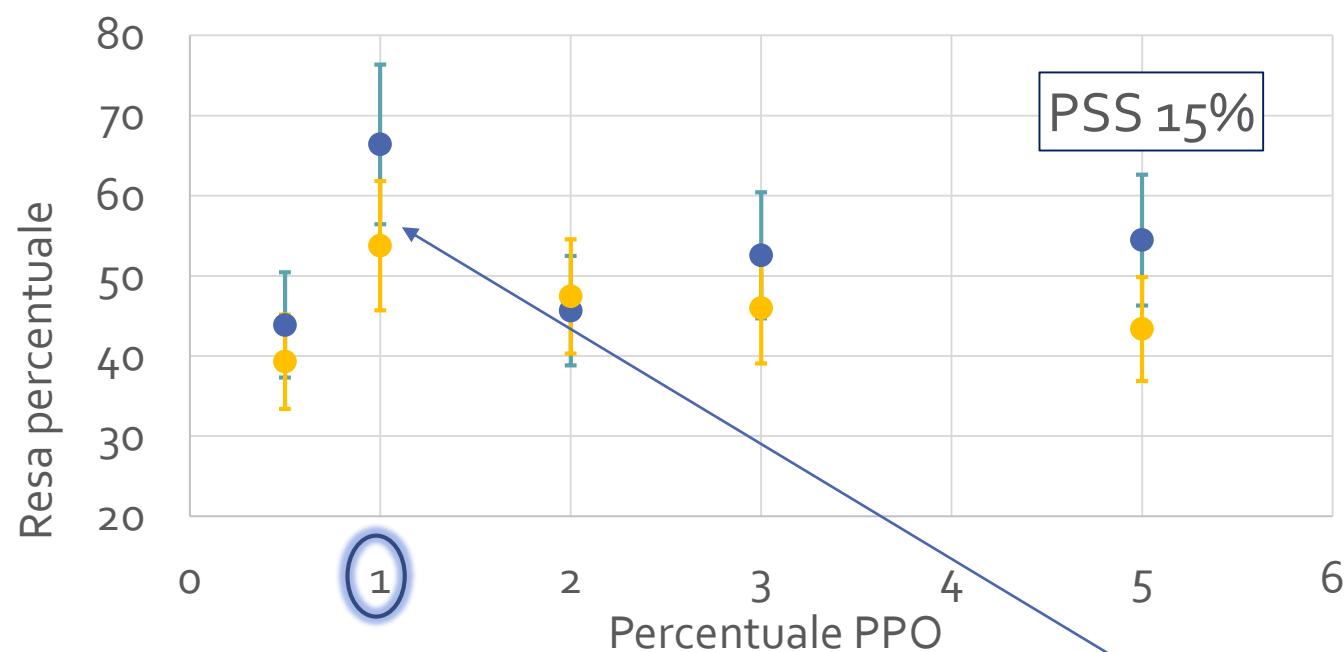
Sorgente	Particella emessa	Energia (keV)	Uscita in Luce (canali)
$^{137}\text{Cs}$	$\gamma$	453,5	903
$^{54}\text{Mn}$	$\gamma$	607,32	1231
$^{60}\text{Co}$	$\gamma$	988,6	1932
$^{241}\text{Am}$	$\alpha$	4800	806

PSS 15 PPO 1%

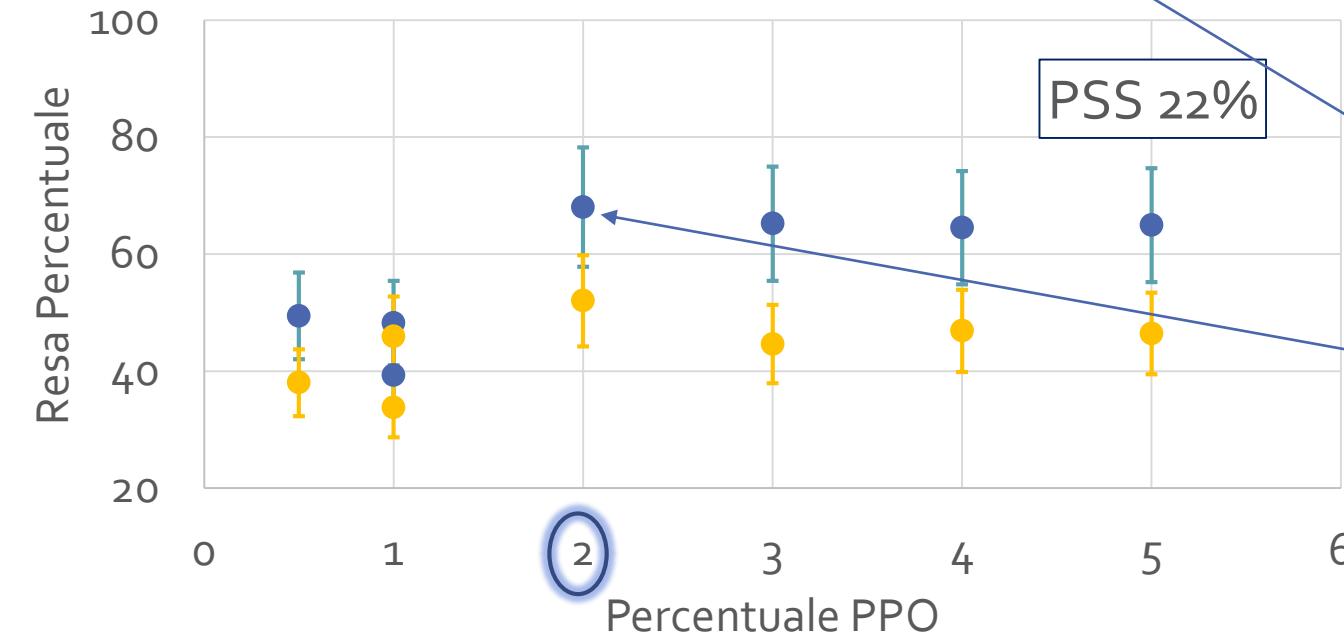


- Gamma
- Alpha





●  $^{60}\text{Co}$   
●  $^{241}\text{Am}$



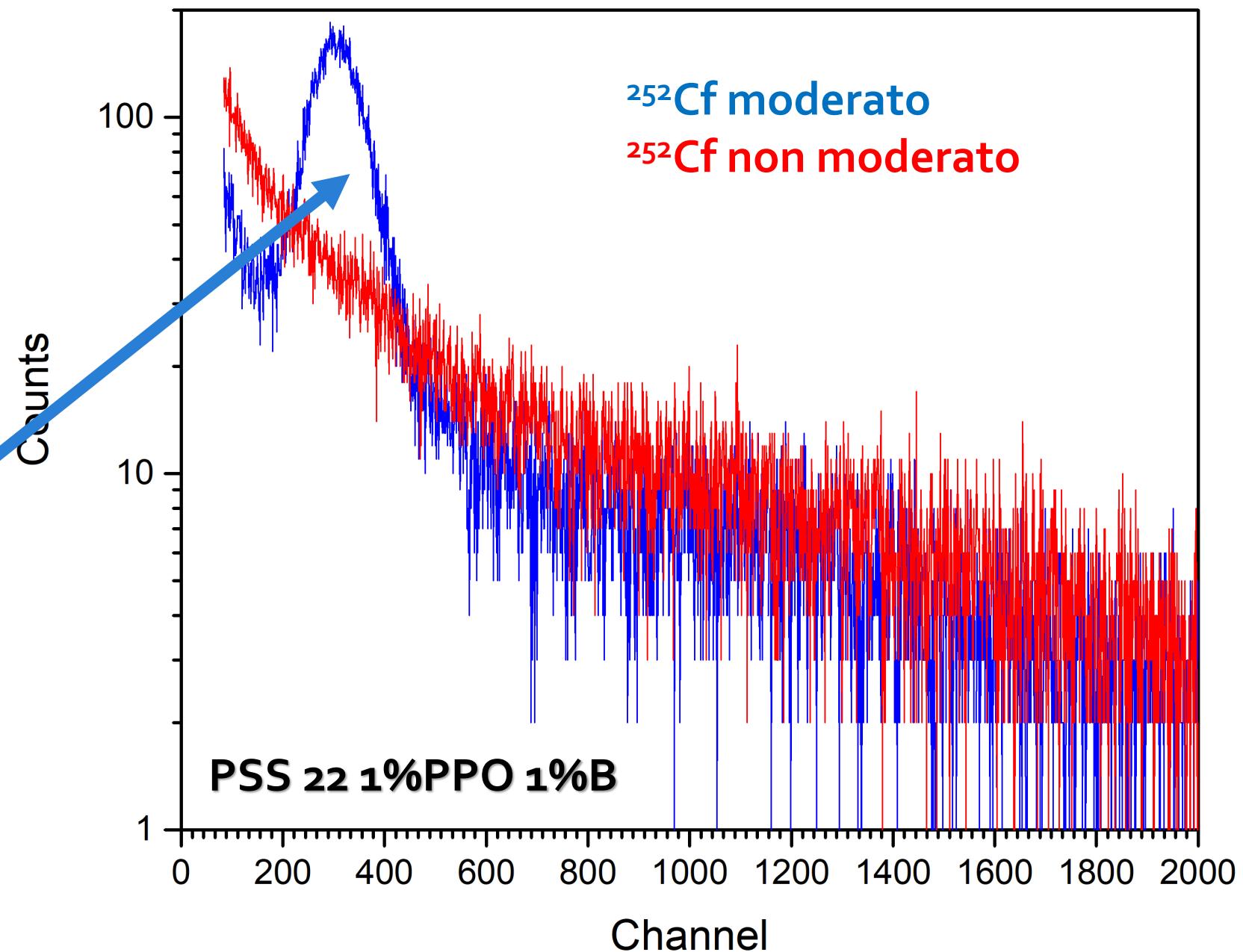
●  $^{60}\text{Co}$   
●  $^{241}\text{Am}$

**Resa di luce relativa  
(rispetto a EJ212)**  
in funzione della  
concentrazione di PPO

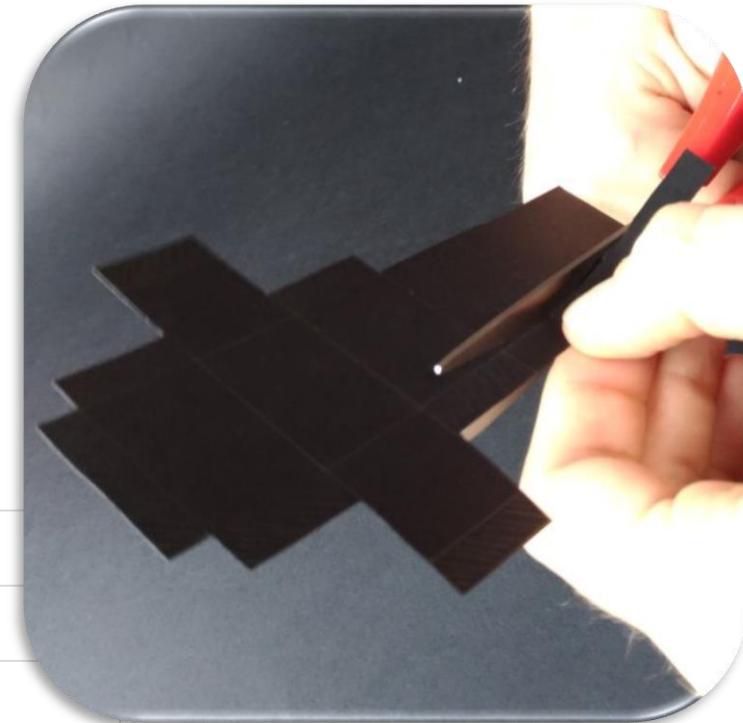
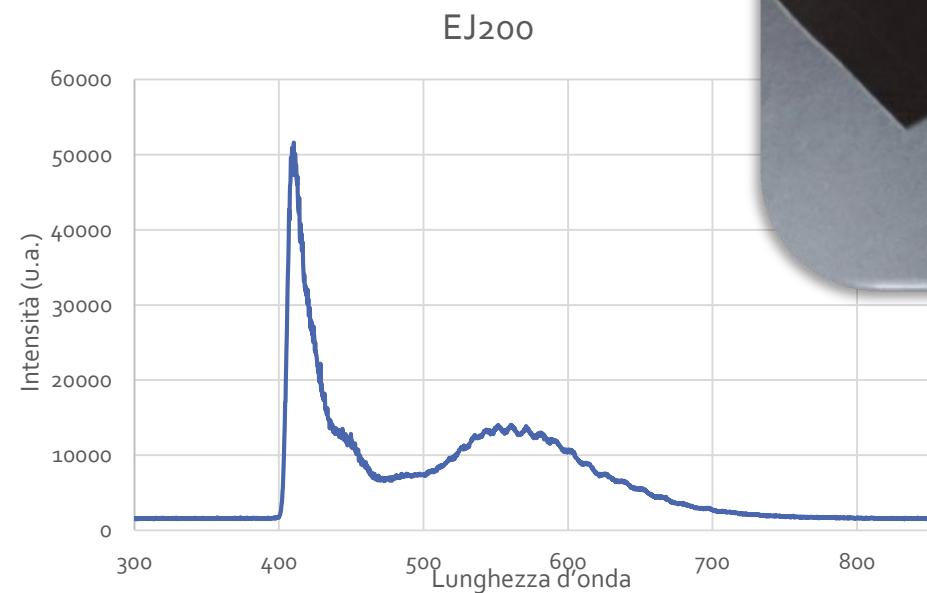
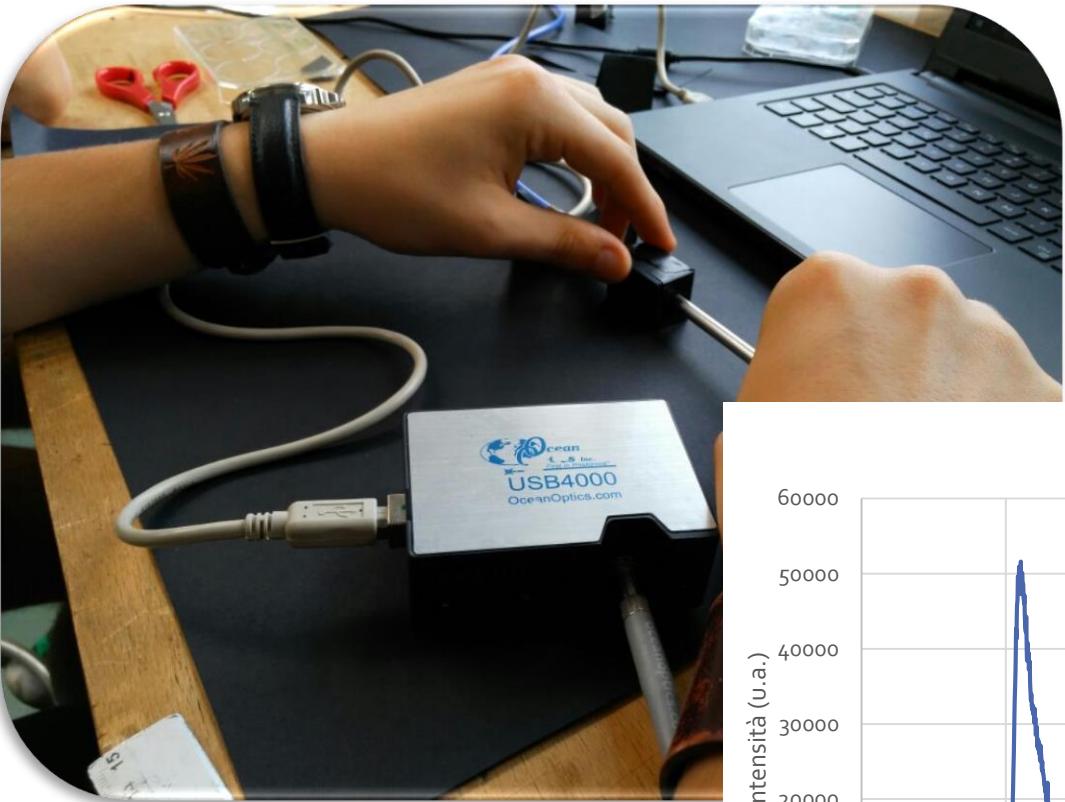
Massima Resa

# Risposta ai neutroni termici

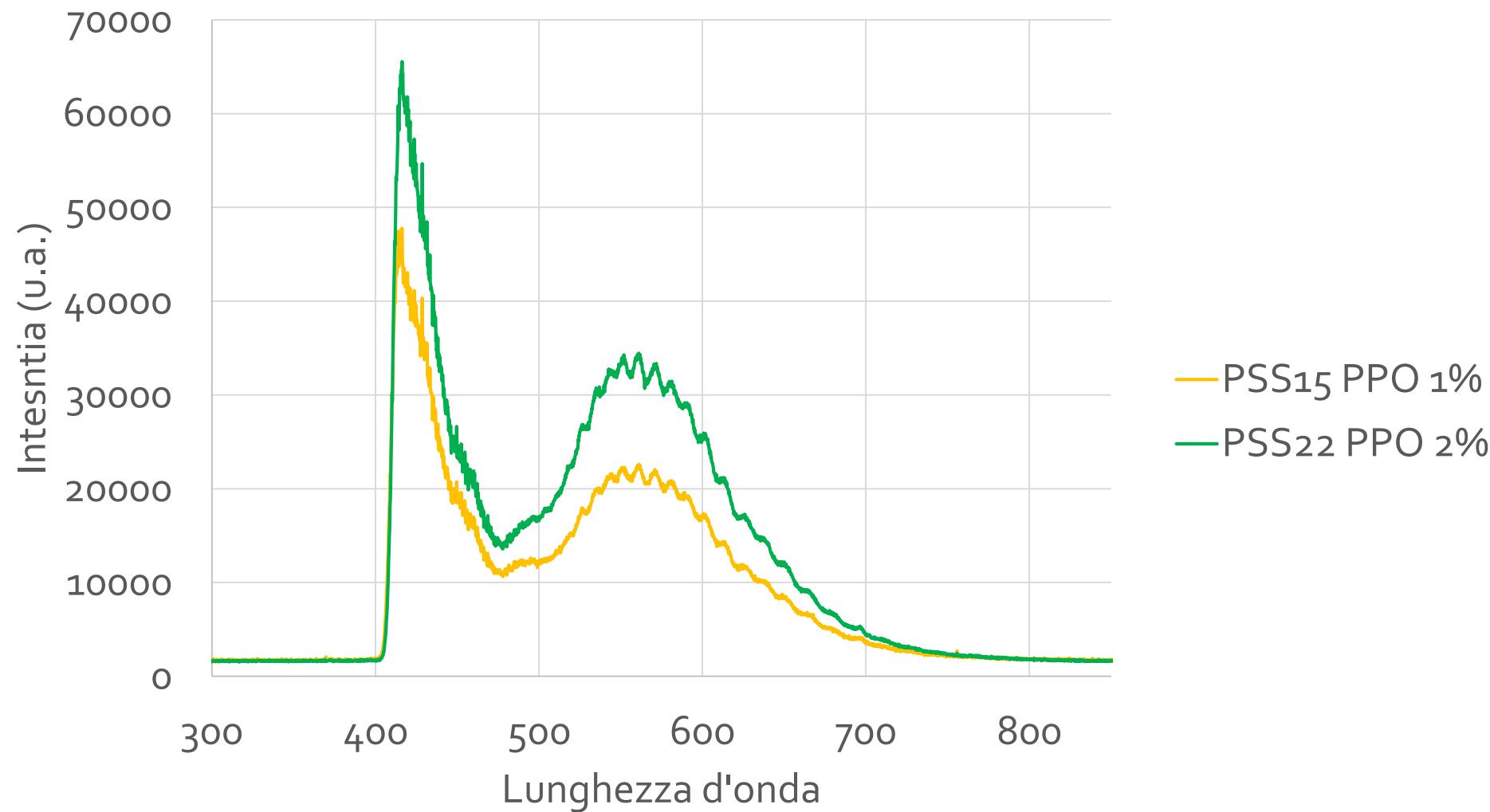
Picco relativo alla  
rivelazione delle particelle  
cariche emesse in seguito  
alla cattura neutronica:



# ANALISI DI FLUORESCENZA



## Confronto PSS<sub>15</sub>PPO<sub>1</sub> PSS<sub>22</sub>PPO<sub>2</sub>



# Conclusioni

1. Abbiamo prodotto scintillatori organici a base di silicone in grado di rivelare particelle  $\alpha$  e raggi  $\gamma$  con buona resa;
2. Abbiamo verificato la variazione di risposta degli scintillatori prodotti a seconda del tipo di particelle e della loro energia;
3. Abbiamo ottimizzato la resa di luce variando la percentuale di PPO a seconda della resina di partenza;
4. Abbiamo reso sensibili ai neutroni termici i nostri rivelatori aggiungendo una molecola contenente BORO e ne abbiamo verificato la risposta;
5. Abbiamo sintetizzato ZnS attivato con Mn come scintillatore inorganico e l'abbiamo caratterizzato con SEM e EDS;
6. Abbiamo preparato anche dei nanocristalli di LiF utili per la rivelazione di neutroni.



**GRAZIE DELL'ATTENZIONE**