



Studio di fattibilità di un rivelatore compatto per neutroni termici

Massimo Barbagallo

***Dipartimento di Fisica e Astronomia
6 Ottobre 2009***

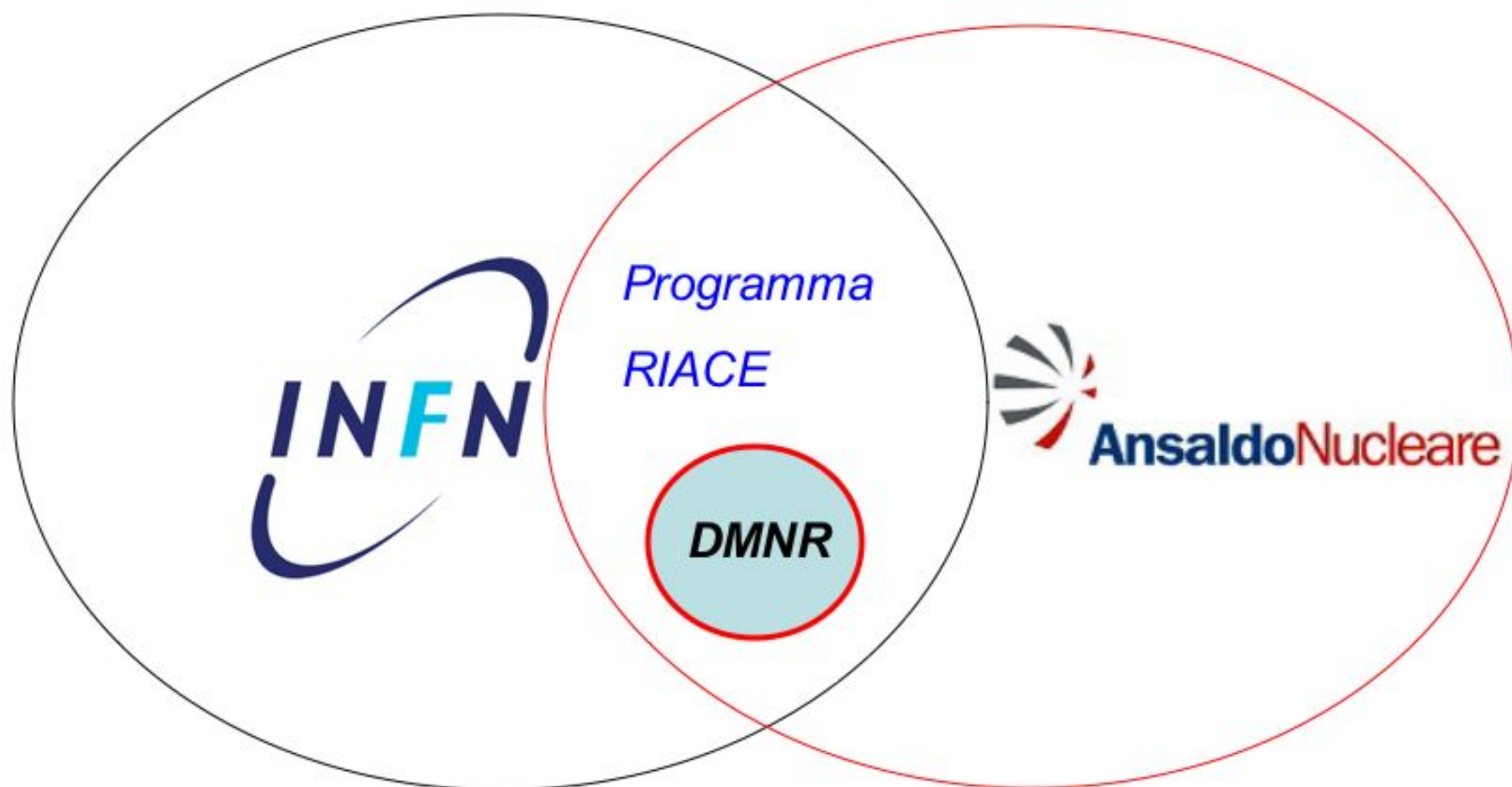
Relatori:

Chiar.mo Prof. Giorgio Bellia

Dott. Paolo Finocchiaro

Dott. Luigi Cosentino

Il contesto



Detector Mesh for Nuclear Repositories



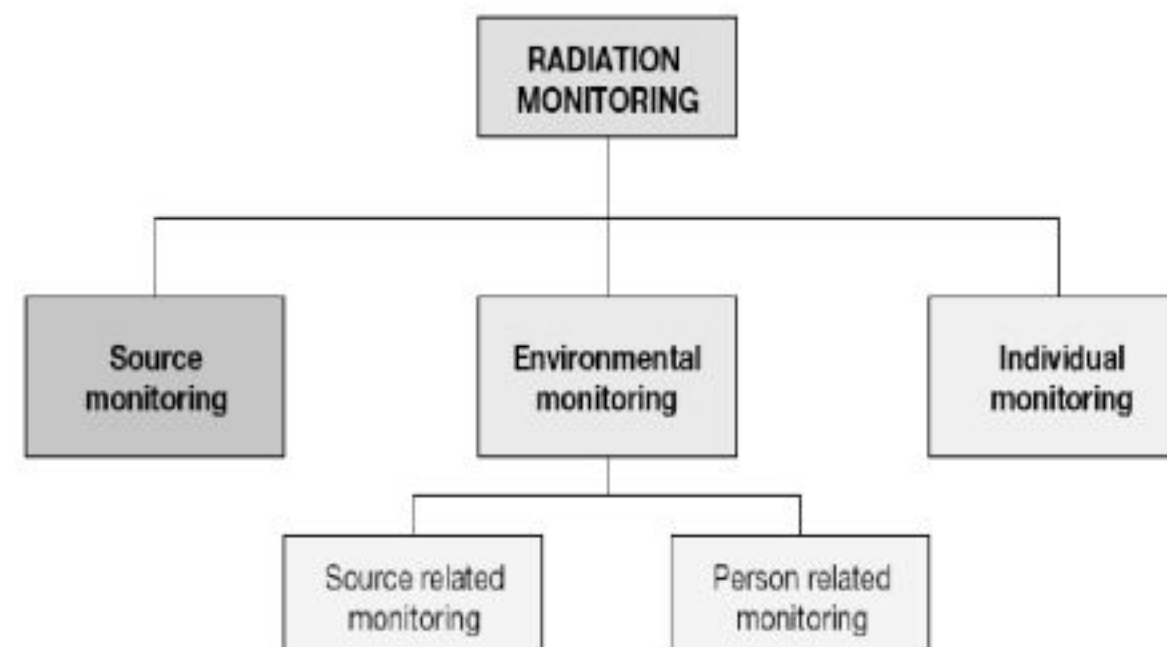
Monitoraggio scorie radioattive

Il problema delle scorie radioattive di basso e medio livello

Isotopo	Attività specifica Prodotto Finito (Bq/l)	Attività totale nel fusto (20 litri) (Bq)
Co-60	1.80E+06	3.60E+07
Sr-90	8.35E+09	1.67E+11
Tc-99	1.60E+07	3.20E+08
Cs-137	7.06E+09	1.41E+11
Eu-152	2.97E+06	5.94E+07
Eu-154	1.00E+07	2.00E+08
Pu-241	1.41E+08	2.82E+09
Pu-238	1.20E+08	2.40E+09
Pu-239	1.76E+07	3.52E+08
Pu-240	4.40E+06	8.80E+07
U-232	1.64E+08	3.28E+09
U-233	1.81E+08	3.62E+09
U-234	1.63E+07	3.26E+08
U-235	4.28E+05	8.56E+06
U-236	5.23E+05	1.05E+07
U-238	5.32E+05	1.06E+07
Th232	6.11E+05	1.22E+07
Th-228	1.69E+08	3.38E+09
Tl-208	6.10E+07	1.22E+09
Am-241	1.48E+07	2.96E+08



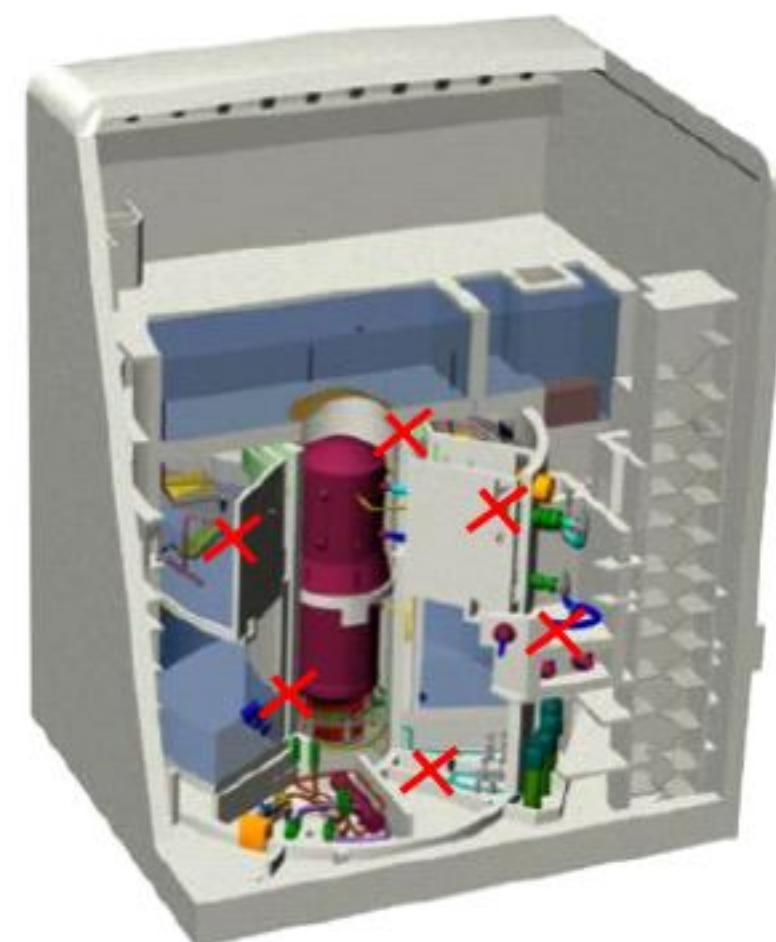
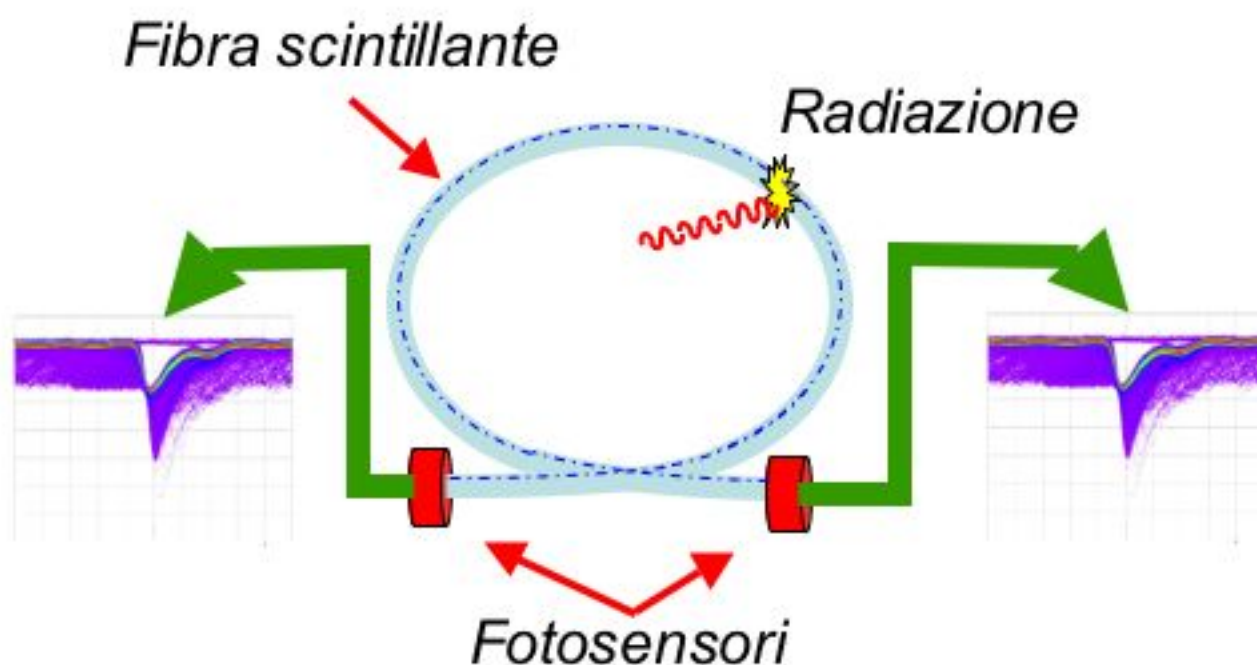
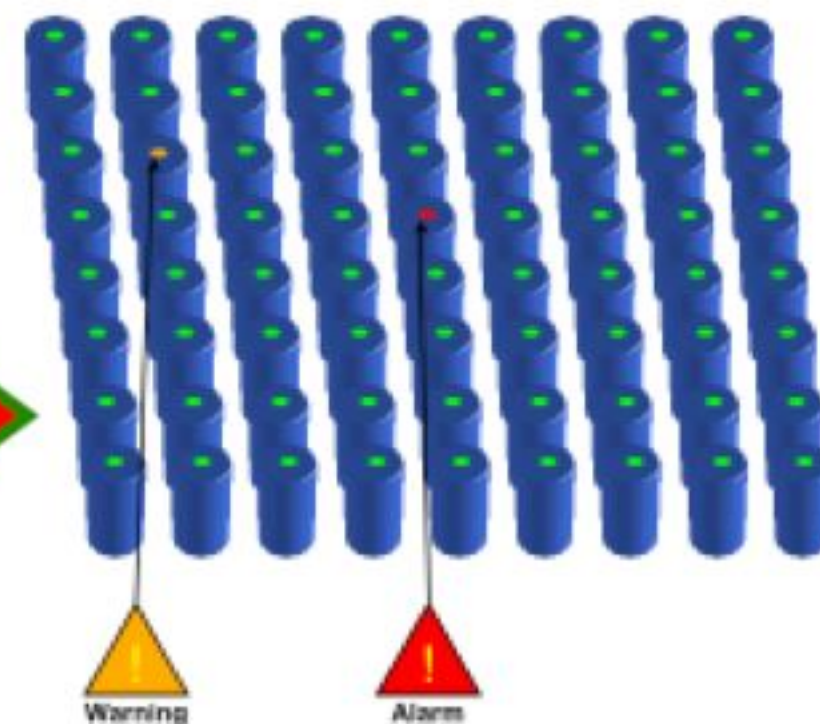
IAEA, Environmental and Source Monitoring,
Safety Guide, No. RS-G-1.8



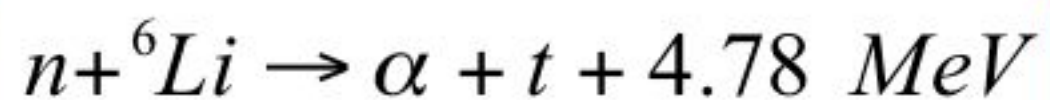
La soluzione proposta

Una griglia di rivelatori dotati di

- ✓ *Bassa efficienza e alta sensibilità*
- ✓ *Robustezza*
- ✓ *Affidabilità*
- ✓ *Facilità di uso*
- ✓ *Resistenza alle radiazioni*
- ✓ *Costi bassi*

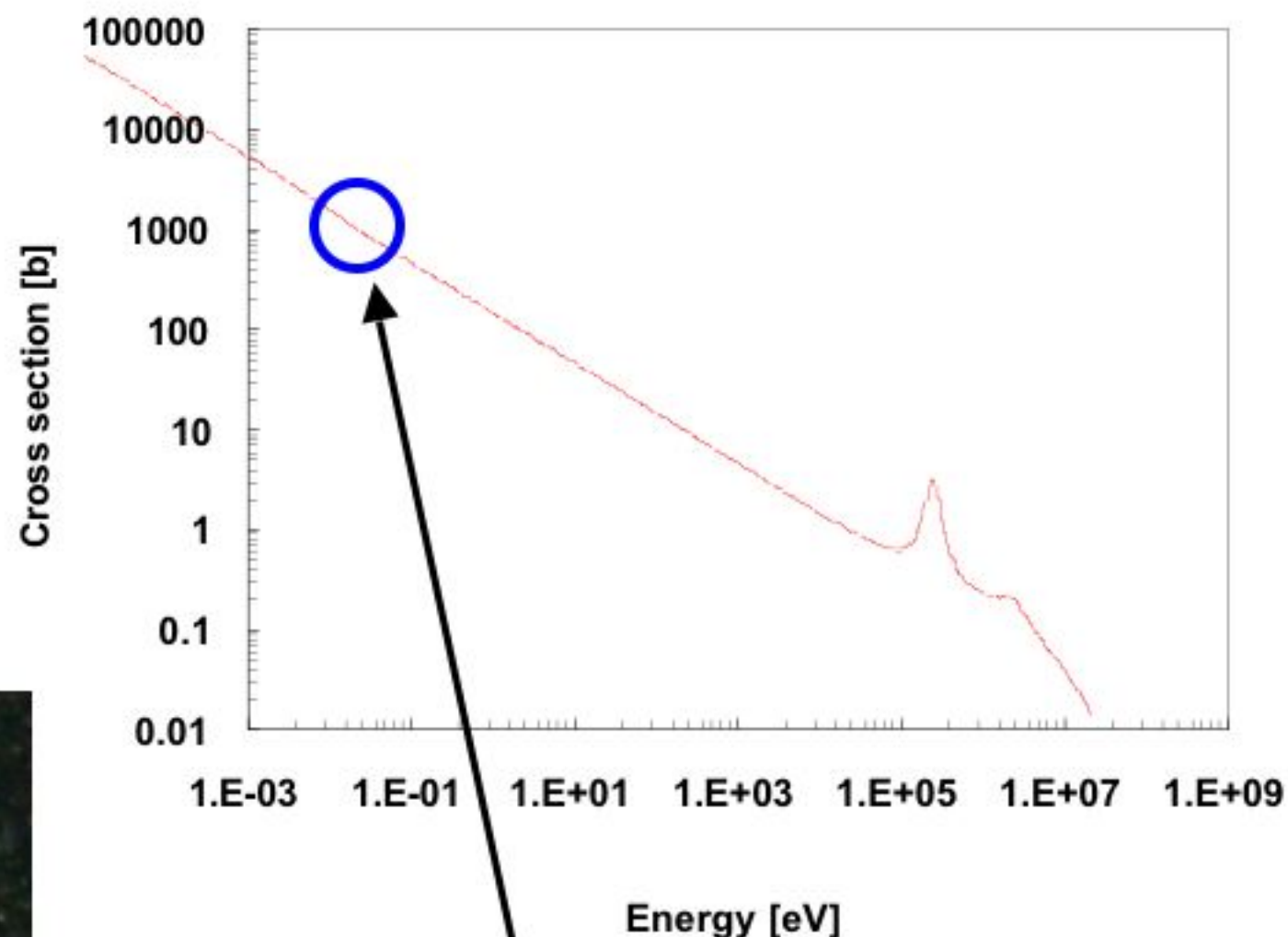


L'interazione dei neutroni termici con il rivelatore



$$E_t = 2.73 \text{ MeV}$$

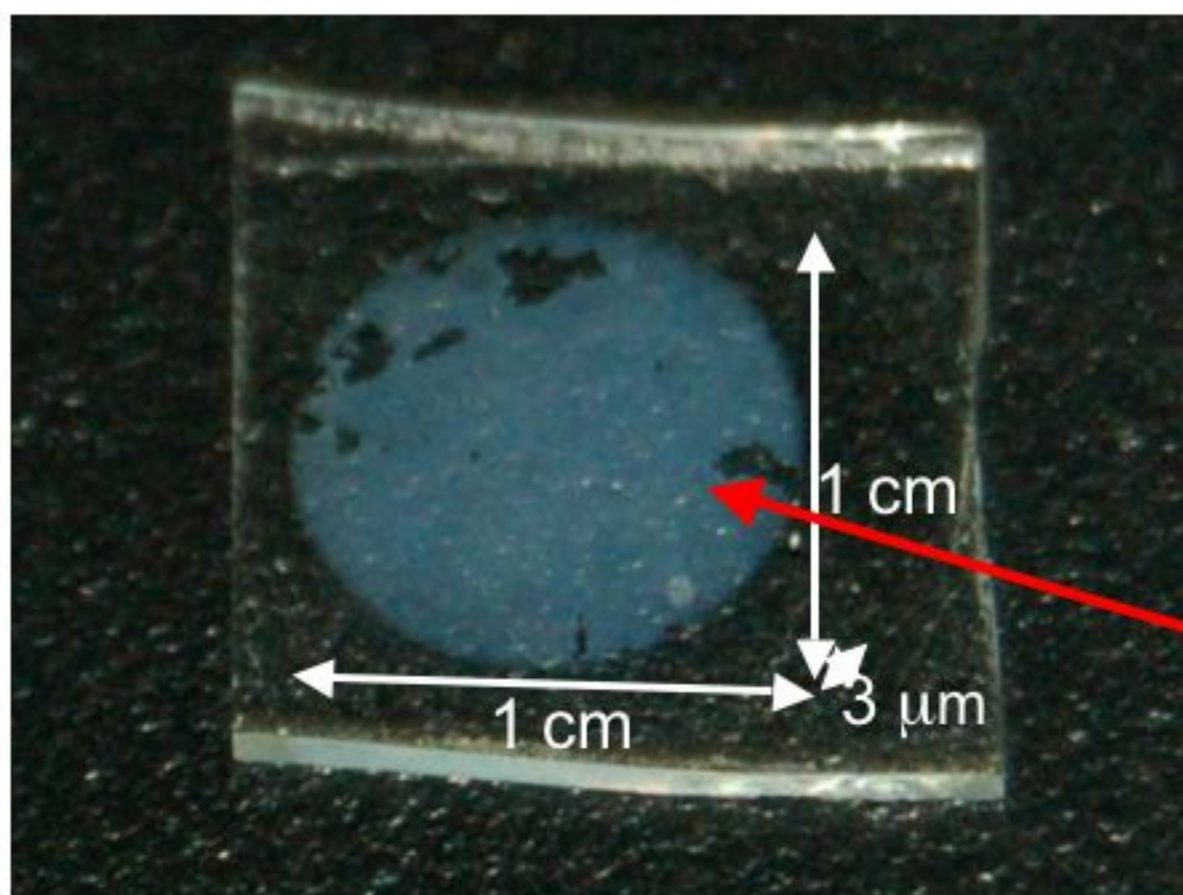
$$E_\alpha = 2.05 \text{ MeV}$$



Energie neutroni termici (0.025 eV):

$\sigma \sim 960 \text{ barn}$

LiF arricchito al 94% con ${}^6\text{Li}$



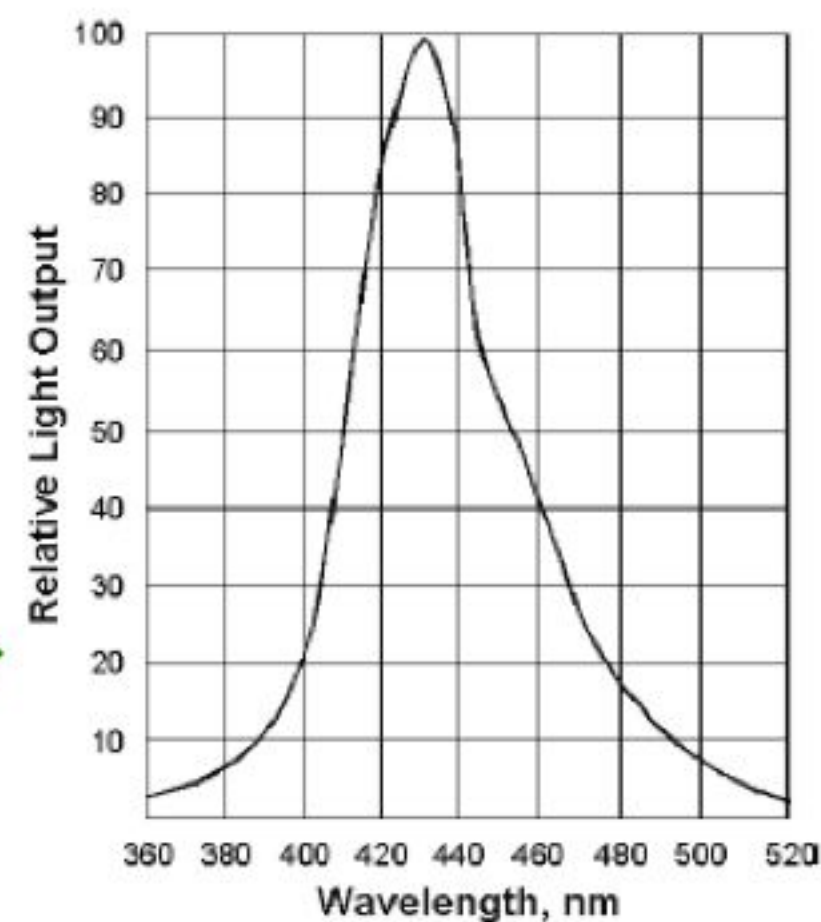
L'elemento sensibile alla radiazione

Fibra scintillante plastica
equivalente BC408

Cladding inerte (4%)

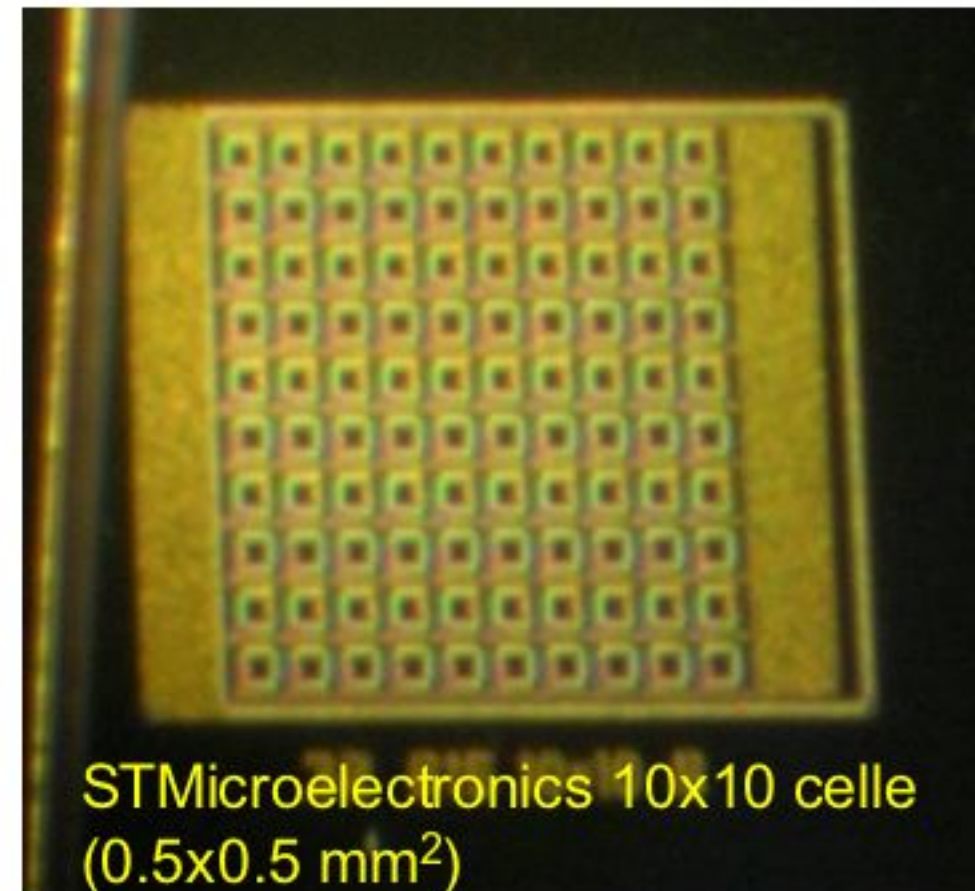
Core scintillante

Densità	1.032 g/cm ³
Indice di rifrazione core	1.58
Indice di rifrazione cladding	1.49
Rise time	0.9 ns
Decay time	2.1 ns
Spessore	≤ 1 mm
λ di massima emissione	425 nm
Lunghezza di attenuazione	3.3 m



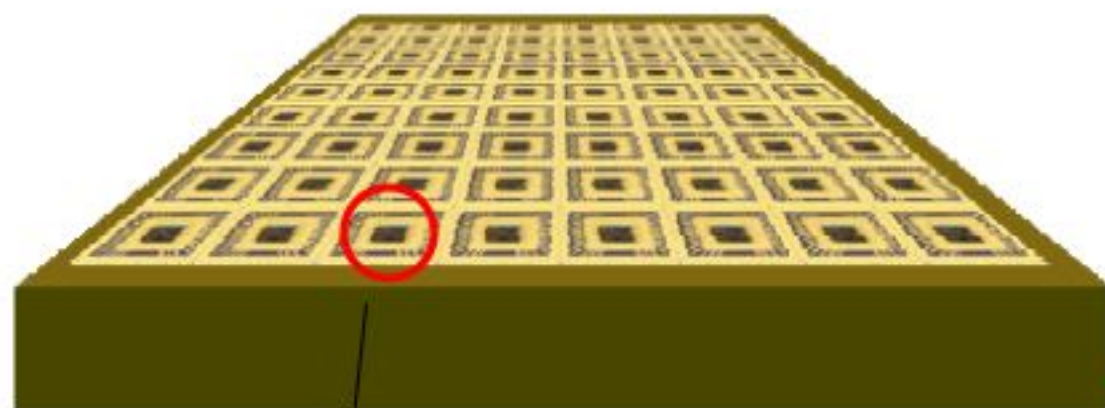
Il fotosensore di base: il SiPM

- *bassa tensione di lavoro (30 - 70 V)*
- *alti guadagni (10^5 - 10^6)*
- *buona risoluzione temporale (~ 100 ps)*
- *dimensioni ridotte ($\sim \text{mm}^2$)*

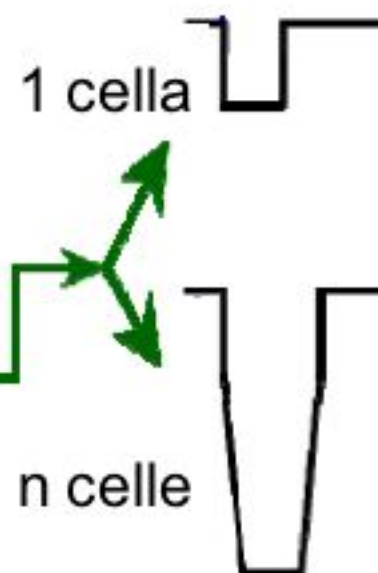


- *temperatura di lavoro $-20 \div +40$ C°*
- *λ nel range 350 ÷ 750 nm*
- *insensibilità ai campi magnetici*

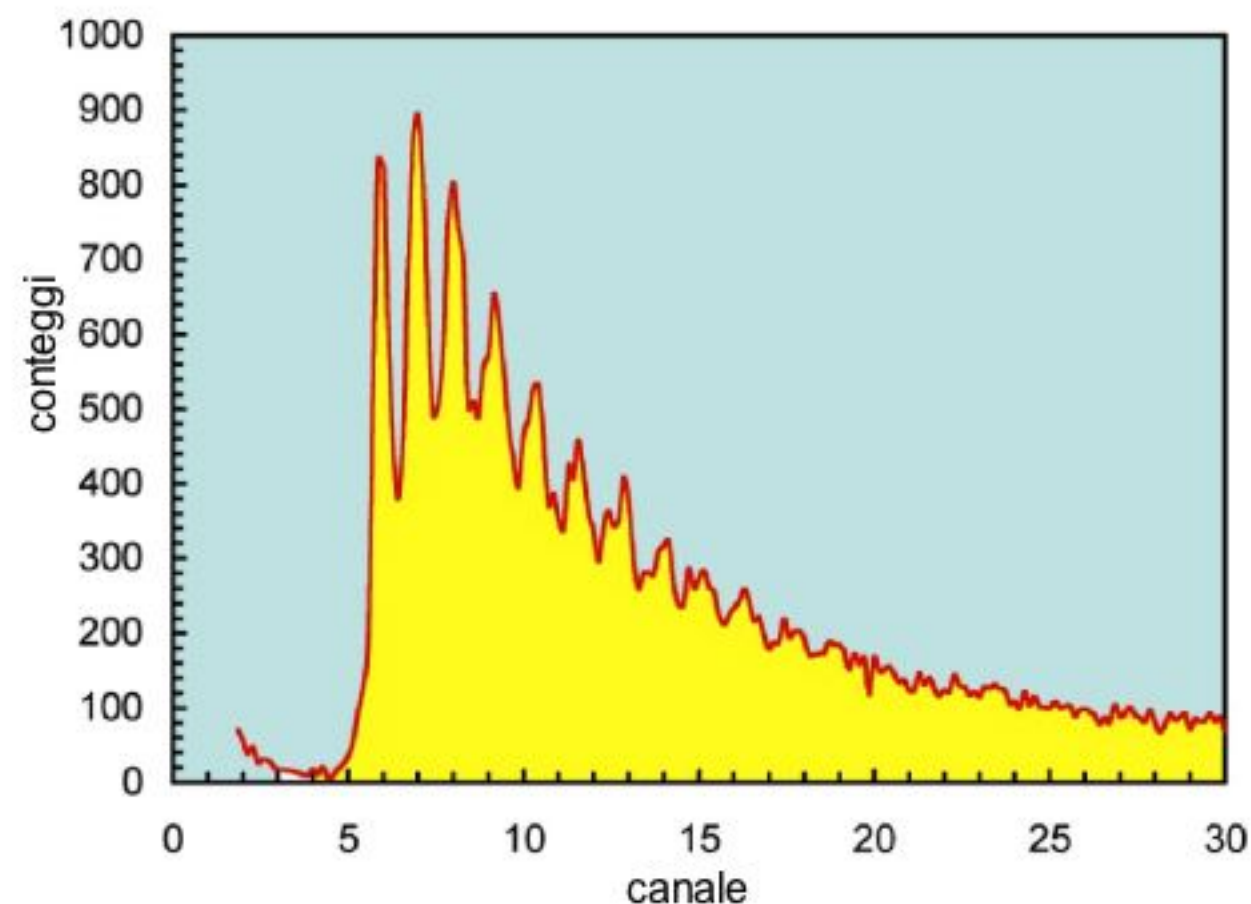
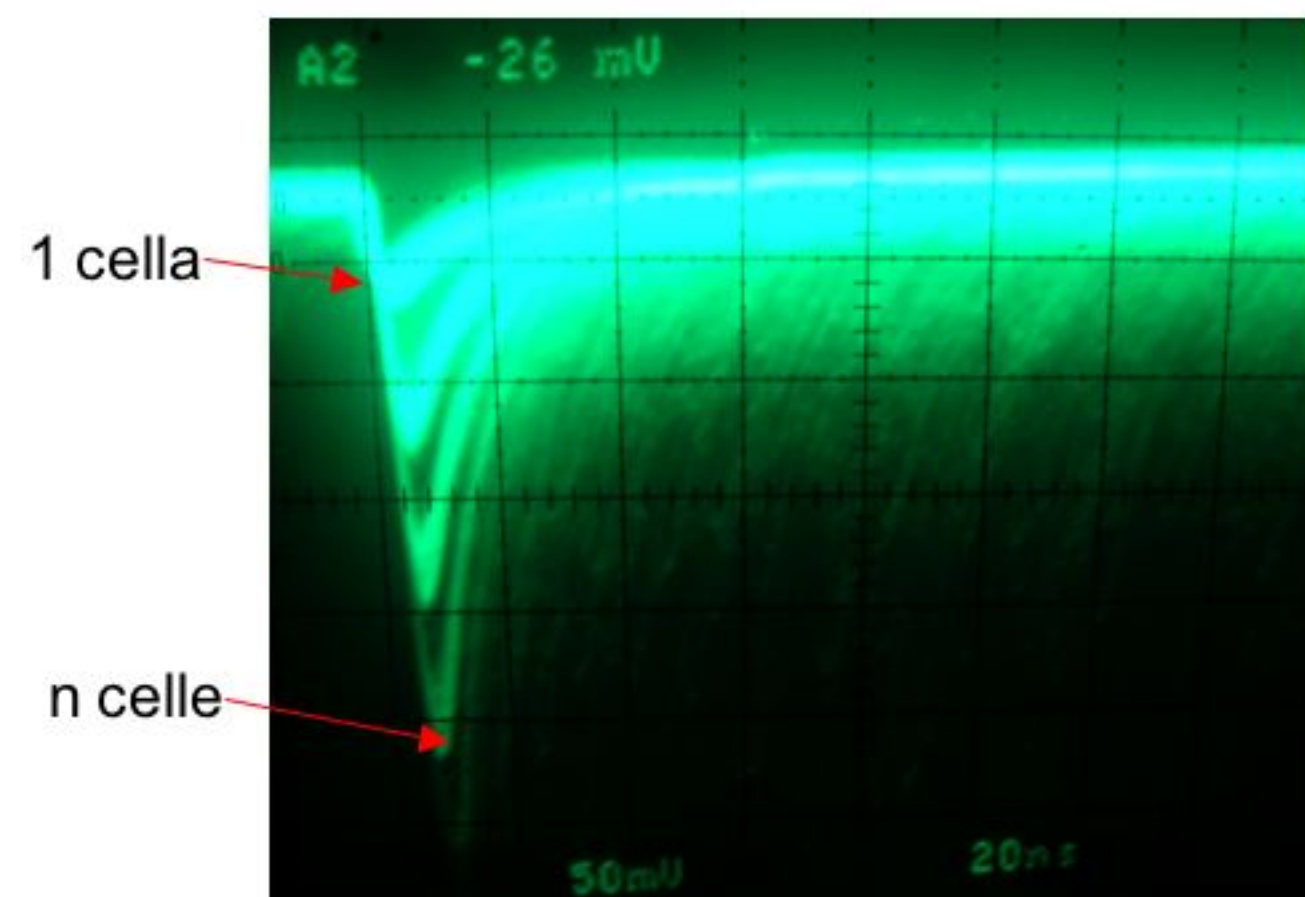
I fotosensori: SiPM



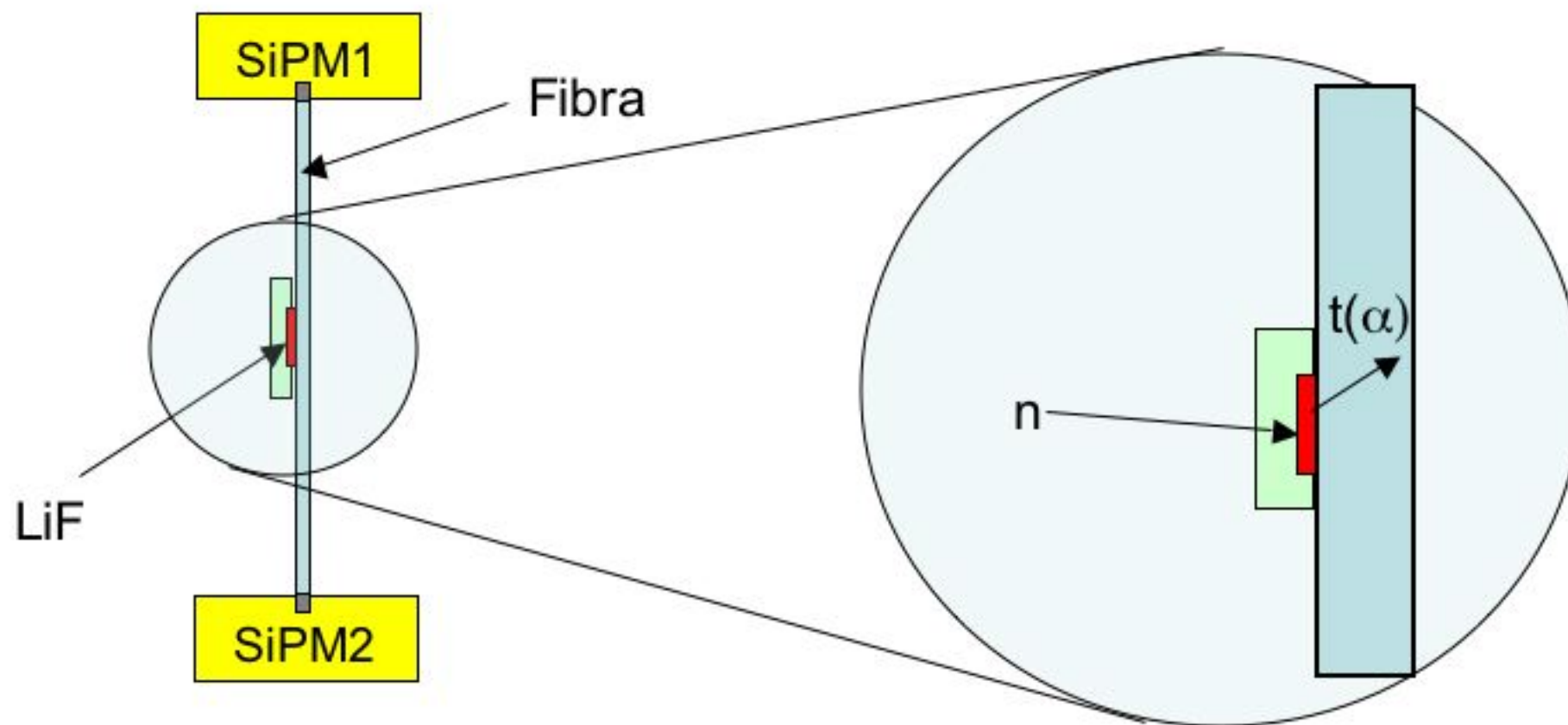
Cella = SPAD + circuito di quenching



Array bidimensionale di celle fotosensibili



Il prototipo del rivelatore



Misura di energia

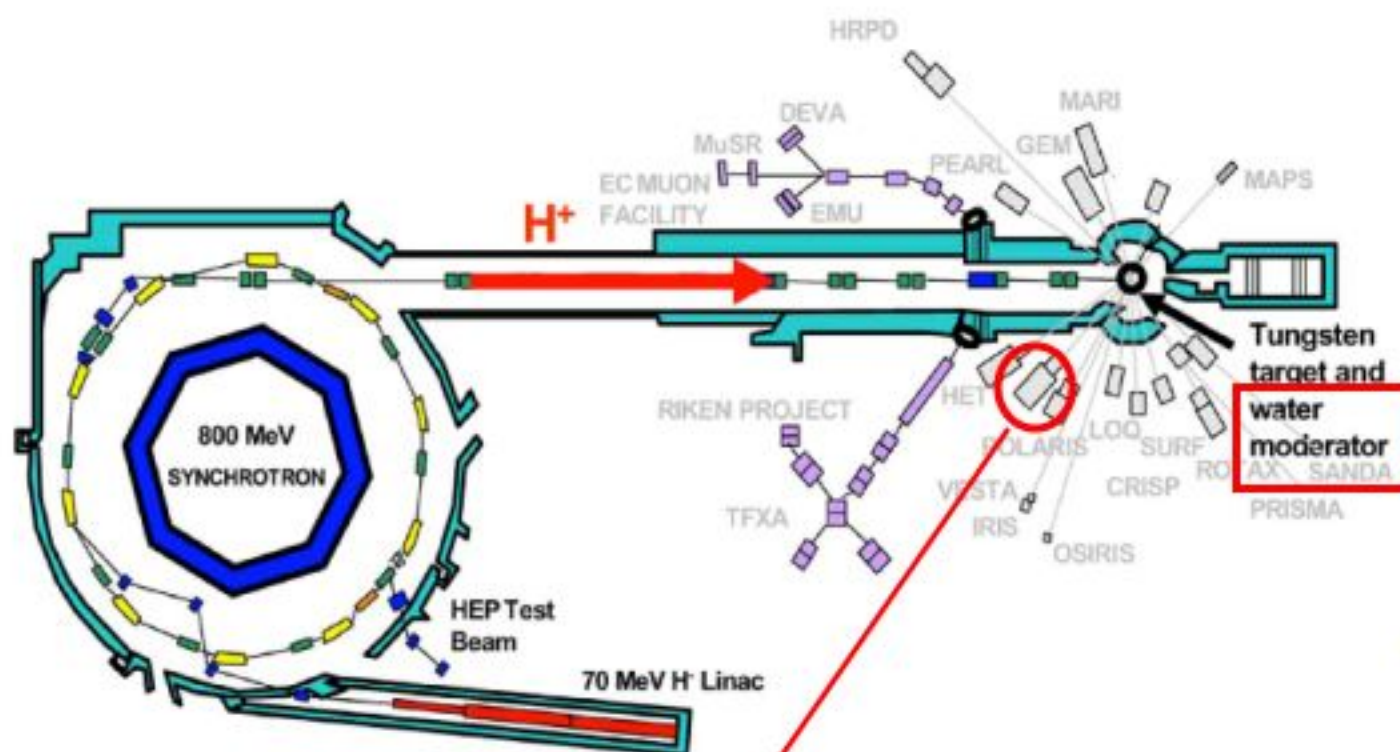
Misura di posizione

$$E \propto \sqrt{q_1 q_2}$$

$$x \propto v_g \frac{t_1 - t_2}{2}$$

I primi test

Svolti alla sorgente di neutroni ISIS (spallazione) , Rutherford Appleton Laboratory, UK



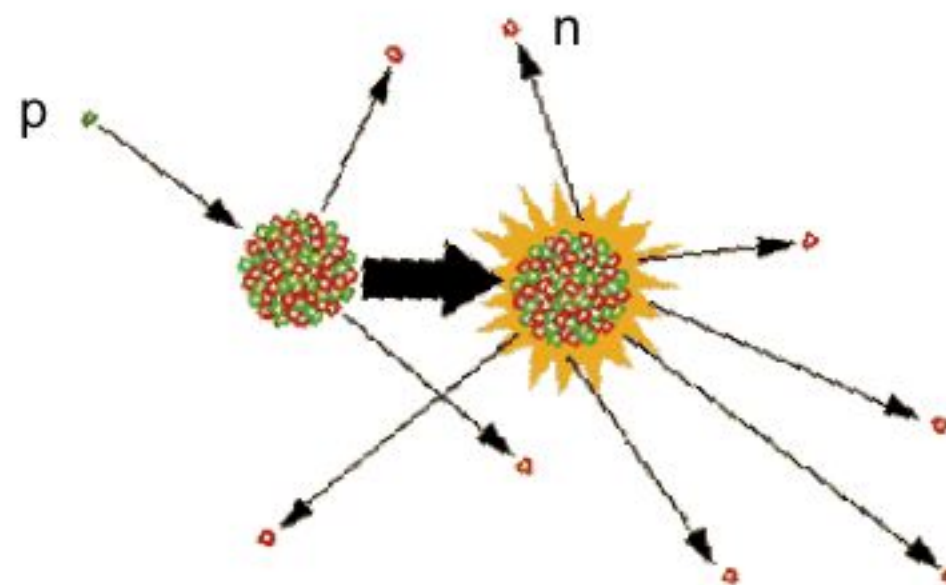
Protoni da 800 MeV su bersaglio di tungsteno

Per ogni urto 15-25 neutroni vengono emessi per interazione diretta o per evaporazione del nucleo eccitato

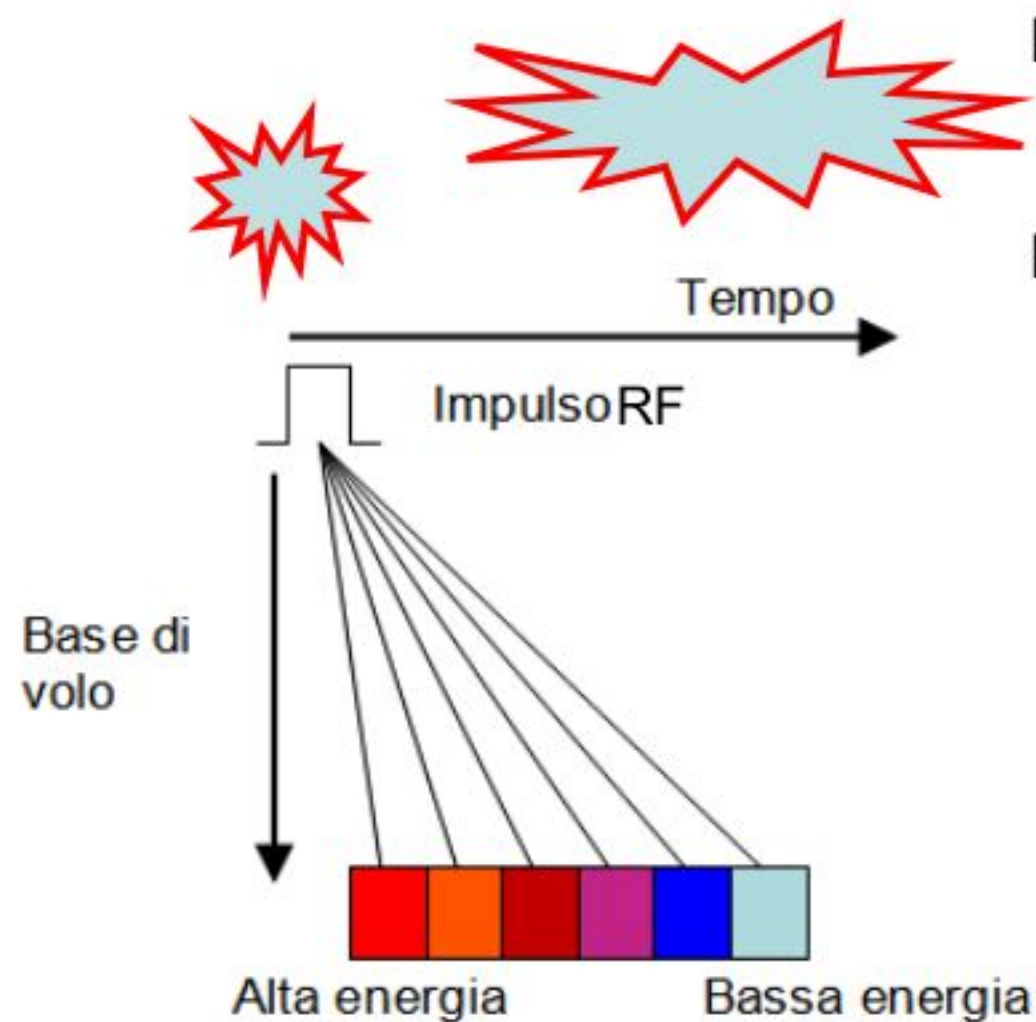
INES

$10^8 \text{ n/cm}^2/\text{s}$

$40 \times 40 \text{ mm}^2$

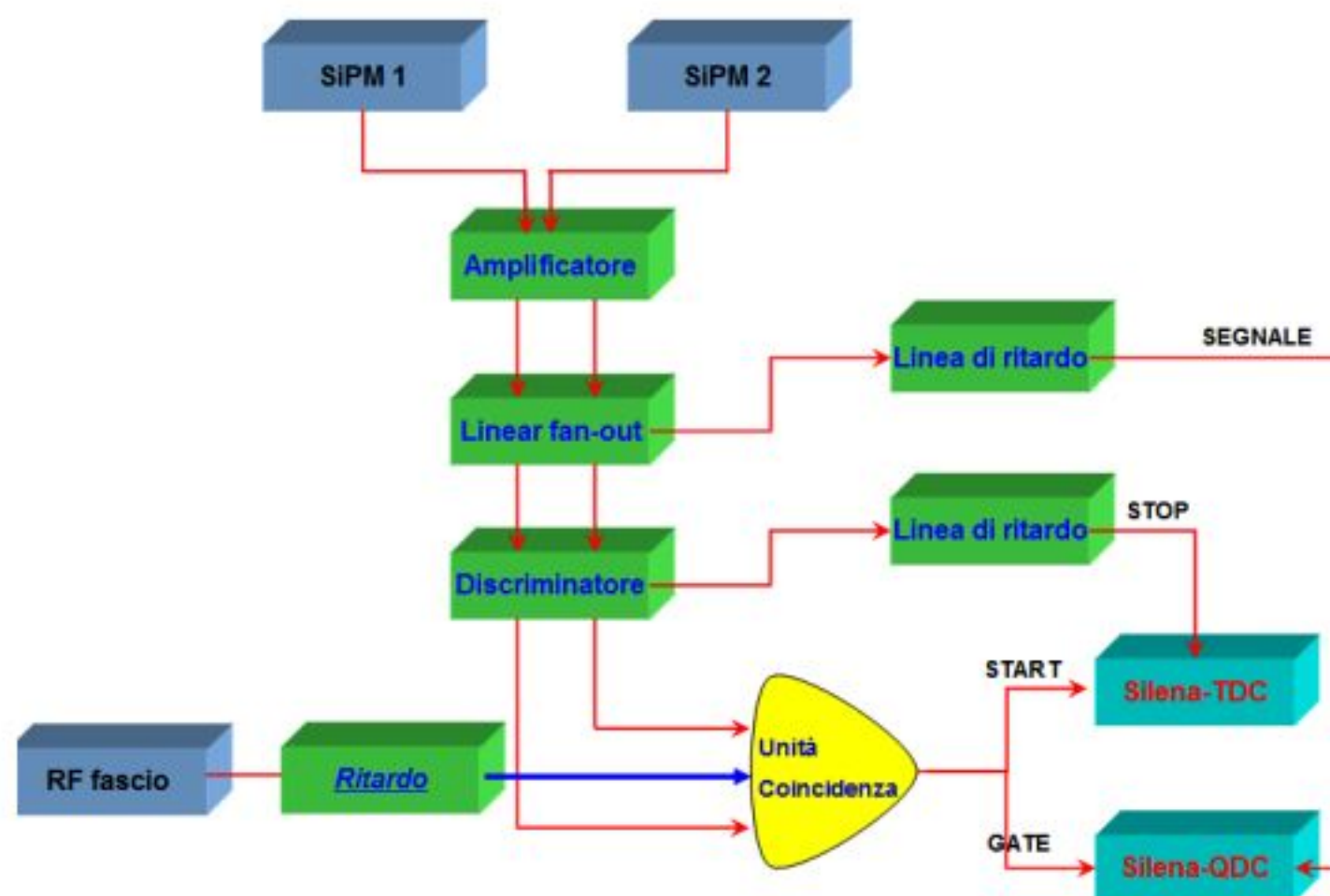


La distribuzione temporale dei neutroni



Possibilità di selezionare il range energetico dei neutroni

$$tof = \sqrt{\frac{mL^2}{2E}}$$



Le misure

Ritardo trigger $0.2 \mu\text{s} - 5 \text{ ms}$

Durata trigger $300 \mu\text{s} - 16 \text{ ms}$

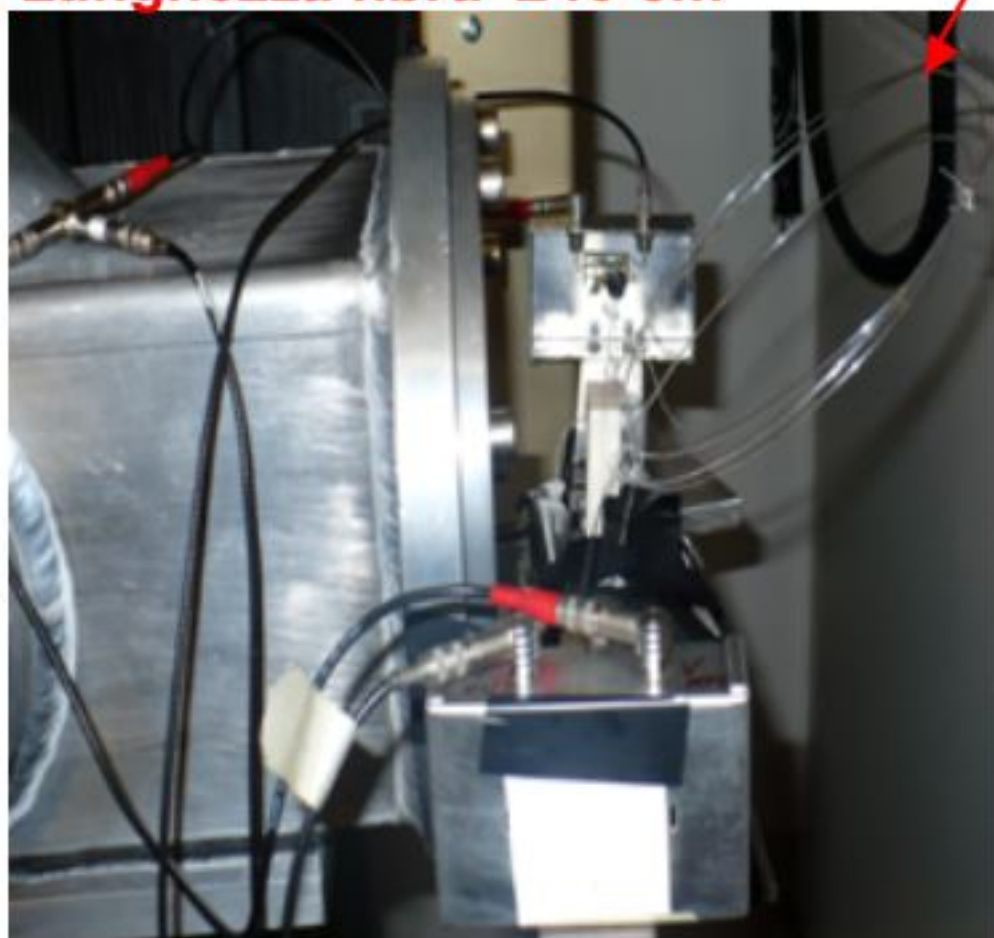


$E_n \sim 10 \text{ meV} - 75 \text{ MeV}$

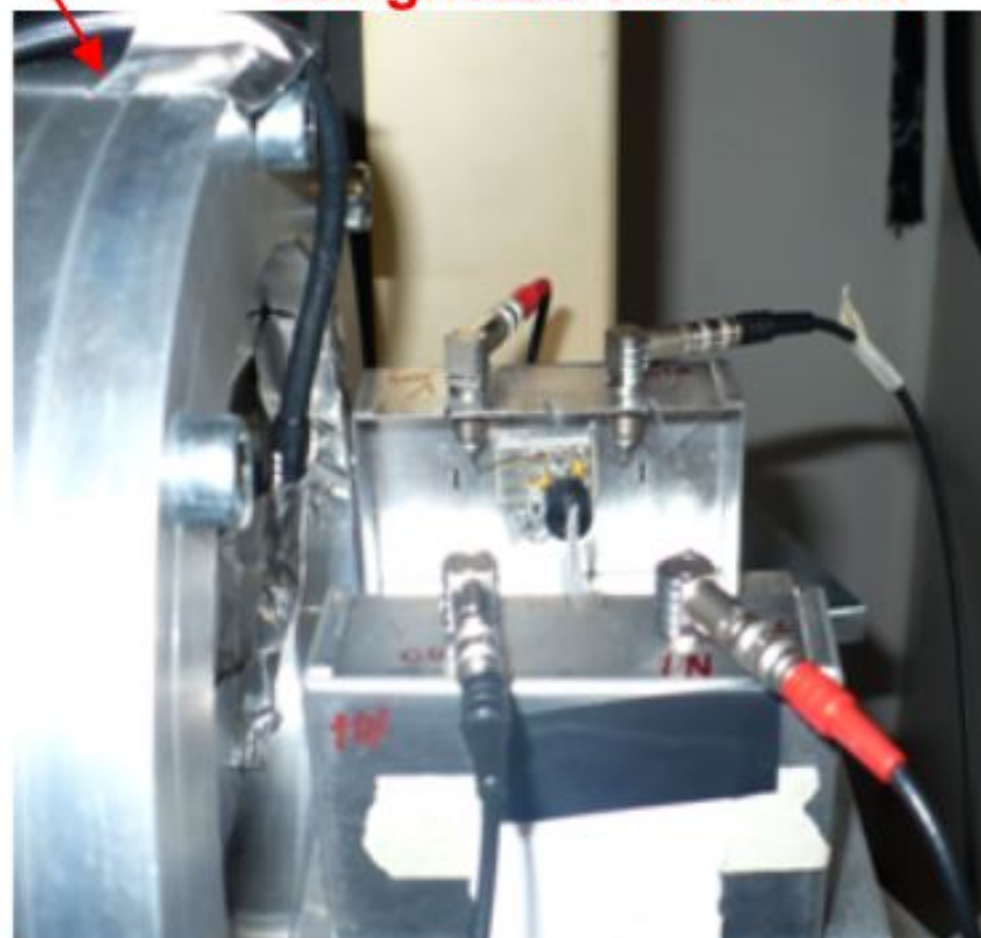
$\Delta E_n \sim 200 \text{ meV} - 75 \text{ MeV}$

Due configurazioni per il prototipo

Lunghezza fibra=240 cm



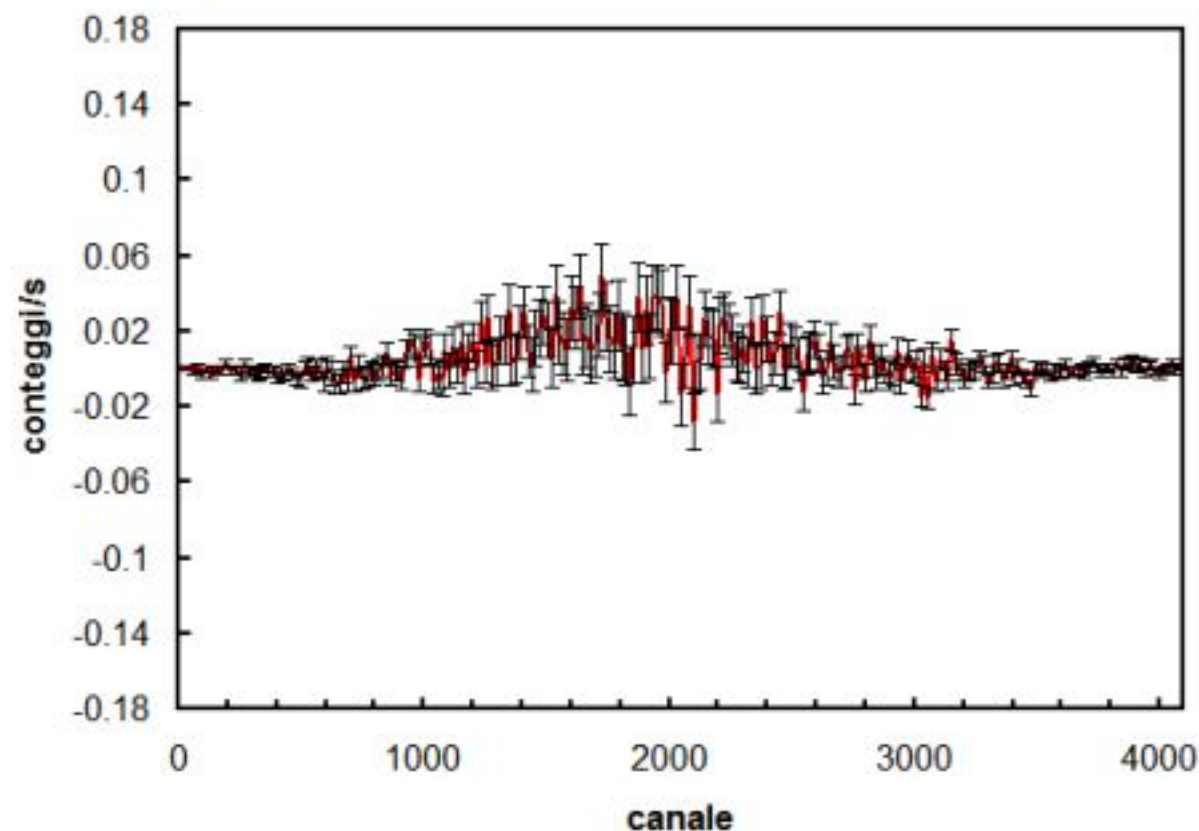
Lunghezza fibra=8 cm



Misure effettuate con convertitore e senza per effettuare confronti

I risultati

Spettro senza convertitore — Spettro con convertitore



- ! *Eccessivo rumore intrinseco dei SiPM utilizzati*
- ! *Elevata quantità di fondo gamma in INES (Sb, B, Cl)*
- ! *Convertitore danneggiato ?*

Esito non certamente positivo ma più che valide indicazioni per lo sviluppo del prototipo

I test con sorgente da laboratorio



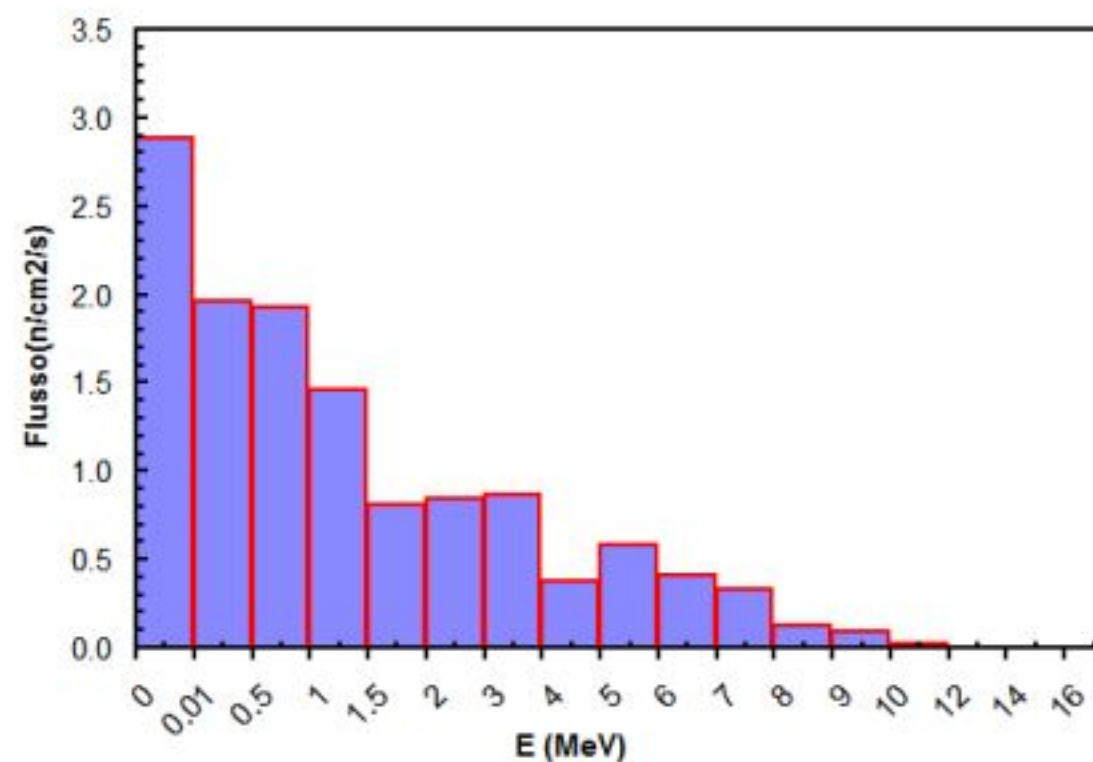
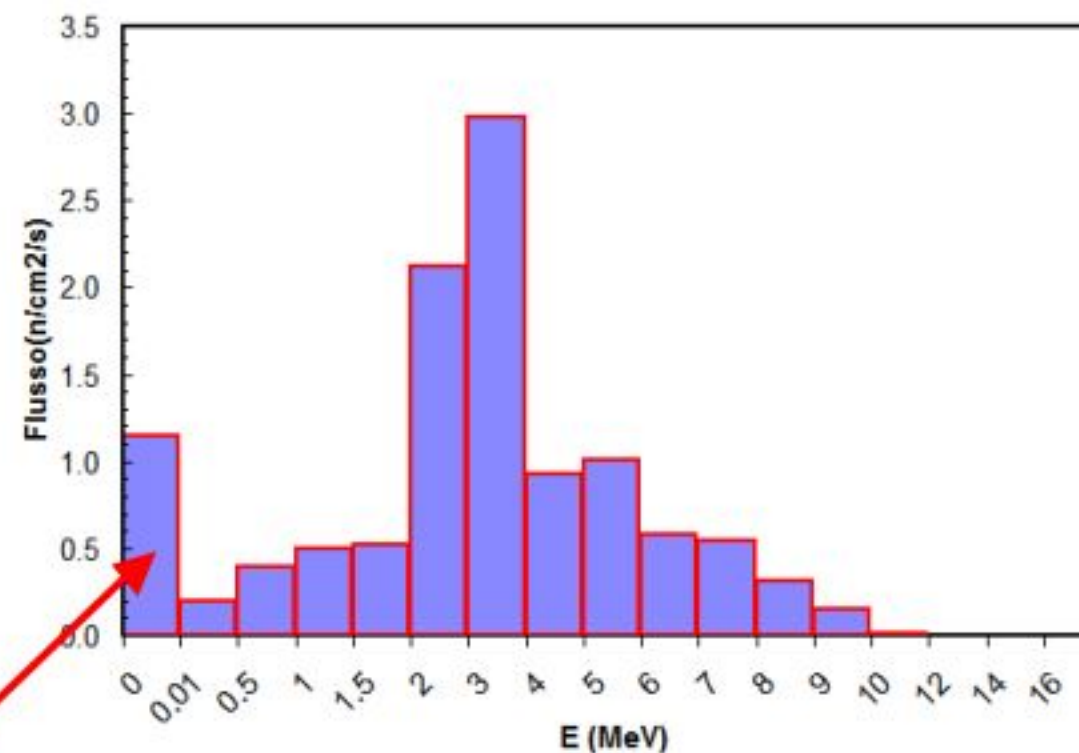
Flusso di neutroni di bassa
energia non elevato



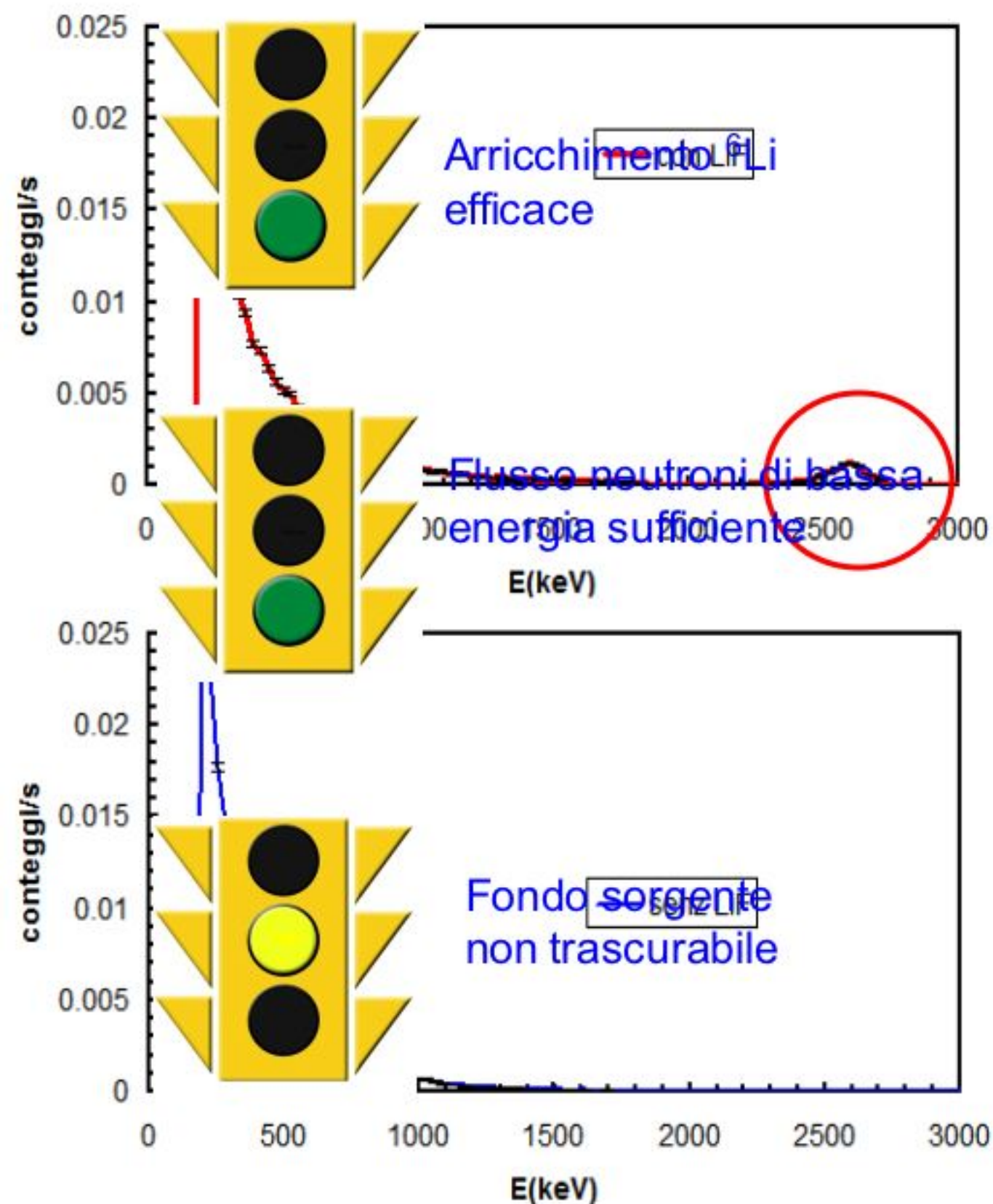
Necessità di aumentare tale flusso



Moderazione dei neutroni



I test con il rivelatore di riferimento

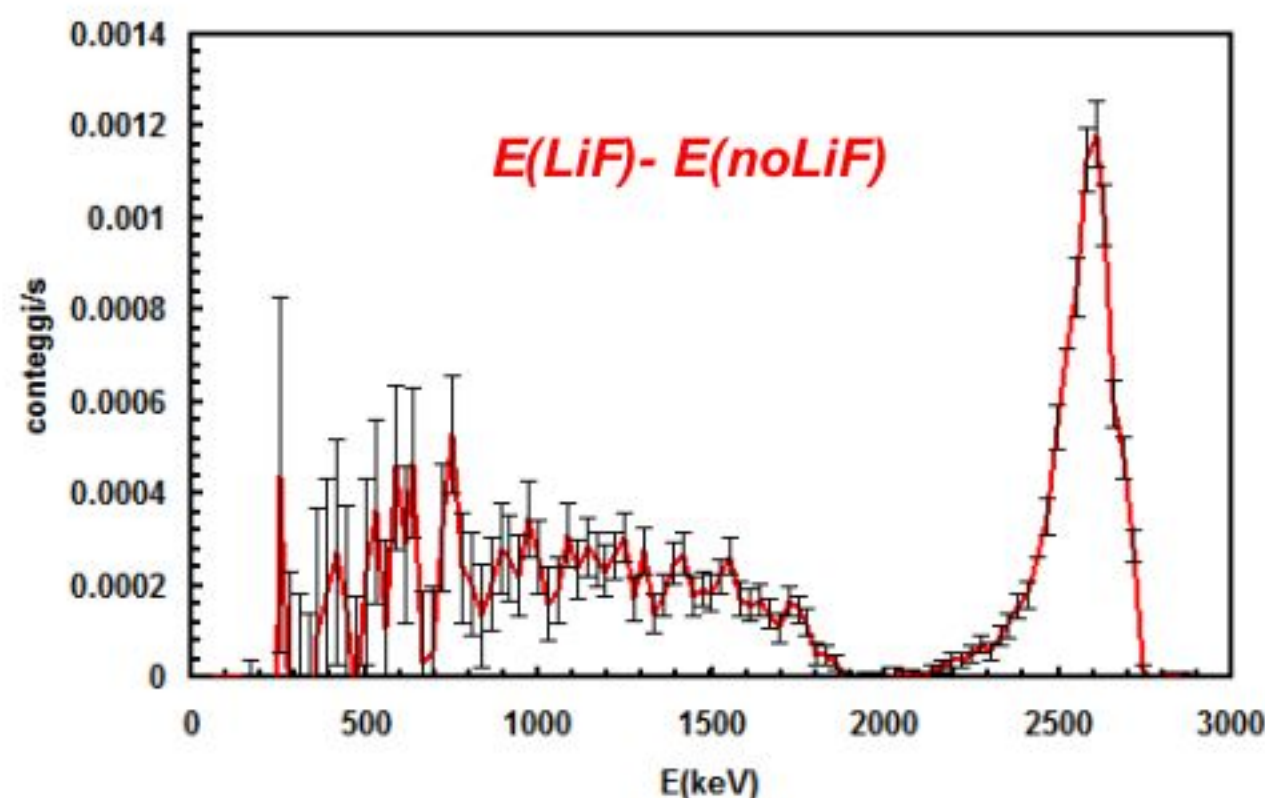


- Perdita media di energia in spessore LiF
- Perdita media di energia in aria

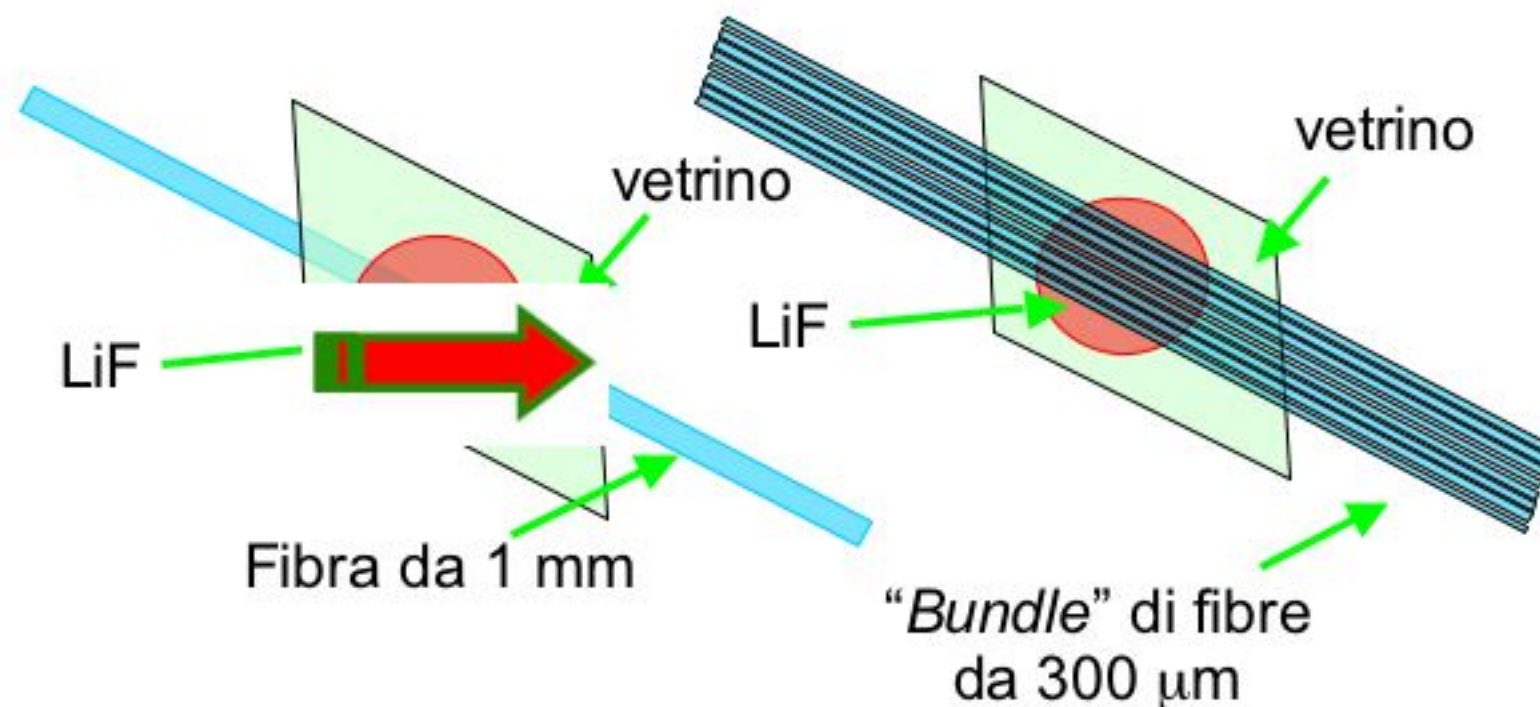


$$E_t = 2615 \text{ keV}$$

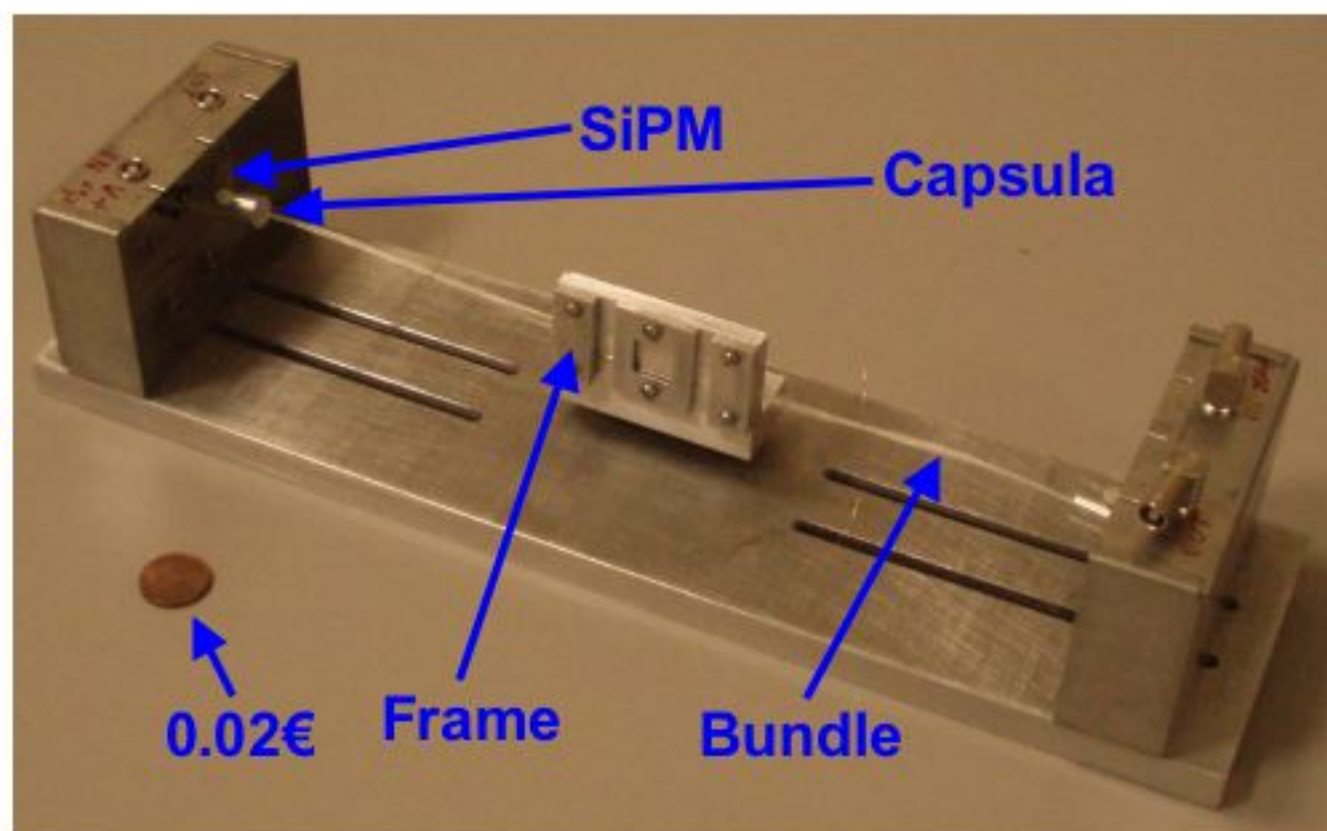
$$E_\alpha = 1435 \text{ keV}$$



Aumentare l'efficienza di rivelazione per il trizio



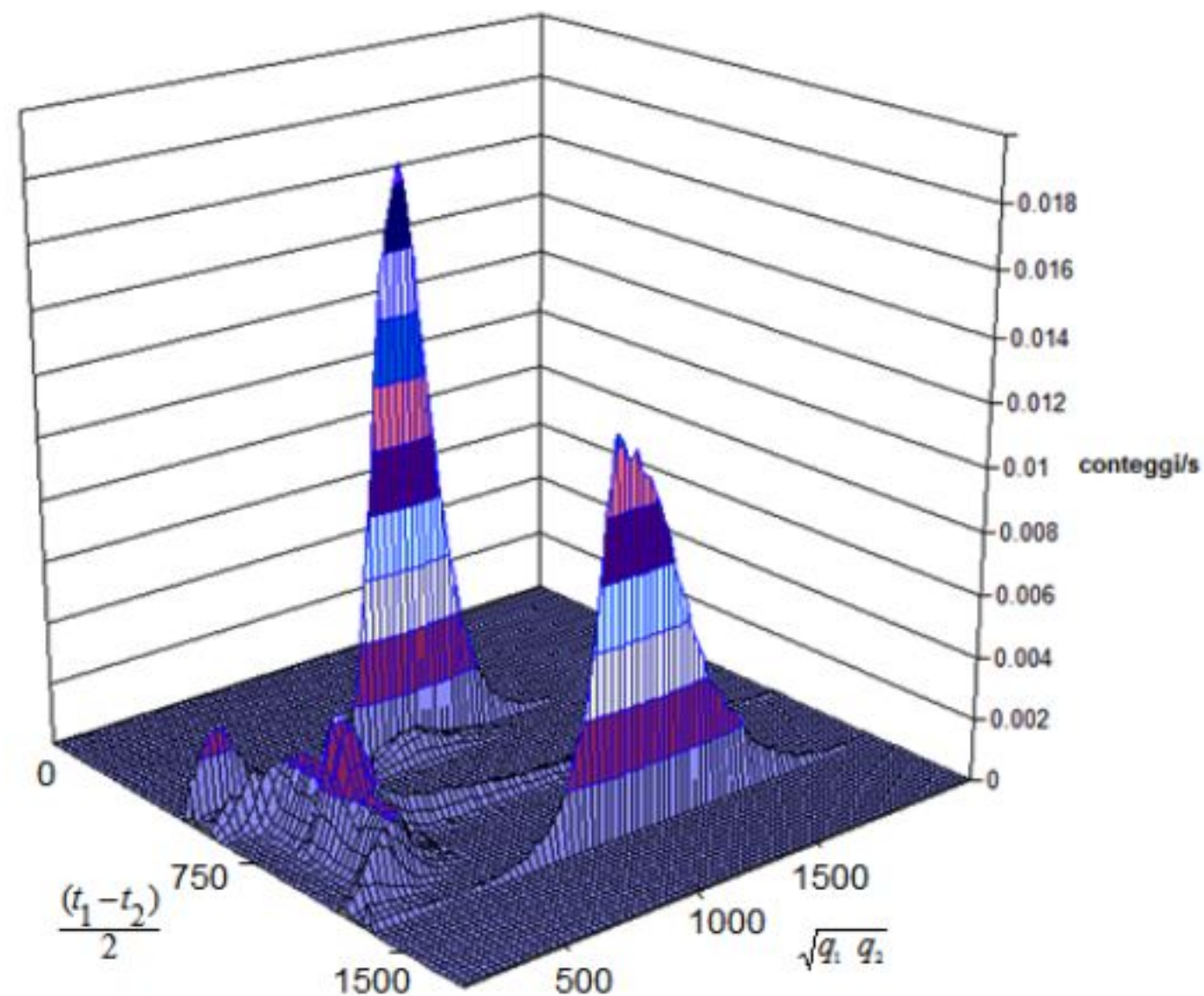
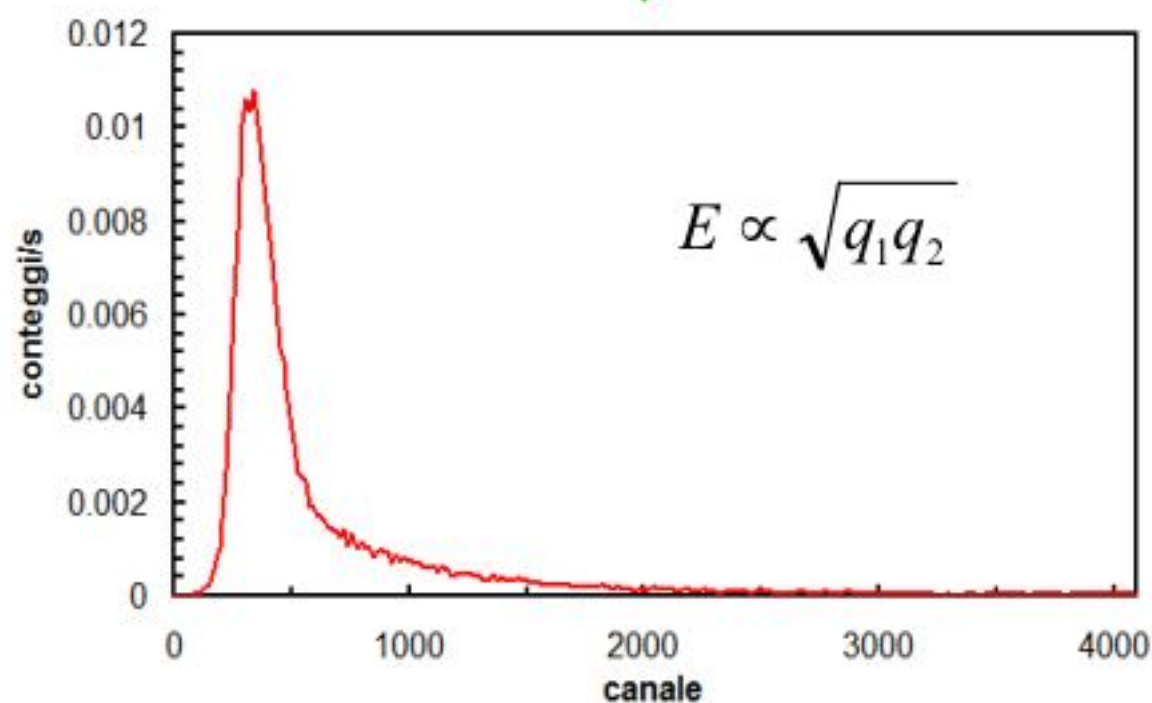
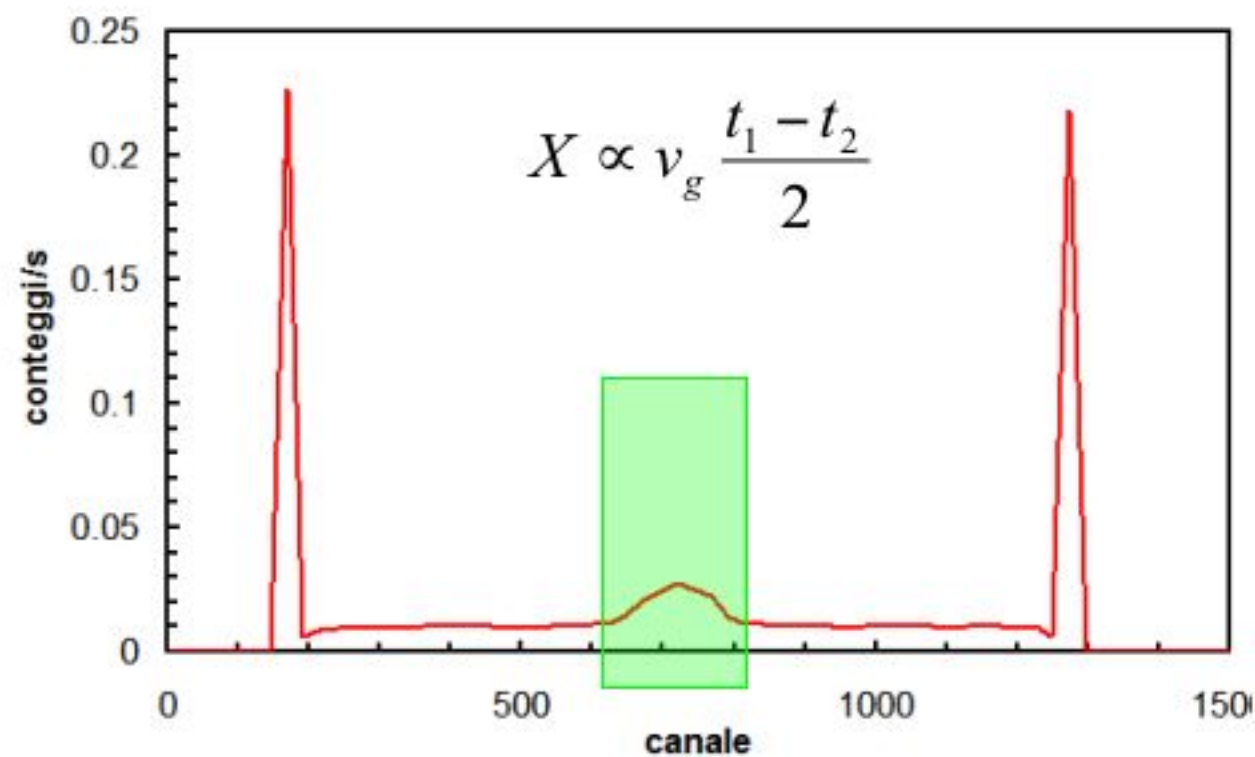
- 10 fibre da 300 μm
- 2 SiPM Hamamatsu 10x10 celle
- Frame in alluminio
- Capsule in alluminio



✓ Misura di carica

✓ Misura di tempo

La risposta del rivelatore



Selezione degli eventi dalla fibra

Le misure effettuate

Due configurazioni diverse
per il prototipo:

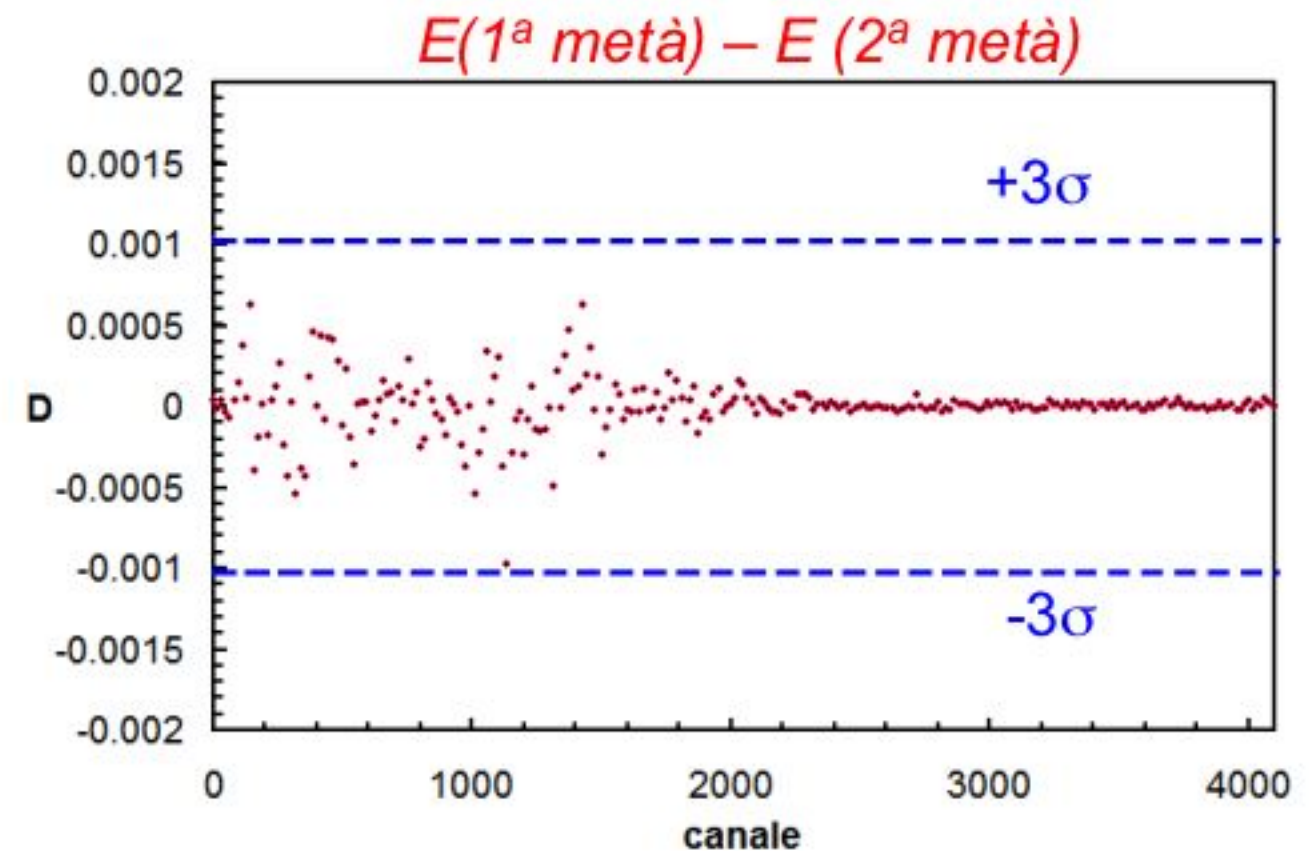
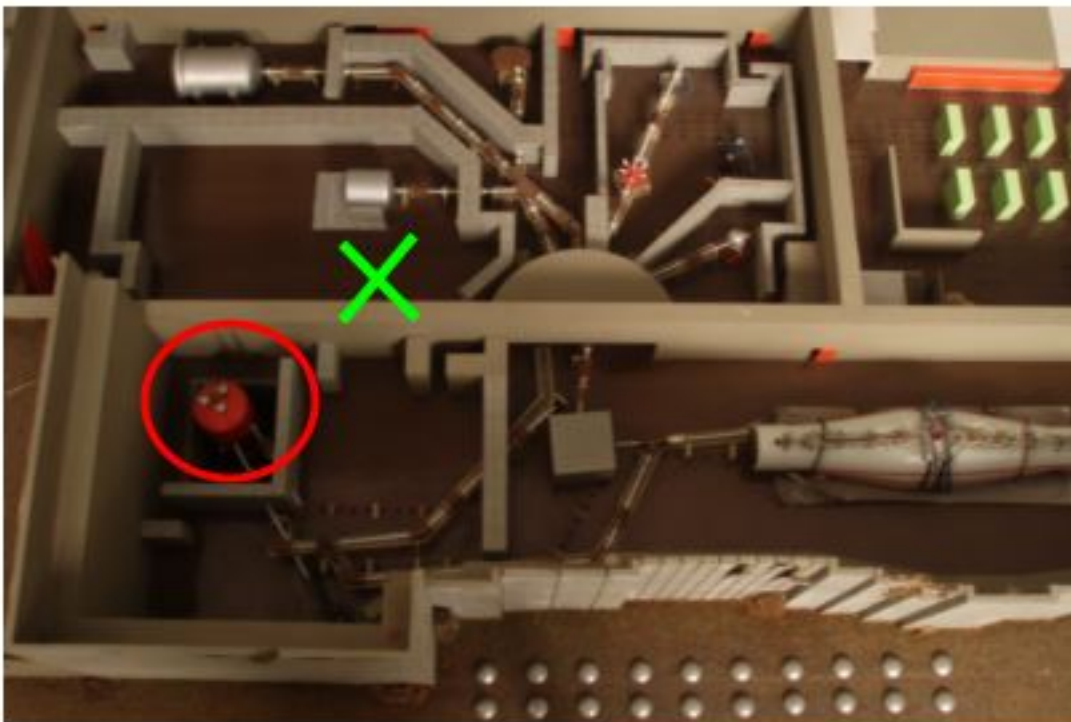
Bundle 30 cm



Bundle 9 cm

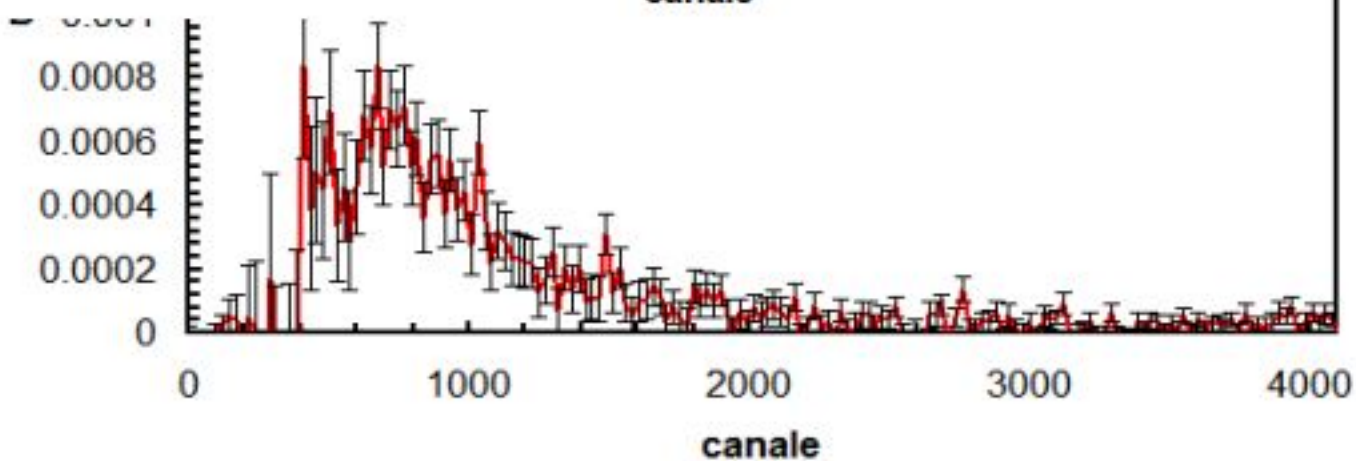
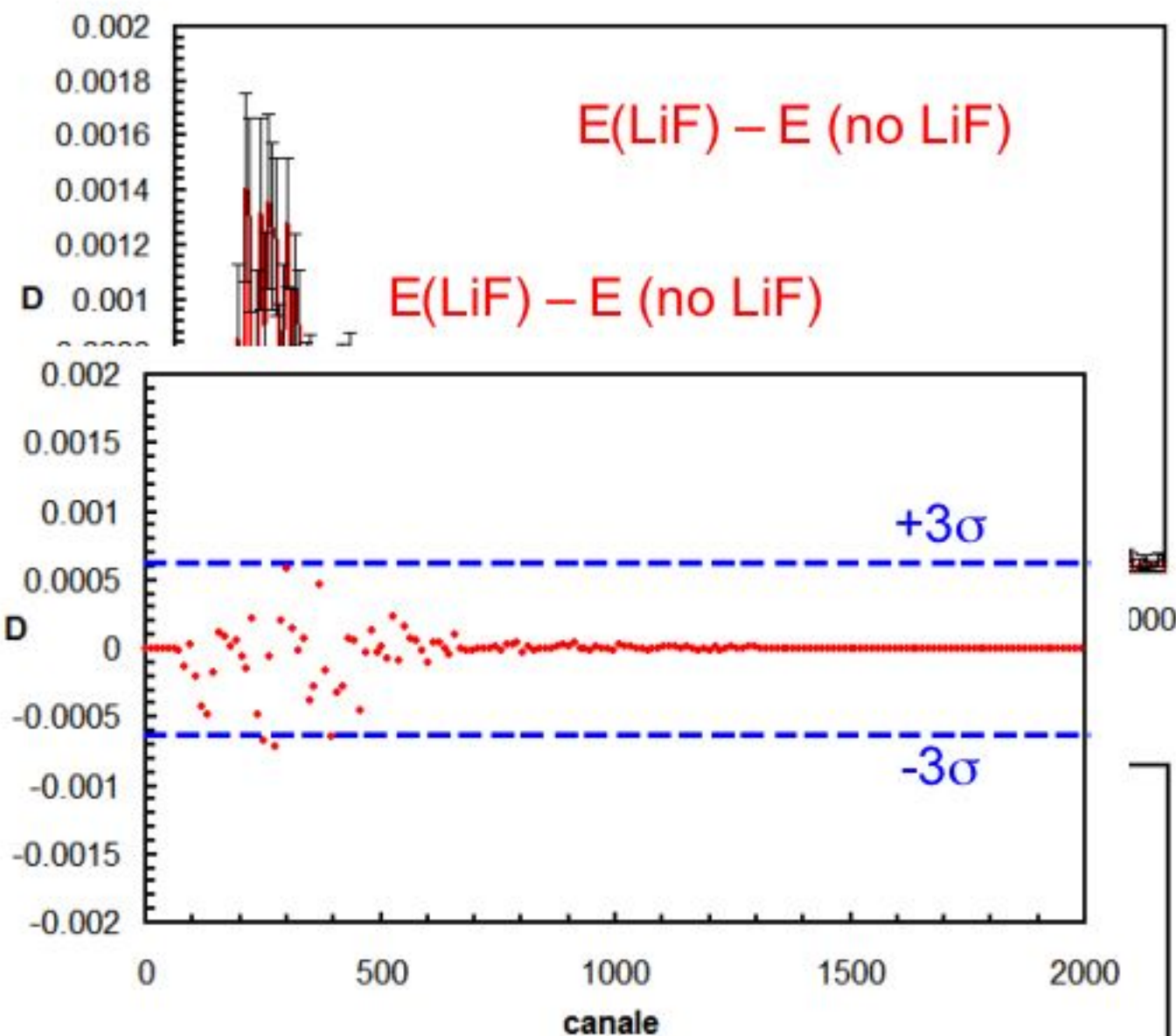
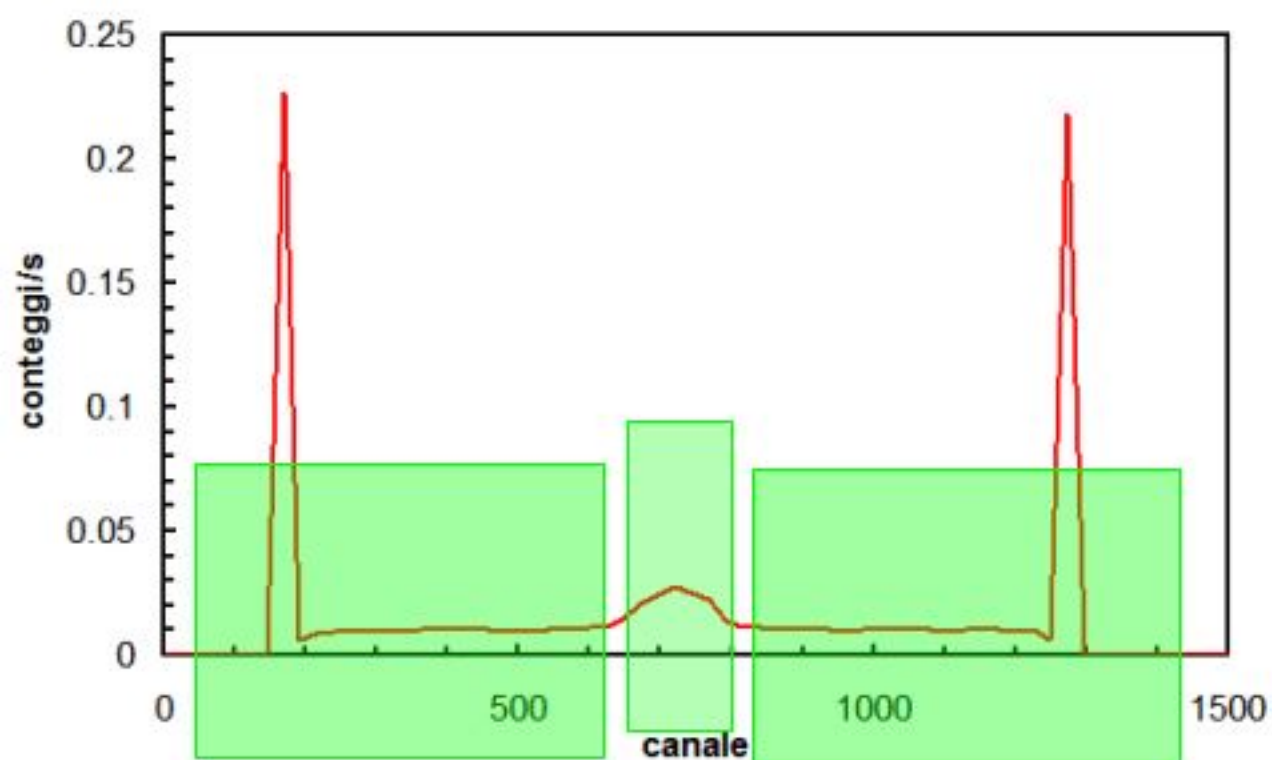


Verifica della stabilità



Bundle 30 cm

Differenza tra spettri



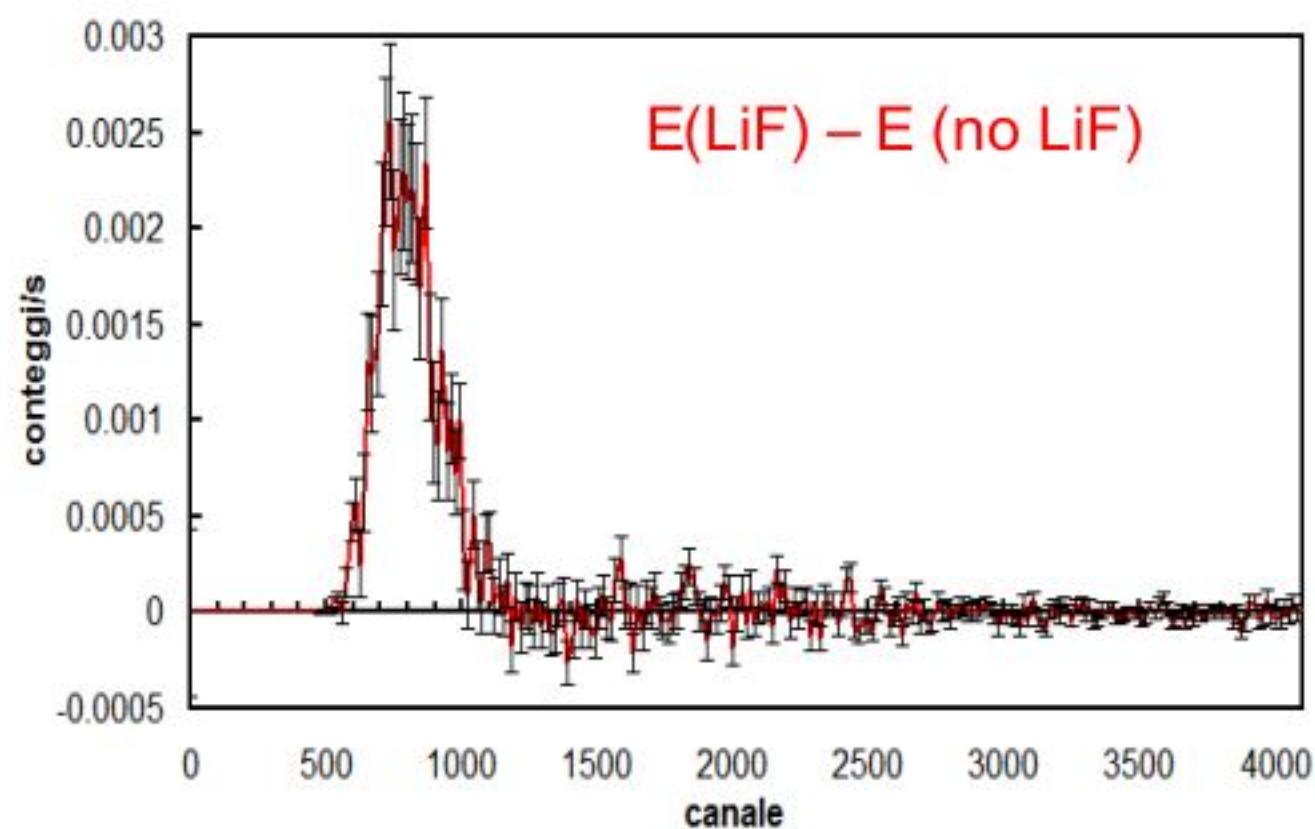
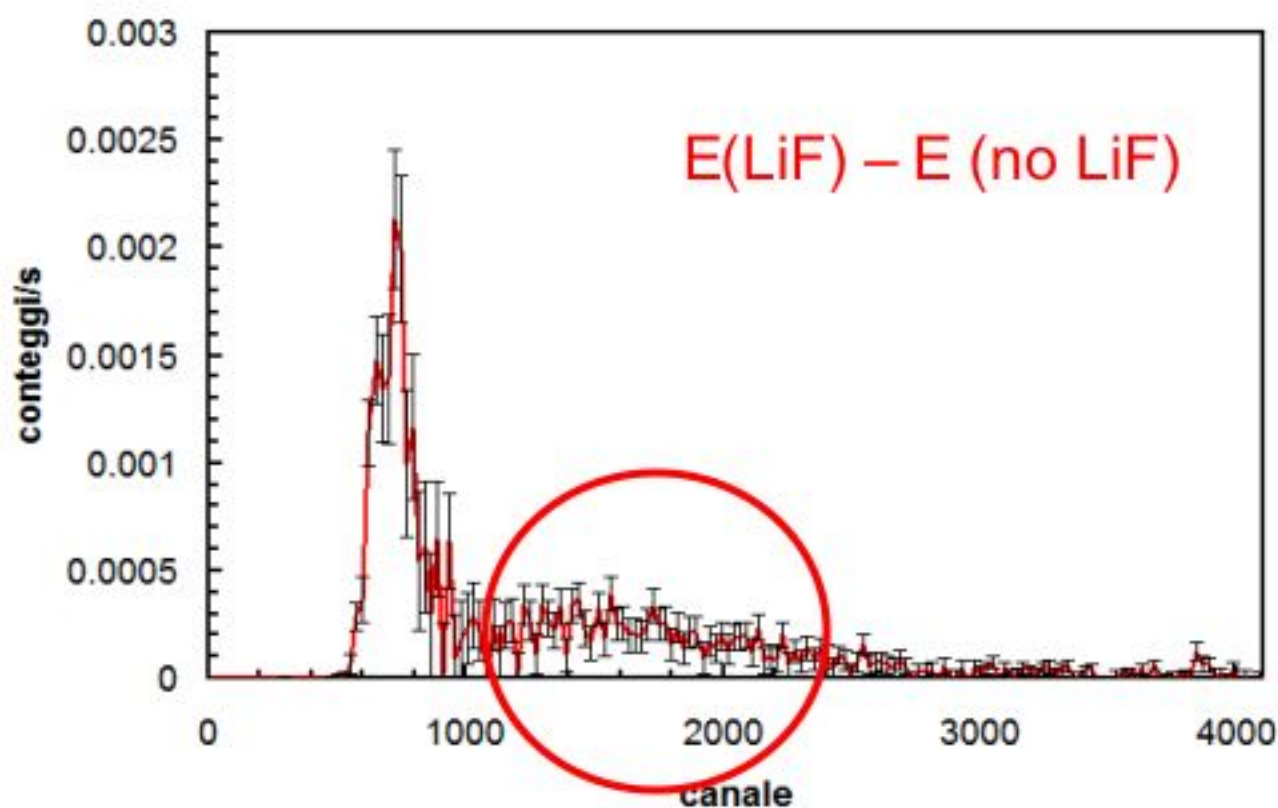
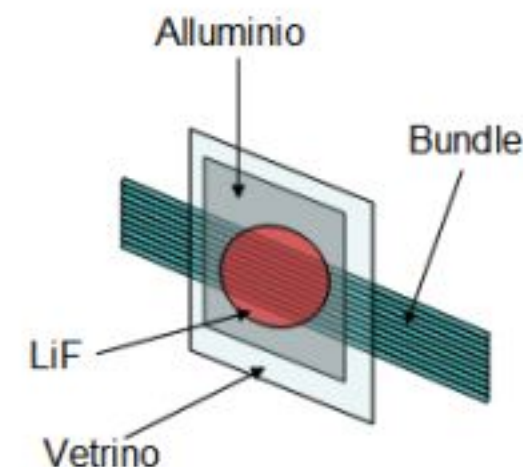
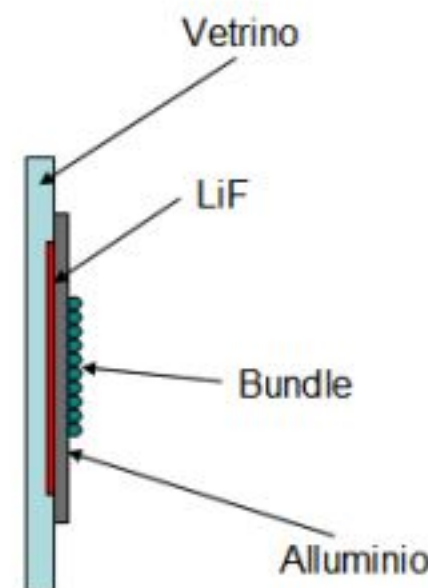
Bundle 9 cm

*Differenza tra spettri
normalizzati al tempo*

*Misura con strato di
alluminio 10 μm*



$$E_t = 1.98 \text{ MeV}$$



Conclusioni e prospettive

- *Rivelatore sensibile ai neutroni termici*
- *Con il prototipo non è possibile la rivelazione evento per evento*
- *Accoppiamento ottico*
- *Utilizzo dei SiPM STMicronics (?)*
- *Il rivelatore finale si realizza affiancando due sistemi uguali, con e senza convertitore*
- *Aumentare l'efficienza geometrica per i neutroni termici*



*Rivestire la fibra con
deposito superficiale di
composti di ^6Li*

*Arricchire la fibra con
 ^6Li (o ^{10}B)*