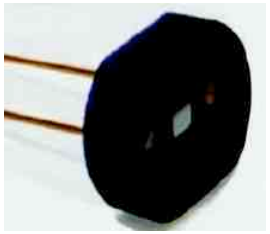
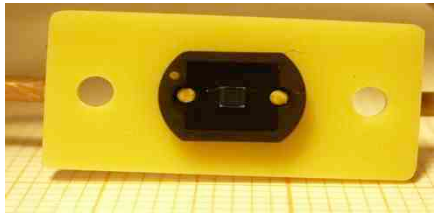
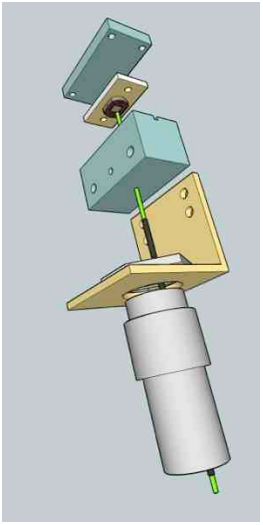
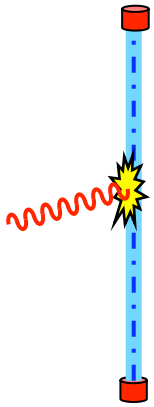
Radwaste monitoring detectors: scintillating fibers

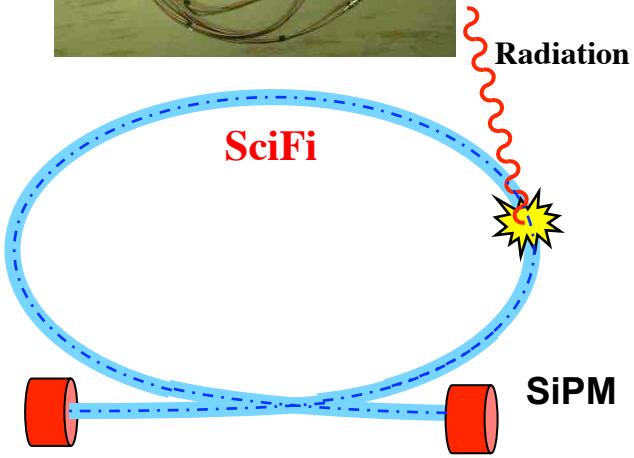
A. Pappalardo









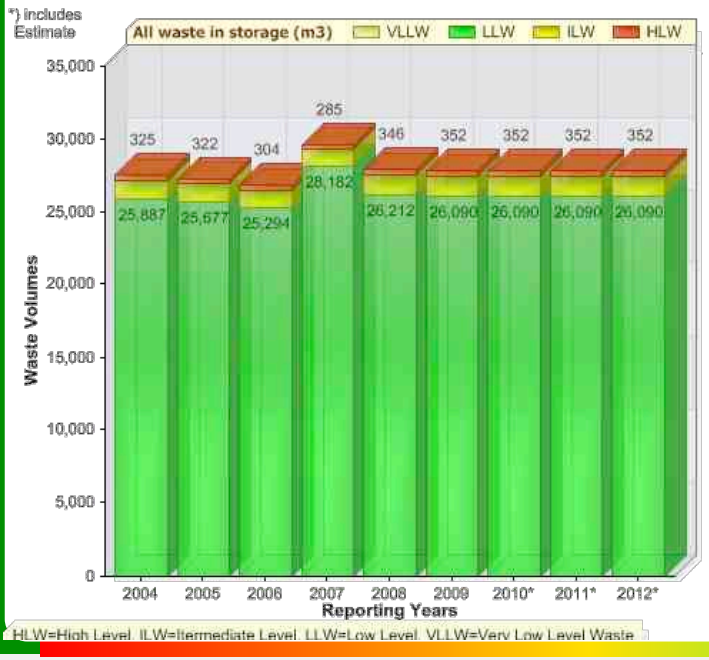


Il punto di partenza

I rifiuti radioattivi prodotti in varie parti del mondo sono sigillati in particolari contenitori.

Che cosa possiamo fare?

I siti di stoccaggio sono monitorati in modo da prevenire possibili perdite con contaminazione dell'ambiente circostante.



26100 m^3 di rifiuti immagazzinati

Meglio non fare così

Perchè vogliamo monitorare?

Si vuole fare una registrazione completa e dettagliata della attività di ogni singolo fusto.

✓ *I fusti possono essere danneggiati durante le fasi di spostamento*

✓ *La malta cementizia che contiene i rifiuti potrebbe incrinarsi con conseguente fuoriuscita*

✓ *Rifiuto liquido?????*

Radioattività proveniente dai fusti:
→ raggi gamma

Quindi è auspicabile:

Fare un continuo monitoraggio on-line di ogni singolo fusto anche durante I possibili spostamenti.

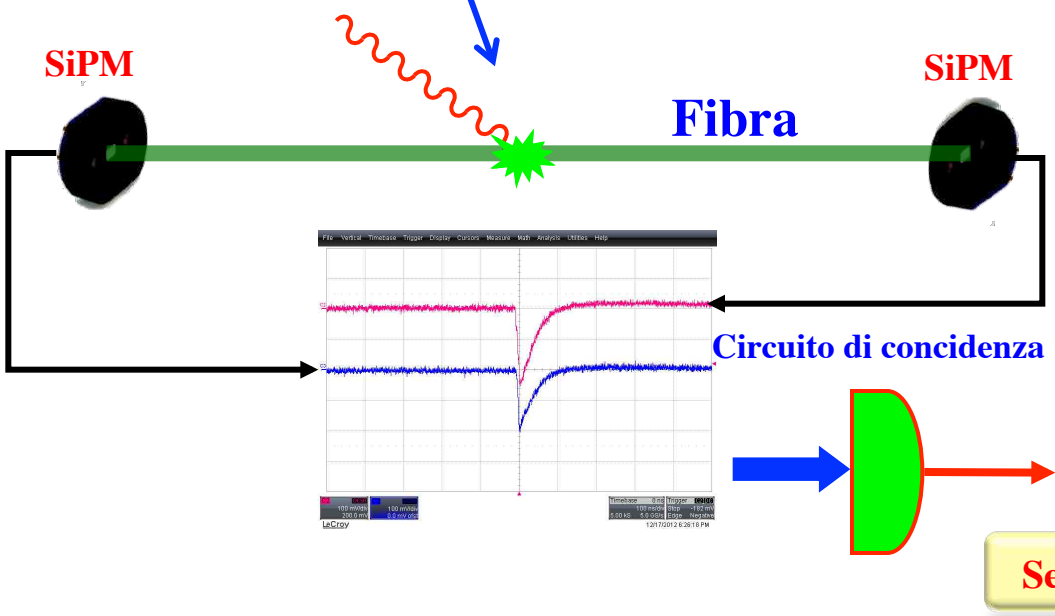
Meglio ancora fare il monitoraggio direttamente sul luogo

Come si vuole monitorare: l'unità elementare di rivelazione

Importanti peculiarità dei sensori

- robustezza alle radiazioni → Si
- Bassa efficienza e alta sensibilità yes
- Affidabile → Si
- Basso costo → Si

Cosa succede quando la radiazione ionizzante colpisce la fibra?

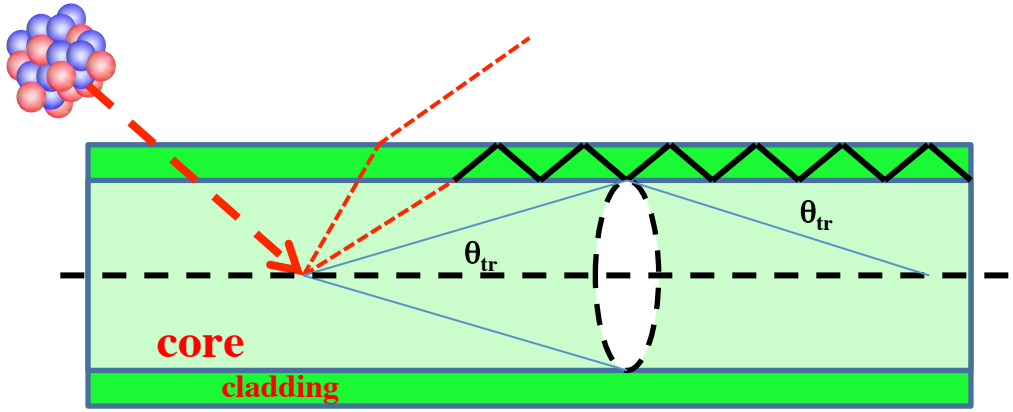


In laboratorio vedremo come si realizza il rivelatore.

Ma come si trasmette la luce?

Efficienza di raccolta della luce ad una estremità: ≈ 3%

Efficienza di intrappolamento
Dipende dagli indici di rifrazione di core e cladding



Sezione longitudinale della fibra

Fibre scintillanti

Fibre in plastica

Core in *polistirene*

- Tempi di decadimento: veloce (3ns – 12ns)
- $L_{at} \approx$ 2.2 m - 3.5m
- $\lambda_{emiss} \approx$ 430nm – 560nm

Core in *poliviniltoluoene*

- Tempo di decadimento: veloce (2.5ns)
- $L_{at} \approx$ 3.5m
- $\lambda_{emiss} \approx$ 420nm

Fibre in vetro

Vetro drogato al Tb

- Tempo di decadimento: lento (4ms)
- rad-hard
- $L_{at} \approx$ 10cm
- $\lambda \approx$ 550nm

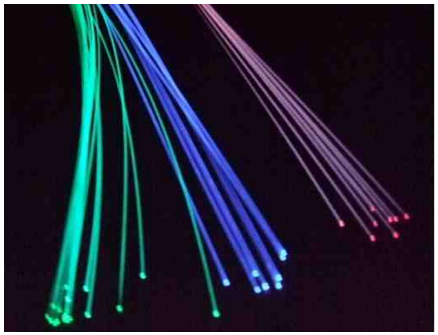
Vetro drogato al Ce

- Tempo di decadimento: veloce (40ns)
- not rad-hard
- $L_{at} \approx$2cm, $\lambda \approx$400nm

Luce prodotta

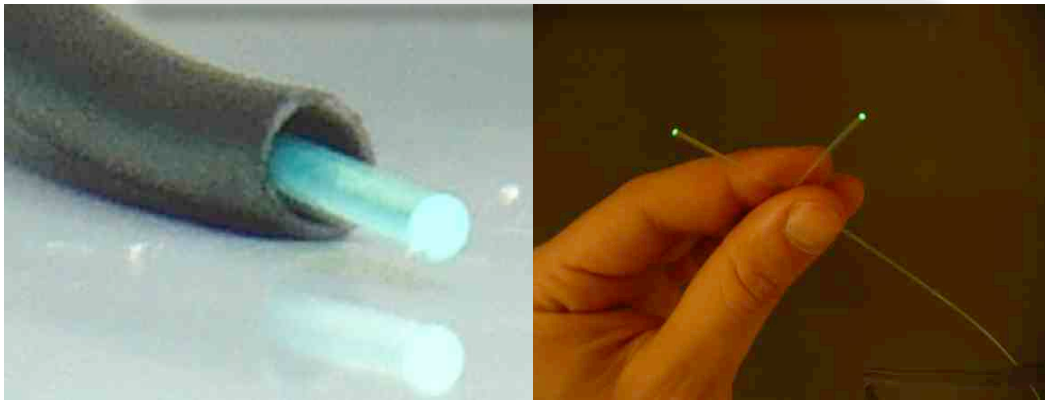
- ✓ **8000 - 10000 Fotoni/MeV (raggi gamma e elettroni)**
- ✓ **Per particelle cariche la luce prodotta è più bassa: quenching**

Fibre scintillanti per progetto DMNR



Fibre scintillanti

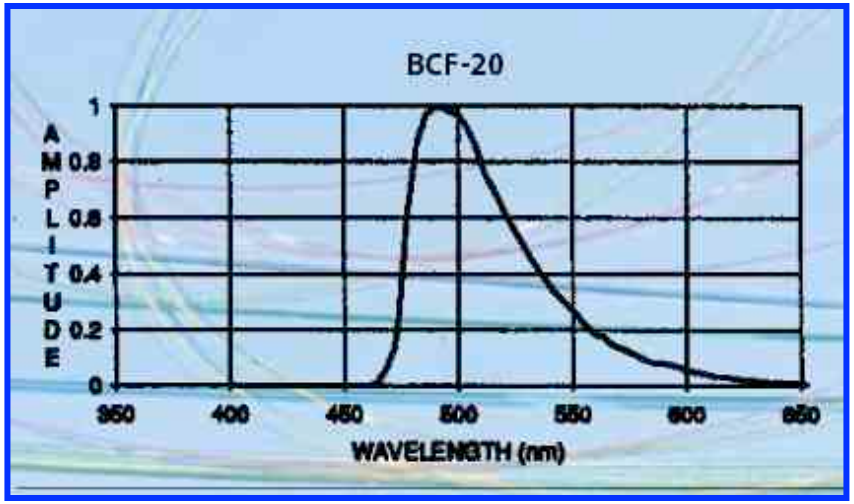
Particolare della fibra scintillante



Fibra Saint-Gobain

- ✓ Core → Polystyrene
- ✓ tempo di decadimento: ~3ns
- ✓ Diametro → 1 mm
- ✓ L_{att} → > 3.5m
- ✓ I_{emis} → 480nm
- ✓ Efficienza di intrappolamento → 3%
- ✓ Luce prodotta ~ 10^4 fotoni/MeV

Spettro emissione

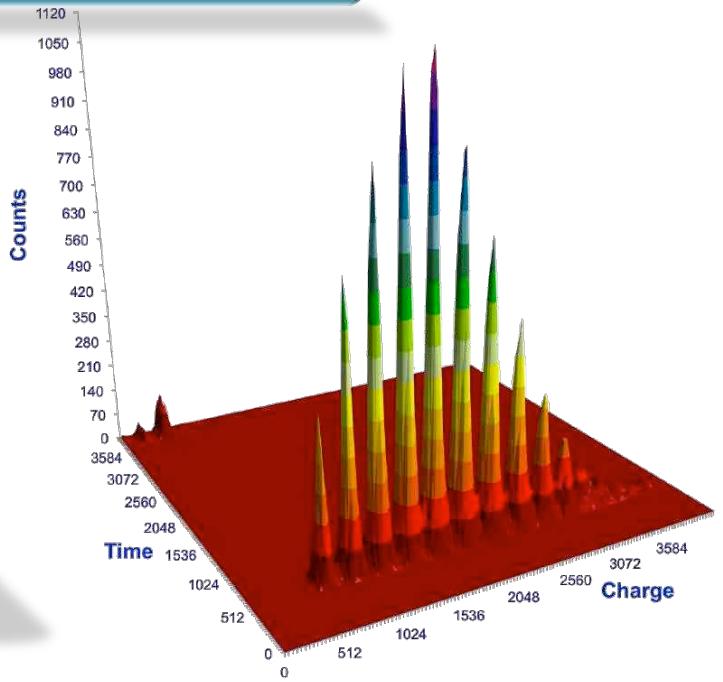


I sensori: SiPM → risposta in luce

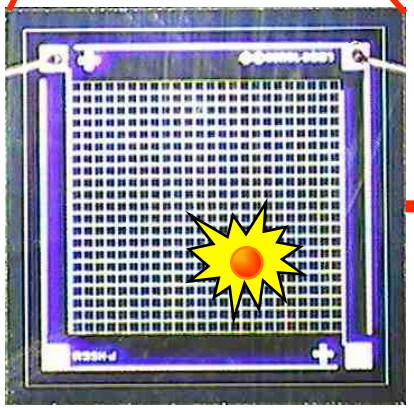
SensL

SiPM → SiliconPhotoMultiplier

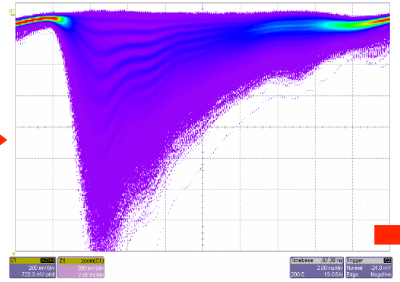
1. matrice di celle "Single Photon Avalanche Diode" (SPAD) alimentate oltre il valore di breakdown (Geiger mode)
2. La valanga è spenta mediante dei resistori integrati

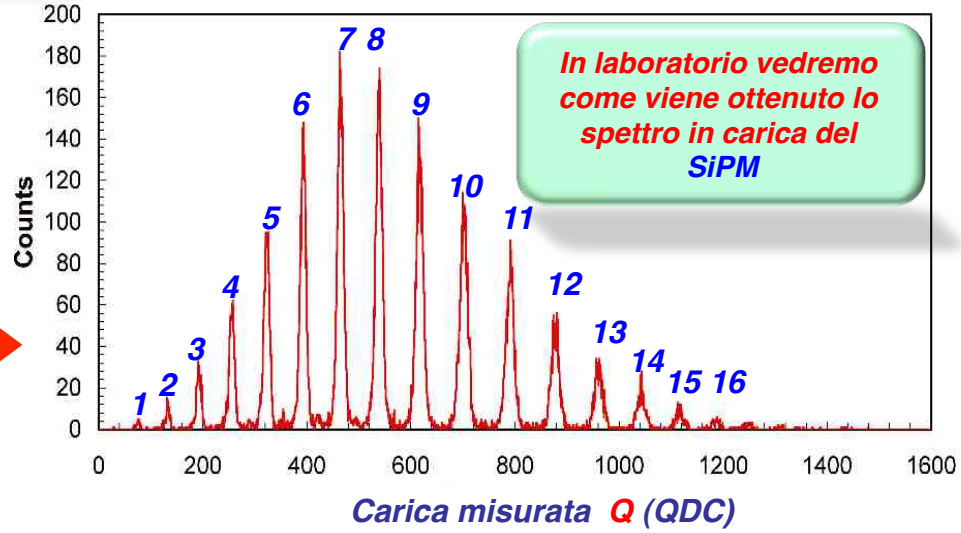


Sensibile al singolo fotone



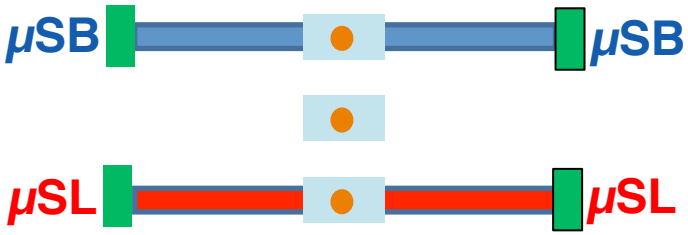
SiPM in uso





In laboratorio vedremo come viene ottenuto lo spettro in carica del SiPM

μSB – nuovi sensori a basso rumore

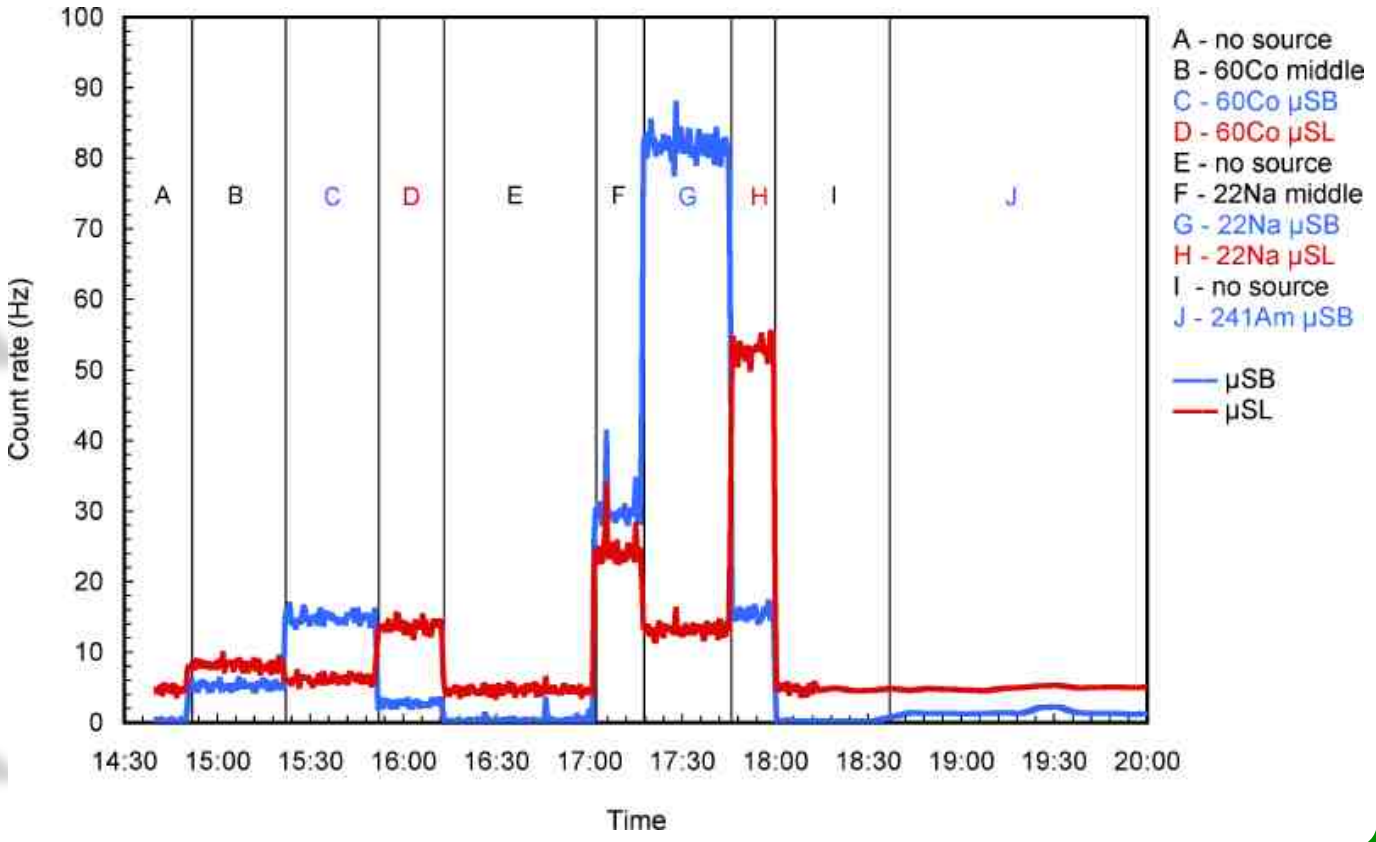


μSB → Nuova versione di sensori

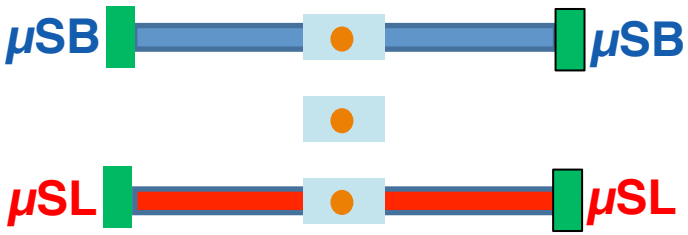
μSL → Nuova versione di sensori

Test con sorgenti di ^{241}Am, ^{22}Na, ^{137}Cs, ^{60}Co

Efficienza intrisica tra 10^{-2} - 10^{-6}

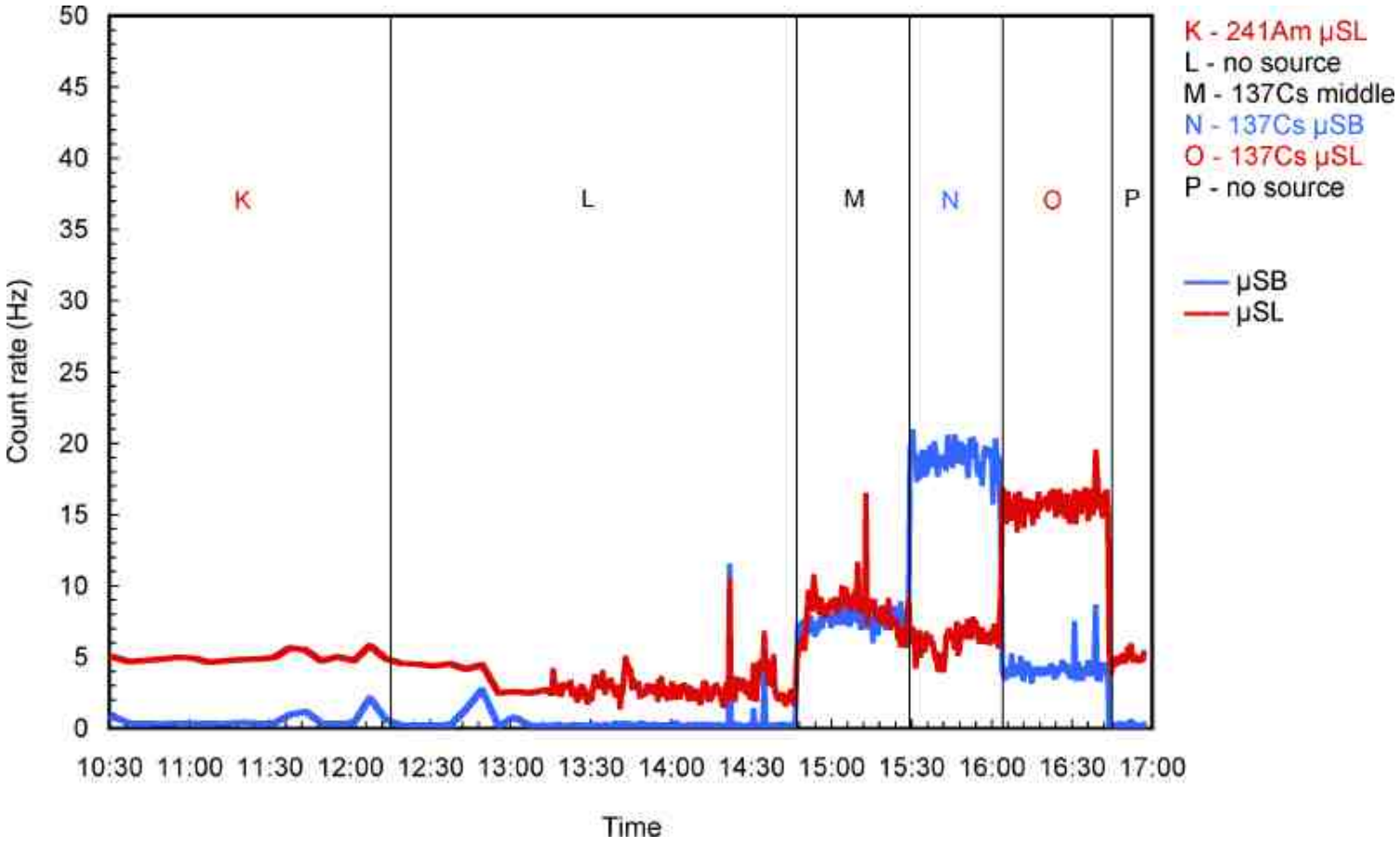


μSB – nuovi sensori a basso rumore



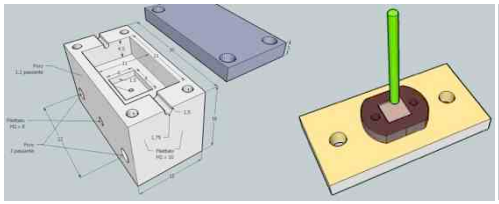
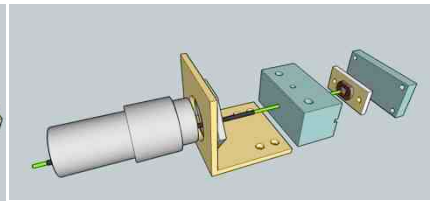
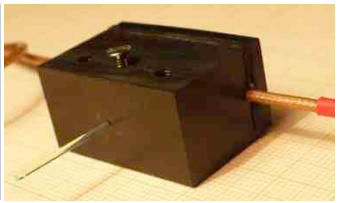
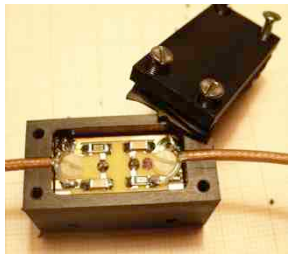
μSB → Nuova versione di sensori

μSL → Nuova versione di sensori



Assemblaggio rivelatori

Supporto opto-meccanico per SiPM

Fibra scintillante

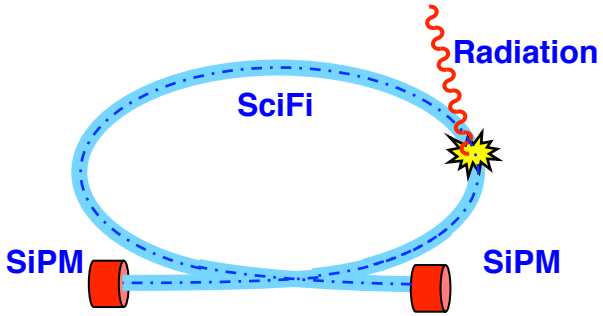
Configurazione rigida

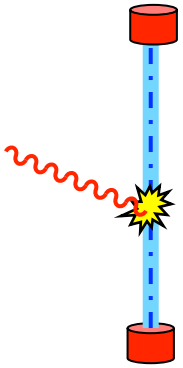
Forma circolare

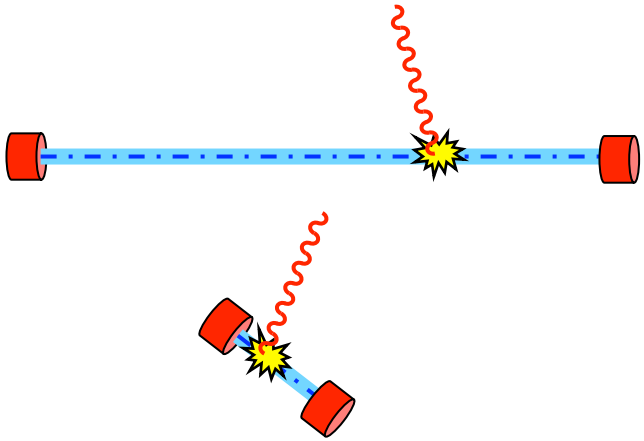
Configurazione flessibile

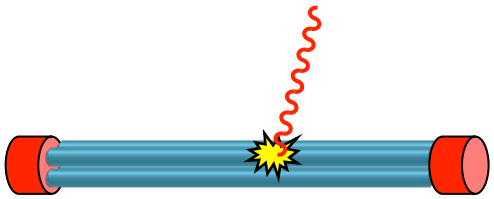
Efficienza geometrica

Può essere variata cambiando lunghezza e spessore delle fibre



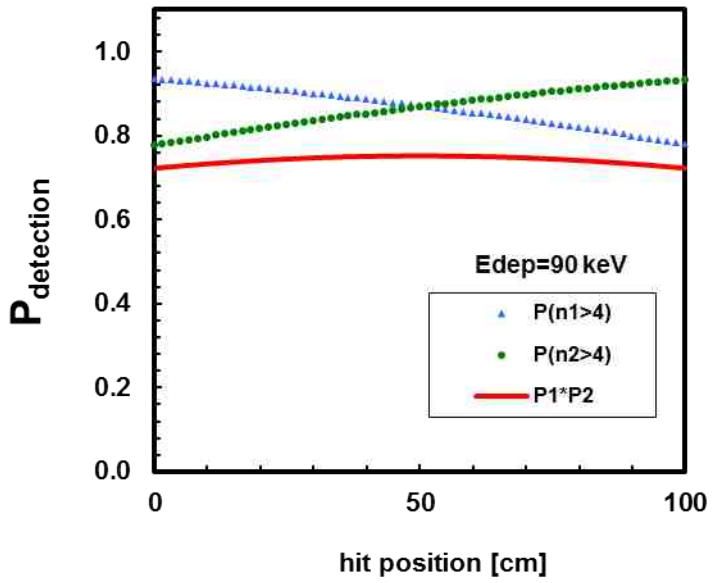




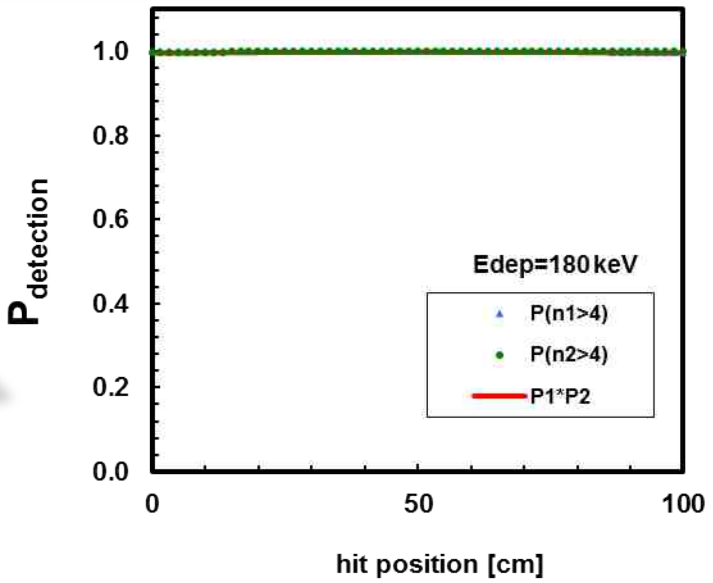


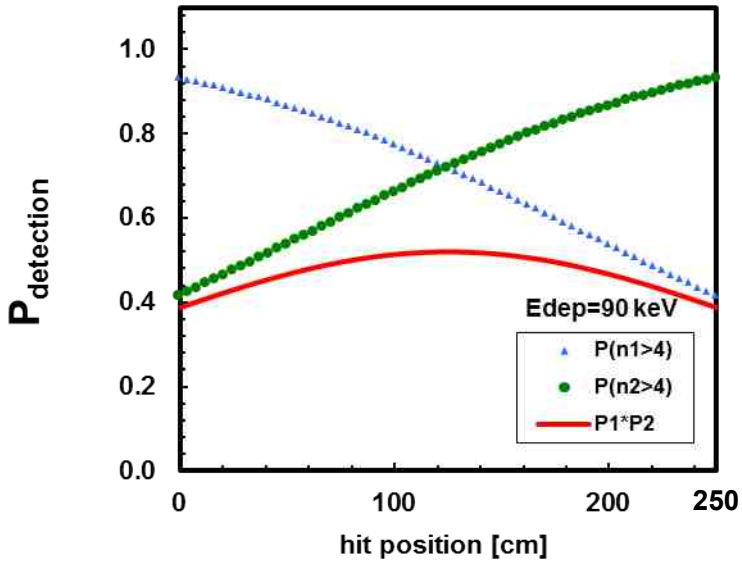
più fibre accoppiate a SiPM di area maggiore

Efficienza di rivelazione vs posizione d'impatto

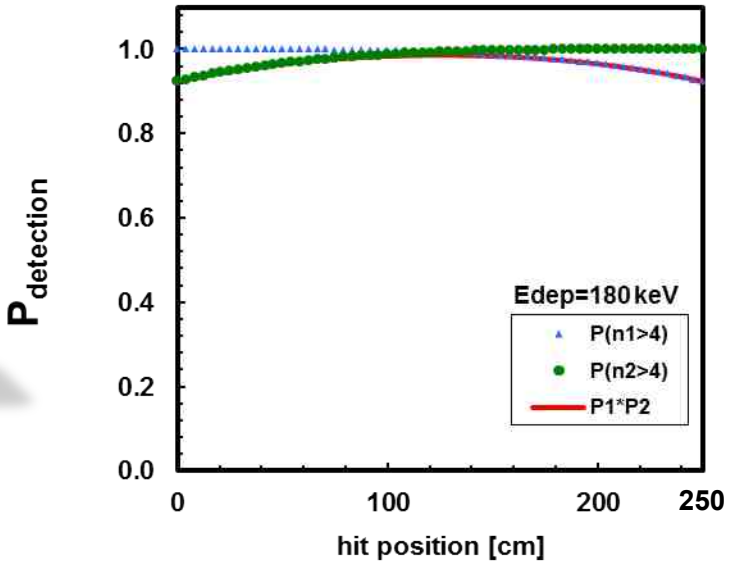


Lunghezza Fibra 100 cm

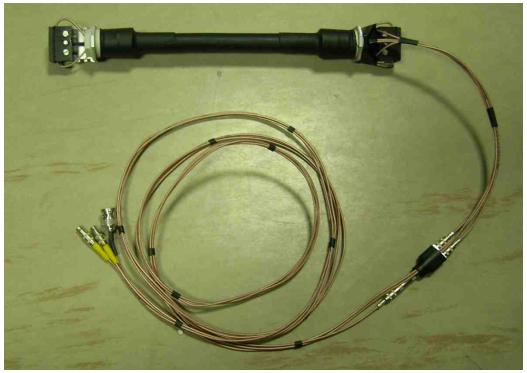




Lunghezza fibra 250 cm

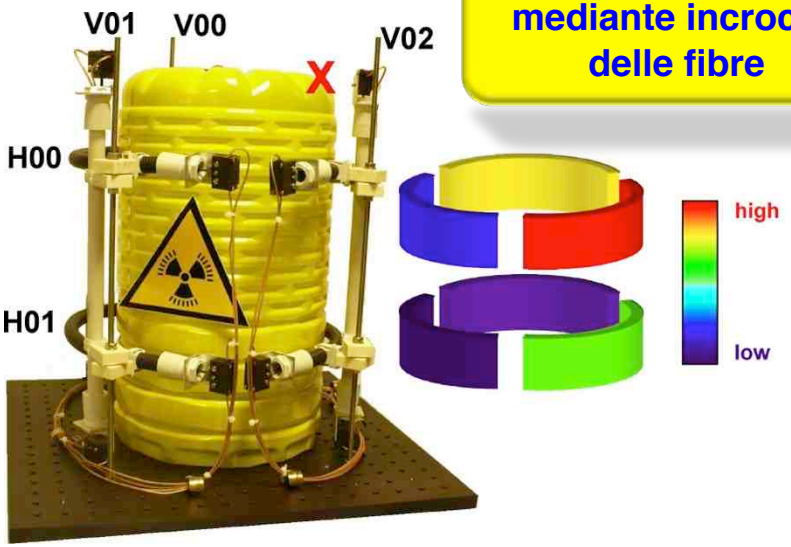


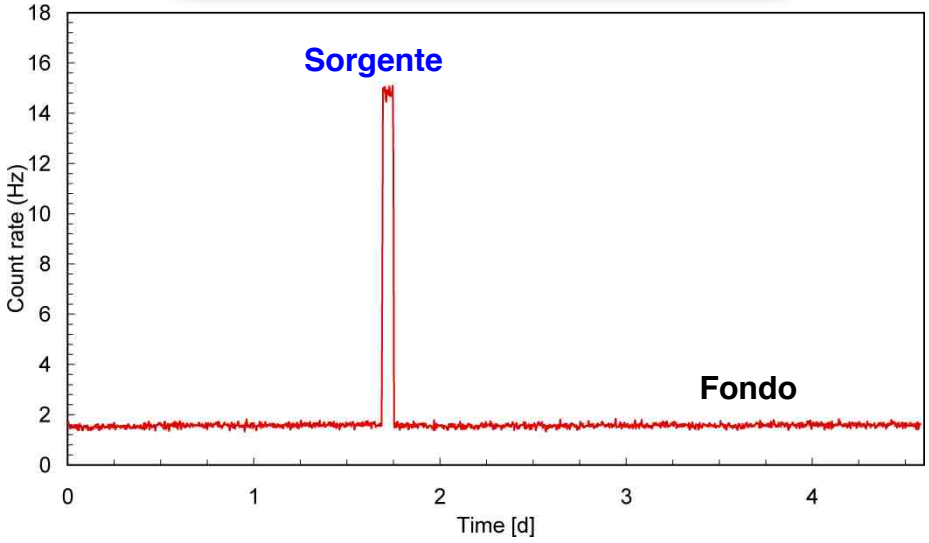
Prova su banco con sorgente

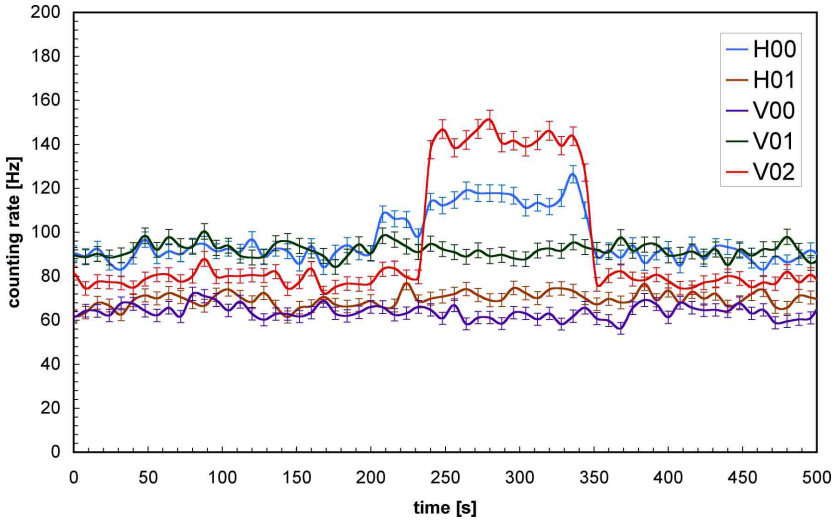


Test con sorgente da 2.7MBq @ 10cm
Durata 4,5 giorni

Ricostruzione 3D mediante incrocio delle fibre

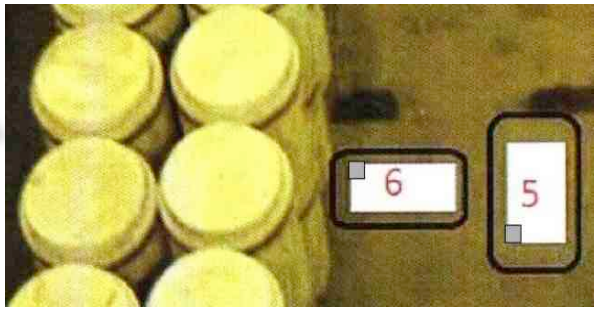






Applicazioni: 1° test @ SOGIN 2011

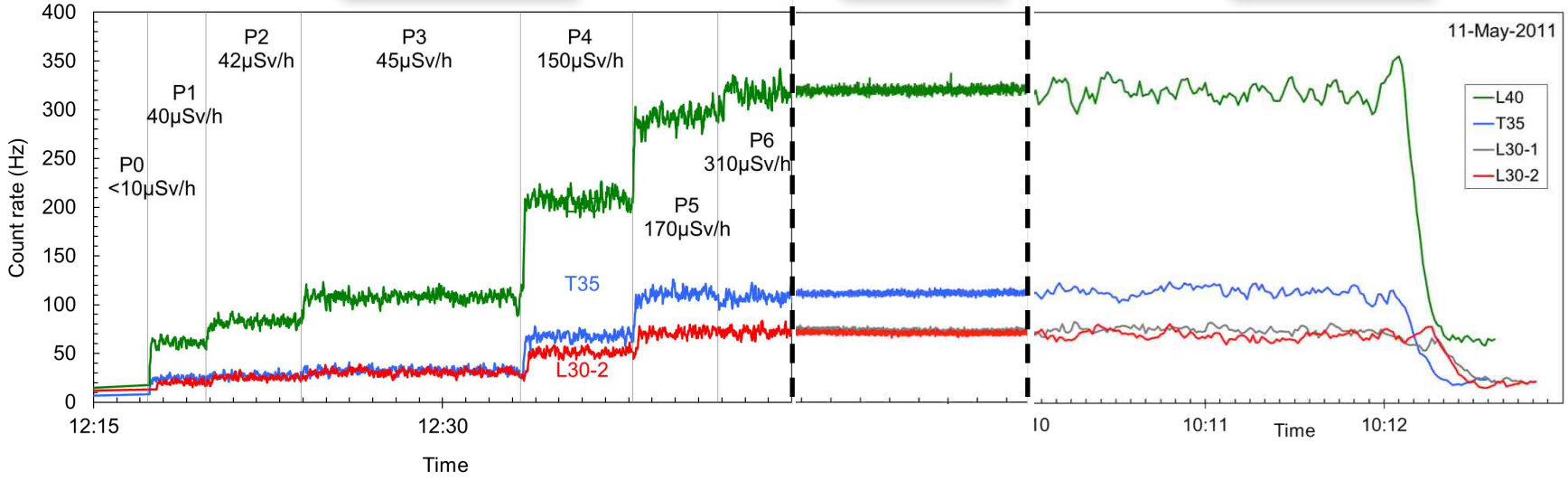
Test con fusti di rifiuti radioattivi nel deposito della ex centrale nucleare del Garigliano



4 sensori su un carrello

7 posizioni differenti

Inizio test | **Notte** | **Fine test**

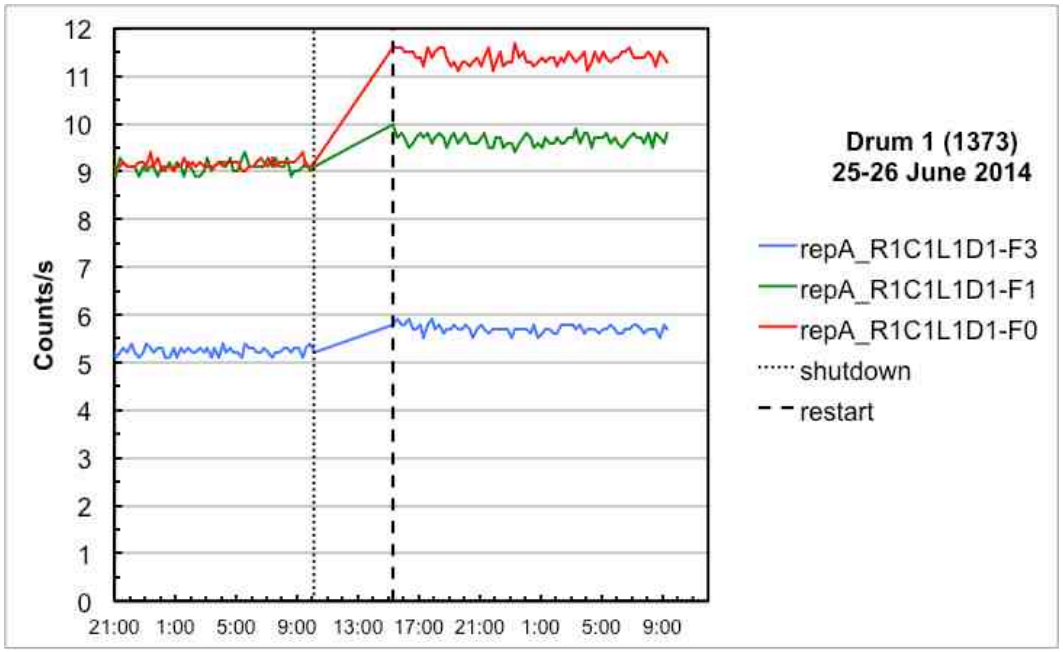


Applicazioni: 1° prototipo installato @ Sogin Giugno 2014

Test con fusti di rifiuti radioattivi nel deposito della ex centrale nucleare del Garigliano

N° 12 rivelatori inseriti all'interno della struttura di acciaio, accanto ai fusti con i rifiuti radioattivi.

Il front-end elettronico è agganciato alla struttura.



Conclusione

- Costo relativamente basso dei rivelatori
- Identificazione veloce delle perdite
- Robustezza e flessibilità (concettuale e materiale)
- Robustezza alle radiazioni

In laboratorio per i dettagli