

The European Commission's science and knowledge service

Joint Research Centre

Caratteristiche costruttive e principi di funzionamento dei portali radiometrici





The European Commission's science and knowledge service

Joint Research Centre

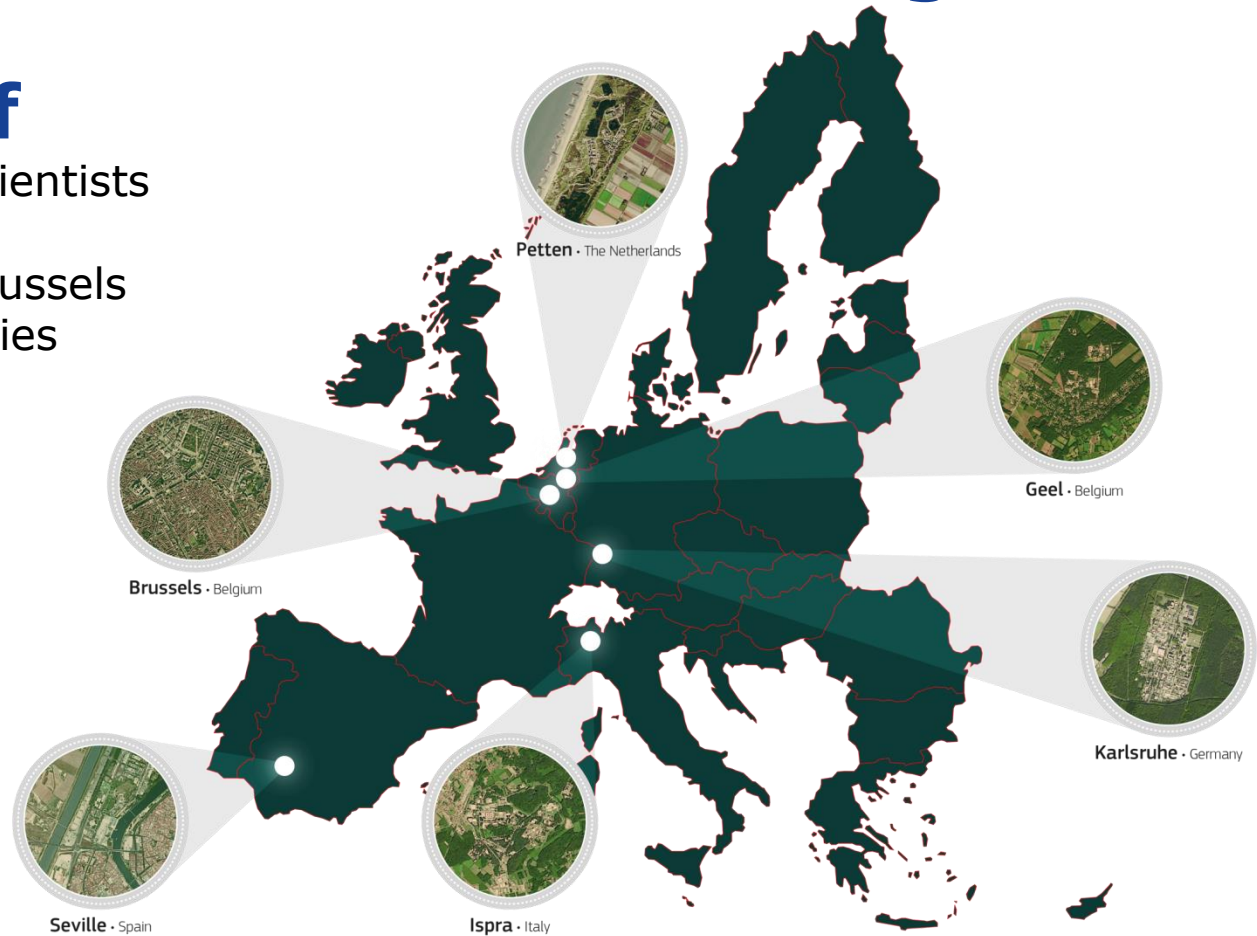
Caratteristiche costruttive e principi di funzionamento dei portali radiometrici

Antonio Migneco

The Joint Research Centre at a glance

3000 staff

Almost 75% are scientists and researchers.
Headquarters in Brussels and research facilities located in 5 Member States.



Cosa sono i Portali Radiometrici?

I portali radiometrici sono dei sistemi automatici per il controllo della radioattività per prevenire il trasporto illecito di sorgenti radioattive.

Sono installati in un posto di controllo quale può essere un ingresso in uno stabilimento o un cancello di un porto o di un terminal per autotreni ad un posto di frontiera, in un aeroporto o in una stazione.



Cosa sono i Portali Radiometrici?

Questi sistemi, opportunamente integrati in un programma di sicurezza, aiutano il personale addetto al trasporto e alla sicurezza a identificare e localizzare eventuali sorgenti radioattive:

- nei container
- nei vagoni di un treno
- nei cassoni dei camion
- nei bagagli e valigie
- nelle persone



Il veicolo o la persona da monitorare passa attraverso il portale che è equipaggiato con un sistema di rivelatori tale da effettuare una scansione del contenuto.

Che tipo di radiazioni possiamo monitorare?

Gamma e/o Neutroni, dipende dal tipo di rivelatori impiegati.





European
Commission





European
Commission



Package Monitoring



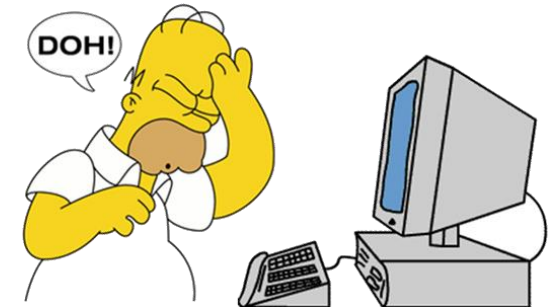
Airport Security



Come funzionano?

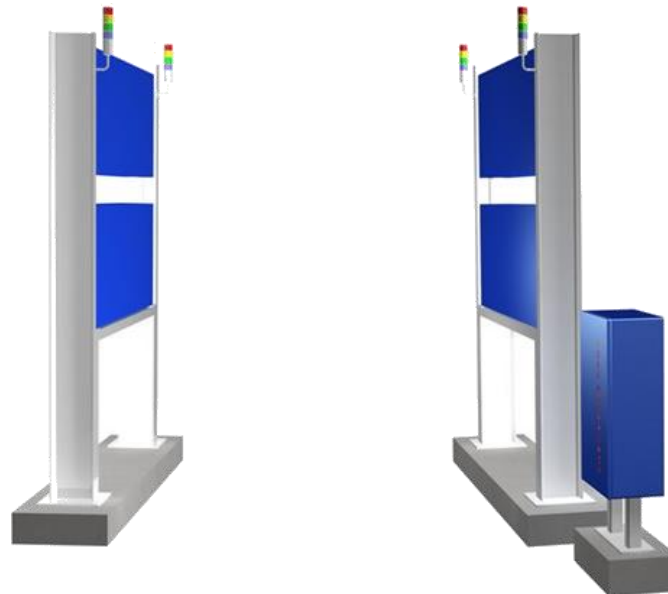
L'unità funzionale principale di un sistema Portale è denominata Pillar, essa è costituita dall'elemento sensibile alla radiazione e dalle apparecchiature elettriche ed elettroniche di elaborazione del segnale.

A seconda delle esigenze, un checkpoint radiometrico potrebbe essere costituito da più di un pillar coordinati e disposti in modo da rendere più efficiente la rivelazione dell'eventuale sorgente.



Come funzionano?

Il tipo di rivelatore discende dalla facilità e dall'economicità di produzione nonché da un'intrinseca robustezza del materiale alle condizioni ambientali ed operative (agenti atmosferici, resistenza alle vibrazioni, ecc.).



RPM e SRPM

Una prima distinzione è possibile farla in base alla tecnologia utilizzata, distinguiamo portali RPM e SRPM cioè:

- Radiation Portal Monitor (RPM)
- Spectrometric Radiation Portal Monitor (SRPM)

I portali RPM, hanno il vantaggio di avere un'elevata efficienza e costi contenuti ma non permettono di stabilire l'energia della radiazione gamma e quindi non si può risalire al radionuclide.

I portali SRPM sono portatili che hanno la caratteristica di poter fare spettrometria gamma, quindi riescono a risalire al radioisotopo.

I rivelatori per questo tipo di portali hanno il contro di avere una efficienza inferiore e costi notevolmente più elevati.

SRPM

I portali SRPM permettono di identificare più isotopi concorrenti in un solo allarme e di stabilire se siamo in presenza di una radiazione dovuta a sorgenti:

- Naturali (NORM)
- Medico ospedaliero (MEDICAL)
- Industriale (IND)
- Special Nuclear Material (SNM)

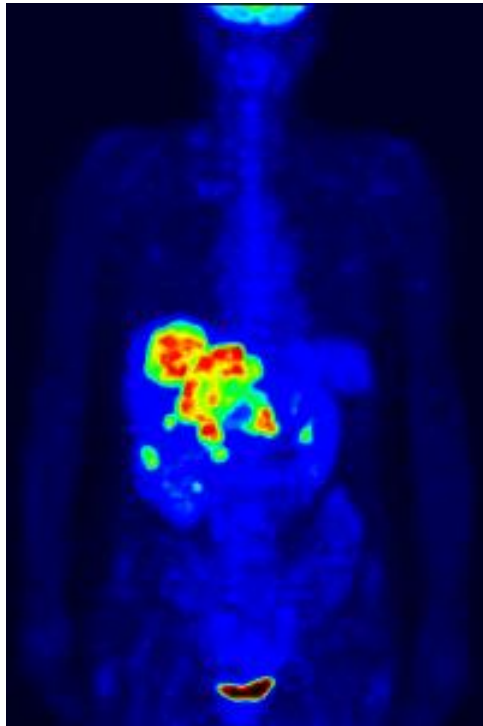
NORM

I NORM, Naturally Occurring Radioactive Materials, principalmente contengono U-238, Th-232, K-40 e C-14, ecc., elementi che si possono trovare nelle rocce e sabbie, materiali da costruzione, essere viventi, ecc.



MEDICAL

I radionuclidi di uso medico ospedaliero (MEDICAL), ad esempio il F-18, Ga-68, Zr-89 sono utilizzati per fare un esame con tecnologia PET



(Tomografia a emissione di positroni).

Si può ben capire l'importanza di poter discriminare gli allarmi generati da questo tipo di radionuclidi.

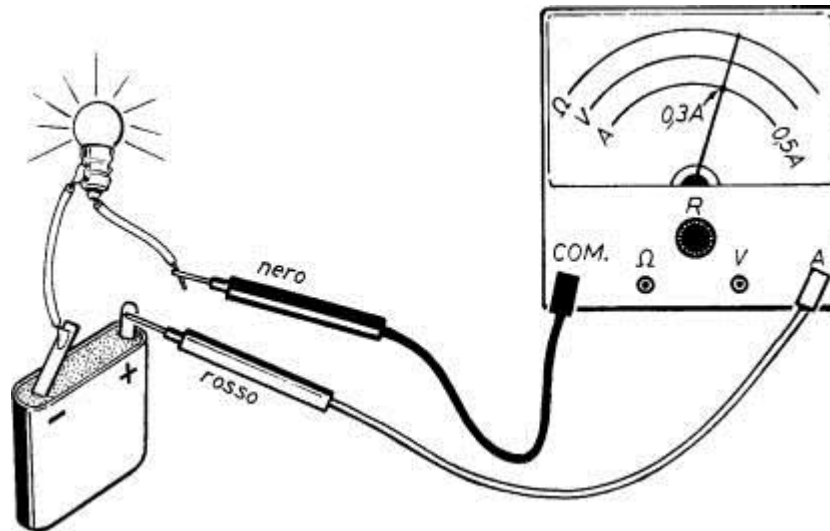
IND E SNM

Altre tipologie di radionuclidi sono quelli ad uso industriale (IND): Ra-226, Cd-109, Co-57, Ba-133 o gli Special Nuclear Material (SNM): U-235, Pu-239, Pu-238, Am-241, ecc..

Per poter rilevare gli SNM, radioisotopi del Plutonio o Uranio si utilizzano rivelatori (He-3 o BF₃) che permettono di misurare i neutroni.

Cosa misuriamo?

Cosa si riesce facilmente a misurare? La corrente elettrica...

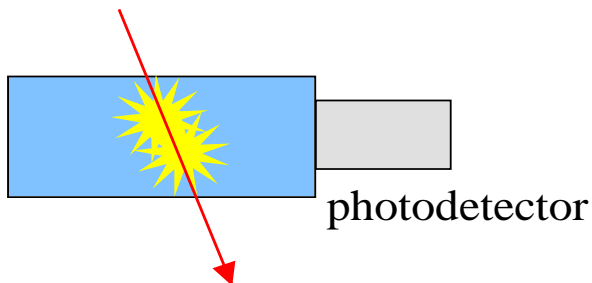


...da cui riusciamo ad avere moltissime informazioni, tensione (Volt), corrente (Ampere), frequenza (Hertz), etc.

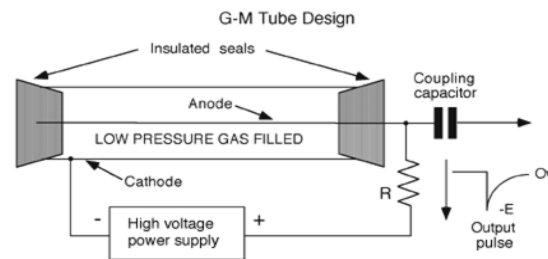
Come misuriamo:

Quindi per poter misurare la radiazione gamma o neutronica la devo convertire in corrente elettrica, lo possiamo fare in diversi modi e questo compito è affidato ai rivelatori.

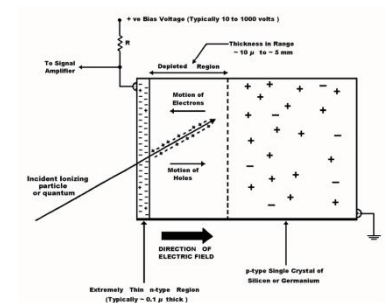
I rivelatori dei portali possono lavorare con tecnologie diverse di rivelazione: scintillazione, ionizzazione o a semiconduttore.



Scintillazione

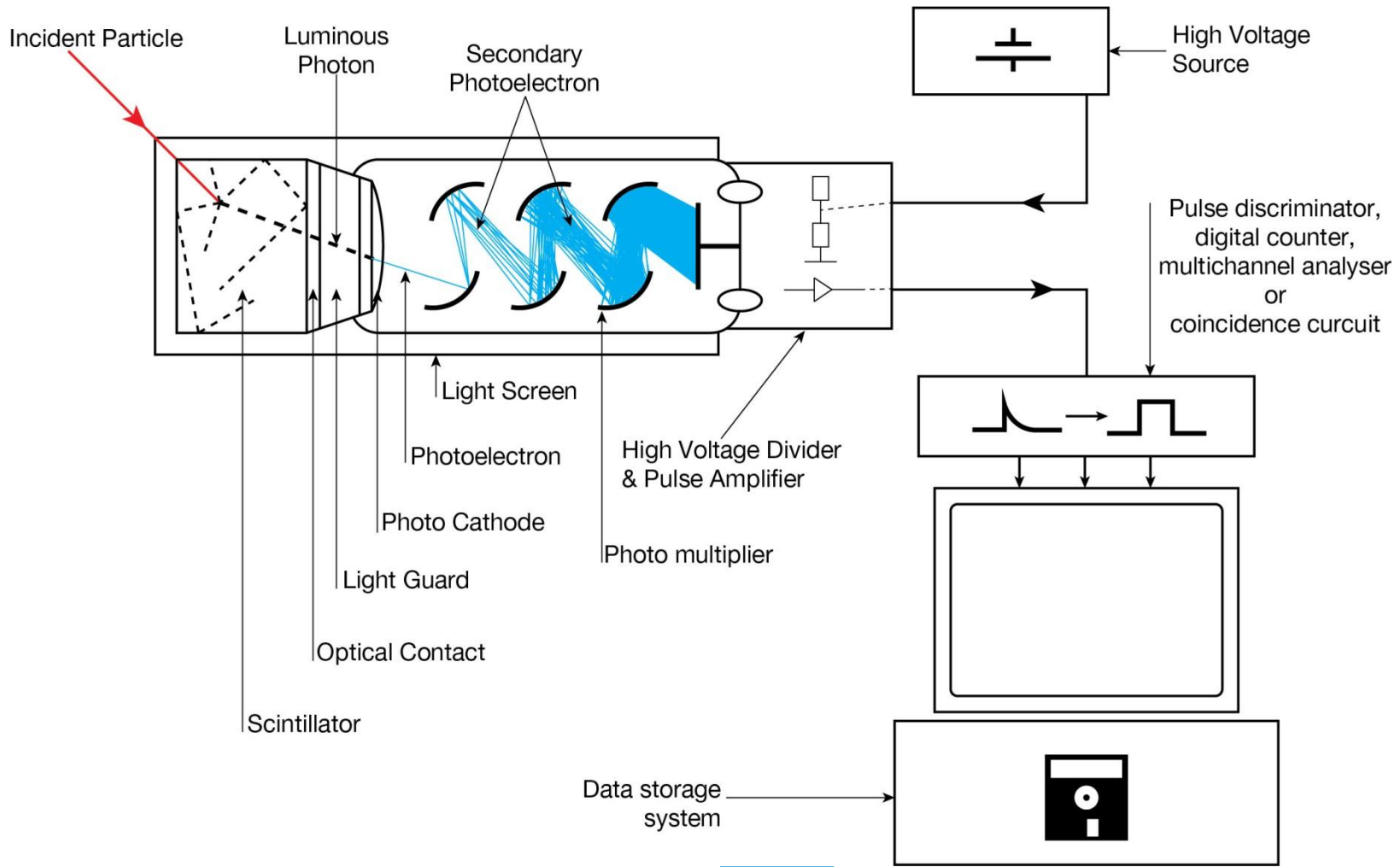


Ionizzazione



Semiconduttore

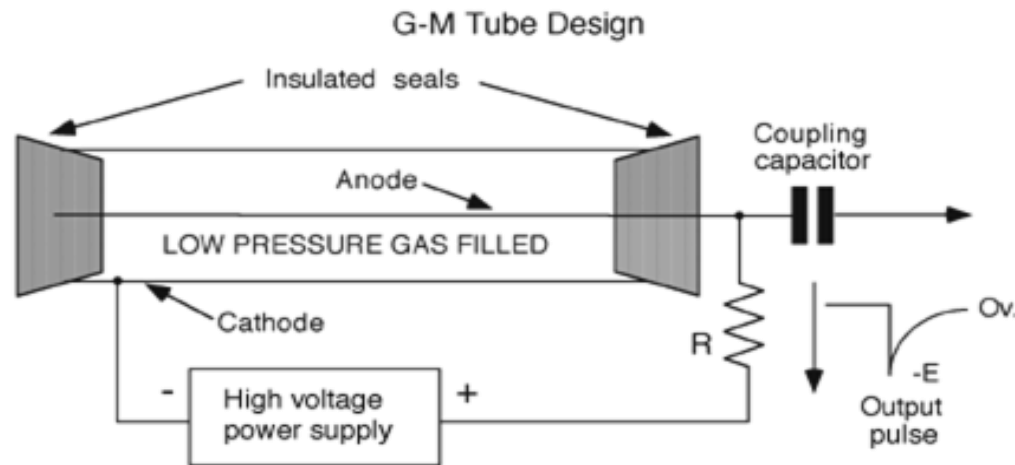
Rivelatori a Scintillazione



Rivelatori a Ionizzazione

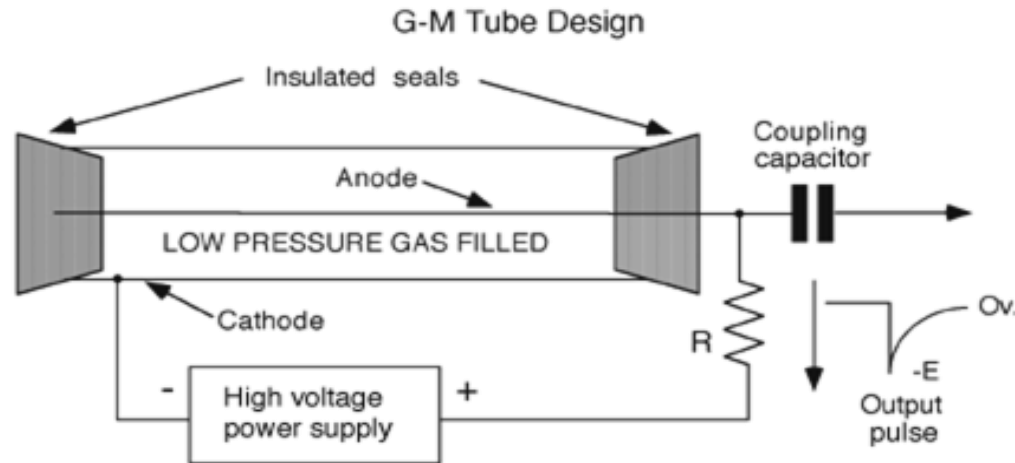
Esistono diverse configurazioni per i rivelatori a ionizzazione, ma generalmente sono composti da un cilindro conduttore al cui interno vi è un gas e un elettrodo isolato dal resto dell'involucro.

Tra il cilindro e l'elettrodo è applicata una differenza di potenziale (alta tensione, HV).

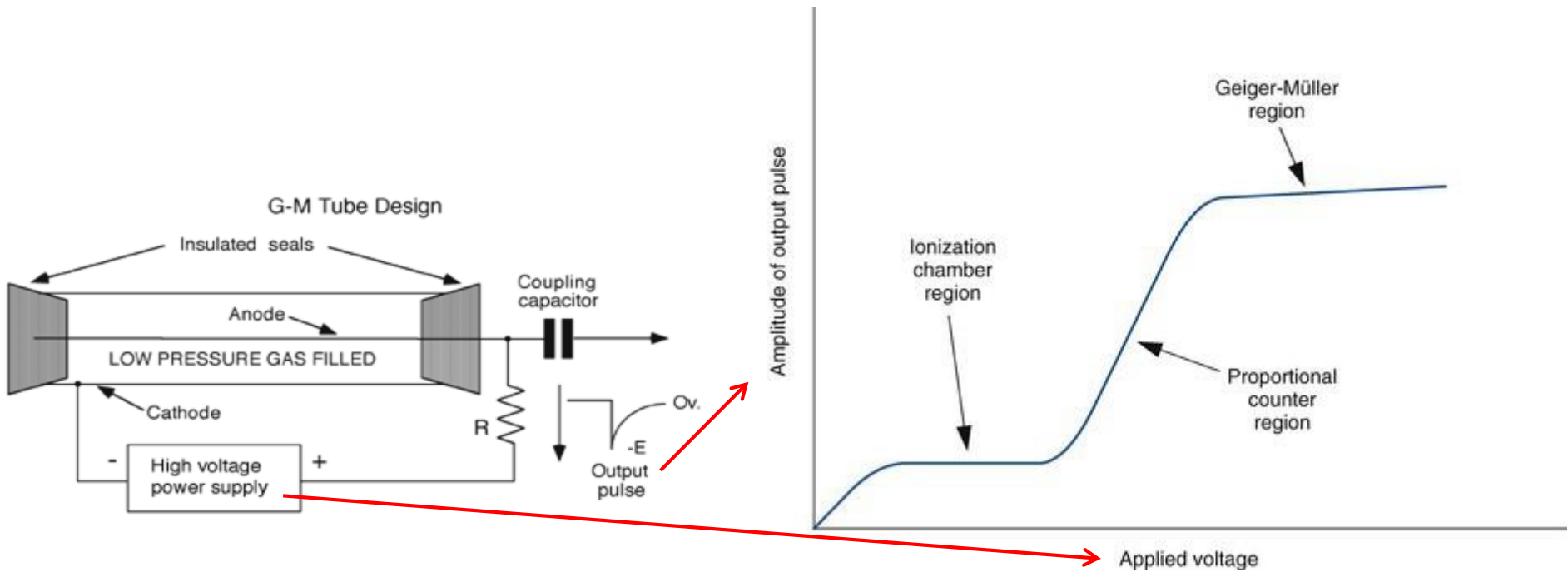


Rivelatori a Ionizzazione

Quando una radiazione ionizzante attraversa il cilindro, il gas si ionizza e gli ioni che si generano, col conseguente rilascio di elettroni, procurano il passaggio della corrente elettrica nel gas, alterando la differenza di potenziale esistente.



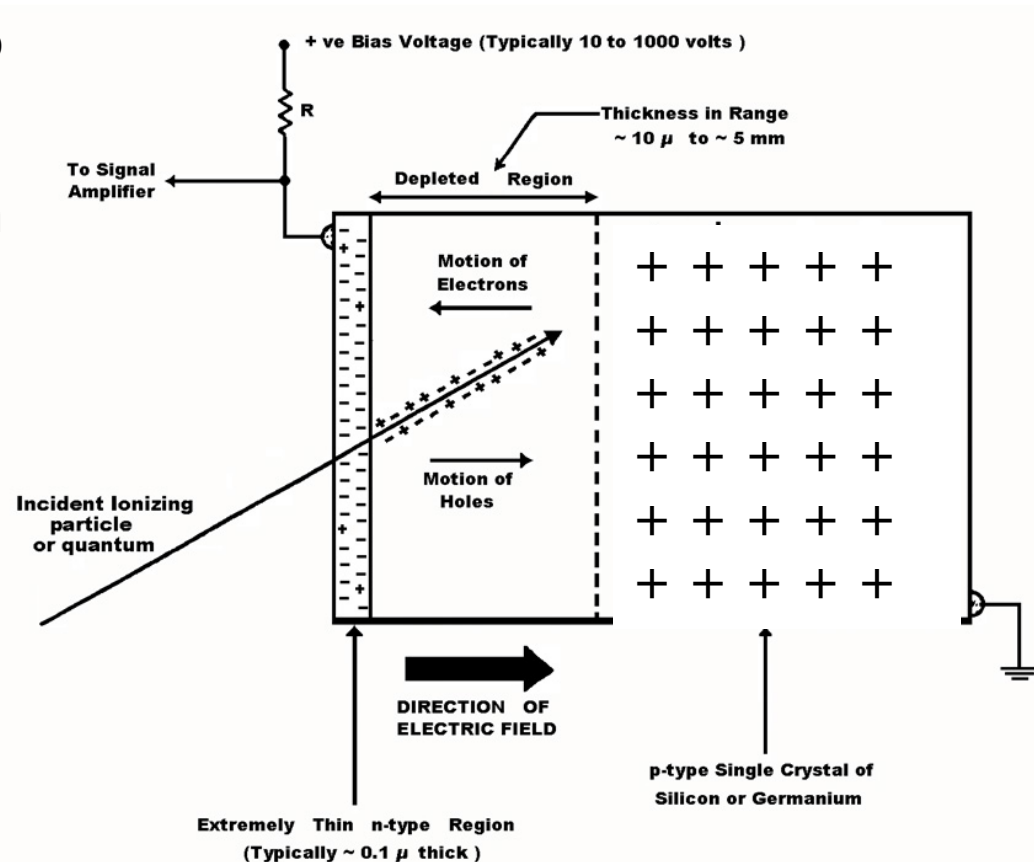
Rivelatori a Ionizzazione



Rivelatori a Semiconduttori

Un rivelatore a semiconduttore è un rivelatore di particelle costituito da semiconduttori drogati (usualmente silicio o germanio).

Il suo modo di funzionamento più comune è quello di giunzione p-n polarizzata inversamente, ed assomiglia molto ad un diodo.



Semiconduttori

Quando viene fornita dell'energia gli elettroni nella banda di valenza possono passare nella banda di conduzione, formando una coppia elettrone - lacuna.

Questa energia può derivare dall'energia interna, e quindi dalla temperatura del rivelatore, o dall'esterno, come l'interazione con la radiazione da rivelare.

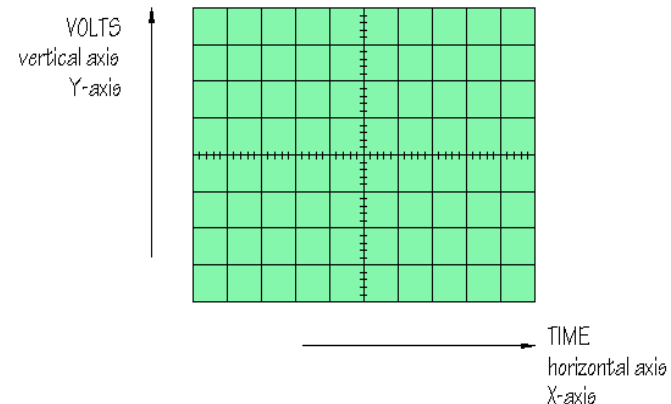
Per diminuire la prima componente spesso i rivelatori sono mantenuti in un bagno di azoto a 77 K.

Si forma così una corrente proporzionale al numero di coppie formate e quindi all'energia della particella.

Misuriamo

All'uscita dei rivelatori avremo un impulso in corrente.
Supponendo che tutto il sistema di rivelazione abbia una risposta lineare, in particolare la frequenza dell'impulso di corrente sarà proporzionale al numero di fotoni incidenti e l'ampiezza dell'impulso a sua volta sarà proporzionale all'energia rilasciata nel rivelatore.

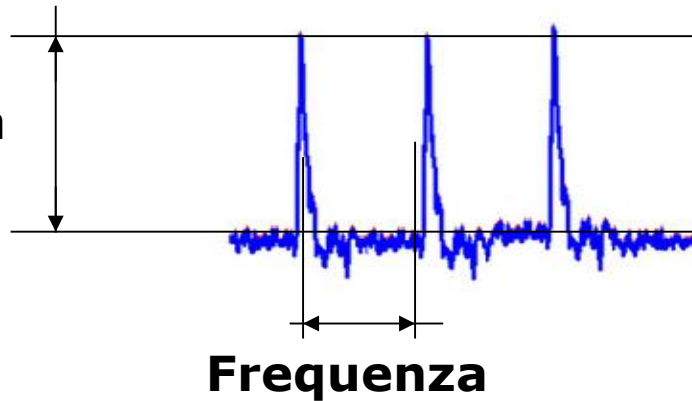
Se collegassimo uno oscilloscopio all'uscita del segnale in corrente...



Misuriamo

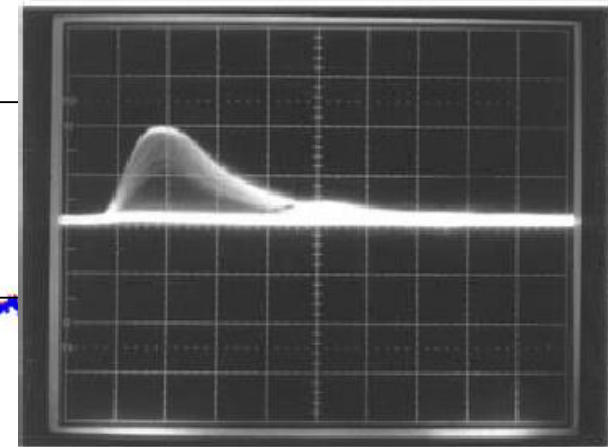


Intensità



Frequenza

(numero di conteggi al secondo)



L'intensità è legata all'energia della sorgente e quindi ci fornisce l'informazione sull'energia della particella.

La frequenza è legata al numero di disintegrazioni che arrivano al rivelatore al secondo e quindi correggendo per l'efficienza dello strumento è possibile risalire all'attività della sorgente.

I Rivelatori a Scintillazione

Gli Scintillatori Organici o **rivelatori Plastici**, chiamati così perché formati da una base di materie plastiche polimeriche come il **PVT** (polivintoluene), in cui sono disciolte opportune sostanze scintillanti.

La prima generazione di portali tipo RPM utilizzava questo tipo rivelatori, capaci di avere una elevata efficienza, una risposta molto veloce (dell'ordine del pico secondo), sono relativamente poco costosi, hanno buone caratteristiche meccaniche e possono essere realizzati in varie forme.

Purtroppo la risoluzione in energia non è sufficiente per fornire informazioni sull'energia della radiazione gamma, con la conseguenza che un carico di banane o fertilizzante può allarmare lo strumento e far scattare la procedura di sorveglianza.

I Rivelatori a Scintillazione

Tra gli scintillatori inorganici i più diffusi ci sono i cristalli di alogenuri-metalli tra cui **NaI (ioduro di sodio)** è quello che ha trovato maggiore diffusione.

Per ridurre l'elevato numero di falsi allarmi generato dai portali RPM furono realizzati i portali spettrometrici SRPM utilizzando i rivelatori NaI(Tl), Ioduro di Sodio attivato al Tallio.

Piccole impurità di Tallio nel cristallo di NaI permettono di ridurre l'auto assorbimento della luce da parte del cristallo stesso.



I Rivelatori a Scintillazione

Gli NaI(Tl) hanno una maggiore risoluzione in energia rispetto ai PVT, ma anche un costo molto più elevato.

Questo tipo di cristalli sono fortemente igroscopici quindi si opacizzano facilmente anche in presenza di piccole quantità di vapore acqueo e necessitano pertanto di accorgimenti tecnologici per mantenere il cristallo ben sigillato.

I rivelatori in PVT hanno una maggiore efficienza dovuta alla possibilità di poterli costruire di dimensioni più grandi.

Un forte sbalzo di temperatura può distruggere il cristallo.



I Rivelatori a Ionizzazione

I rivelatori a camera di ionizzazione sono rivelatori in cui è il gas che funge da rivelatore.

Uno dei gas più usati è l' ^3He .

Il vantaggio di questa tipologia di rivelatori è l'altissima efficienza ai neutroni termici.

Inoltre poiché l'integrazione dei gamma con il rivelatore avviene soprattutto alle pareti della camera e gli elettroni prodotti perdono poca energia nel gas, il segnale gamma può essere eliminato con un opportuna soglia nell'elettronica.

Questi rivelatori funzionano nel regime di contatore proporzionale.

I Rivelatori a Ionizzazione

Con la crisi nel 2009 della produzione di He-3 si sono fatta strada nel mercato i rivelatori a BF_3 .

Le dimensioni tipiche del tubo sono da qualche decina di centimetri fino al metro di lunghezza per qualche centimetro di diametro, mentre la pressione interna è generalmente tra 0.5 e 1 atm.

L'efficienza di rivelazione è sufficientemente elevata per i neutroni termici ma crolla per i neutroni da un centinaio di eV e se non opportunamente moderati sono inutilizzabili per la rivelazioni di neutroni veloci.

I Rivelatori a Semiconduttore

I rivelatori a semiconduttore sono utilizzati per realizzare i portali spettrometrici SRPM.

Possiamo immaginarli come l'equivalente a stato solido di una camera a ionizzazione, con un mezzo solido semiconduttore.

Dimensioni Compatte, che li rendono ideali per adattarsi alle richieste di realizzazione degli strumenti.

I rivelatori a semiconduttore sono allo stato solido hanno una risoluzione migliore di quelli a gas e degli scintillatori.

I Rivelatori a Semiconduttore

In particolare i rivelatori al Germanio hanno una eccellente risoluzione energetica che li rende ottimi per la realizzazione di strumentazione di spettrometria.

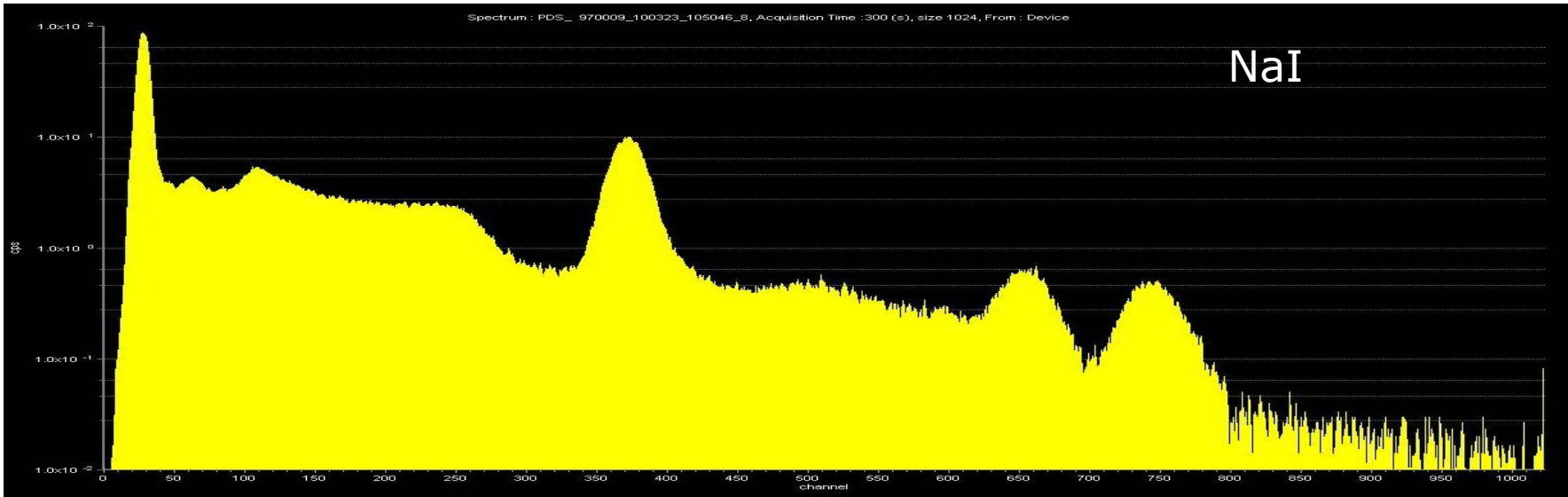
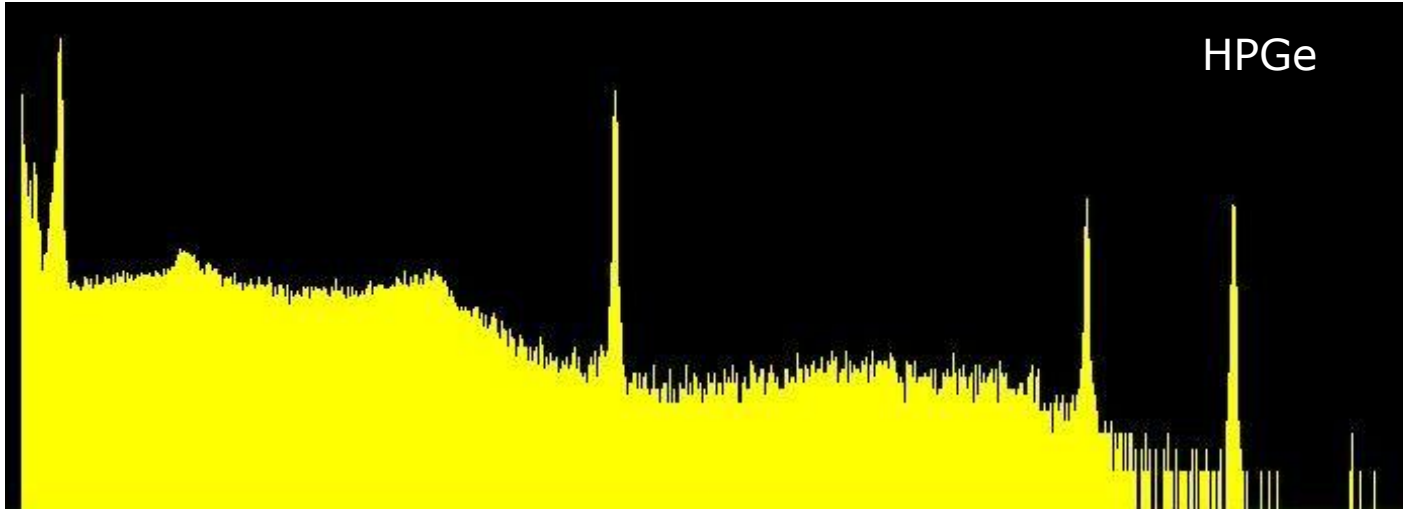
- I rivelatori al germanio devono essere opportunamente raffreddati altrimenti l'alta corrente di fuga renderebbe impossibile la misura.
- E' difficile realizzarli di grandi dimensioni.
- Hanno costi molti elevati.

La speciale proprietà di questo tipo di semiconduttore sta nella capacità di condurre la corrente in modo proporzionale all'energia depositata dei fotoni gamma.

Questa corrispondenza tra energia e corrente è così precisa in un HPGe che il valore di energia è determinato con un errore del 0.1%, (fonte Ortec).



European
Commission



Catena di misura:

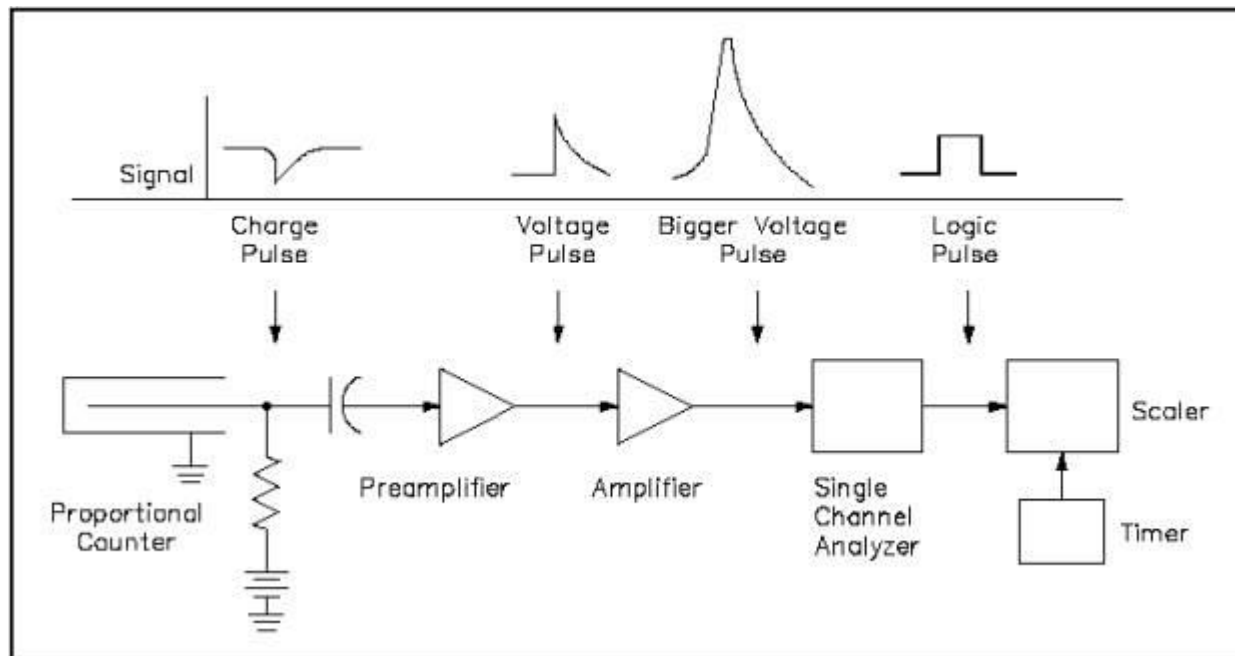
In un portale il segnale in uscita dai rivelatori è collegato ad un:

- Preamplificatore e amplificatore, che conservano la proporzionalità tra l'ampiezza e l'energia ceduta dal fotone al rivelatore.
- Convertitore analogico-digitale ADC.
- Discriminatore o un SCA (Single Channel Analyzer), per discriminare il segnale dal rumore di fondo.

Se il portale è di tipo spettrometrico al posto del SCA ci sarà un analizzatore multicanale (MCA), che "classifica" gli impulsi in predeterminati intervalli di energia (canali) in funzione della loro ampiezza.

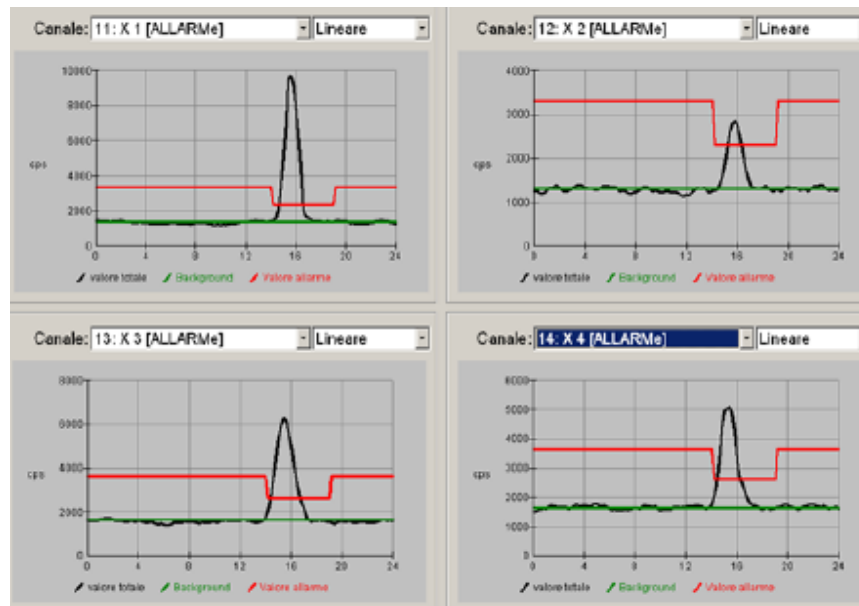
Catena di misura:

Esempio:



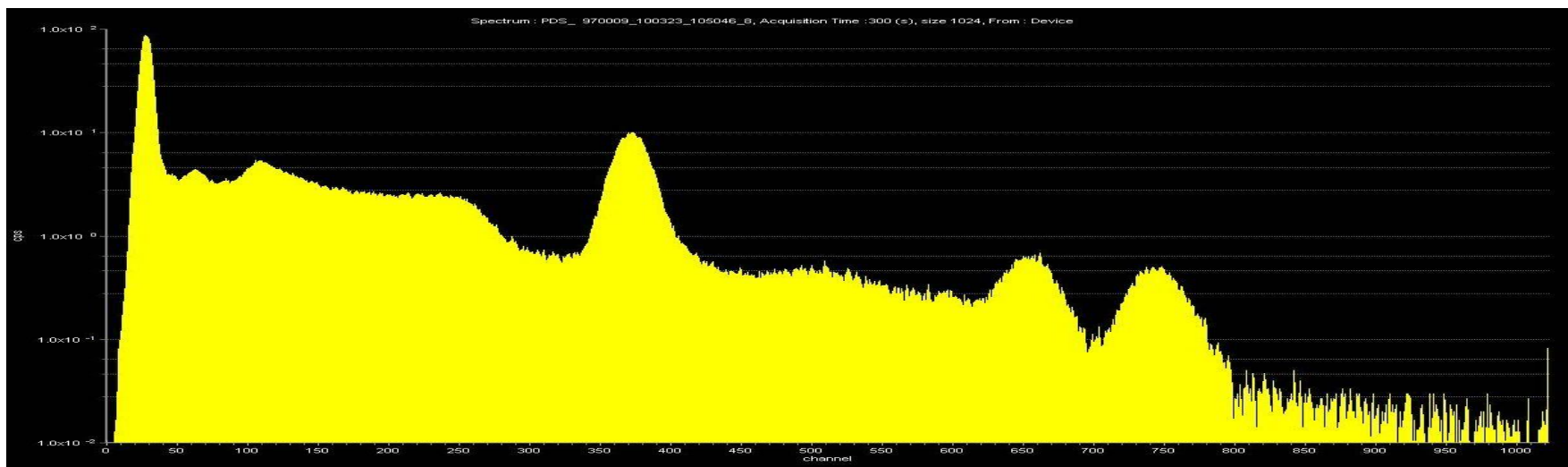
Catena di misura:

Da qui il segnale è inviato ad un computer per l'analisi in tempo reale che può comprendere vari tipi di valutazioni, dal riconoscere la posizione della eventuale sorgente all'interno del veicolo in base alla analisi dei tracciati.



Catena di misura:

Alla comparazione dello spettro gamma con altri spettri conosciuti per l'analisi e il riconoscimento del radionuclide e quindi capire se siamo di fronte ad un NORM, MEDICAL, IND o SNM.



I falsi allarmi

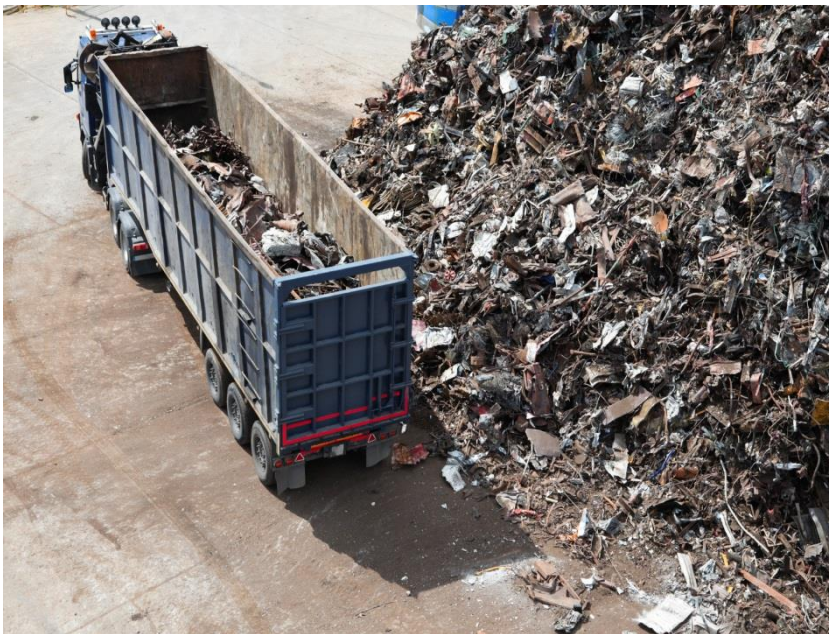
Uno dei problemi da affrontare nei portali radiometrici è la riduzione dei falsi positivi o falsi allarmi.

Una delle cause del falso allarme è l'anomala fluttuazione del fondo naturale in seguito al transito di un veicolo o persona attraverso il portale che scherma la radiazione di fondo.

In particolare poiché la distribuzione dei carichi di rottame non è mai omogenea all'interno dei contenitori di trasporto, potrebbero verificarsi momentanei incrementi del fondo già basso a causa della presenza del veicolo, interpretabili dal software come dovuti al passaggio di una qualche sorgente radioattiva.

I falsi allarmi

Attualmente i più comuni portali, impiegano sistemi di monitoraggio in continuo del fondo naturale e tramite algoritmi software riescono a compensare la variazione del fondo naturale dovuta all'attività di schermatura dei veicoli.



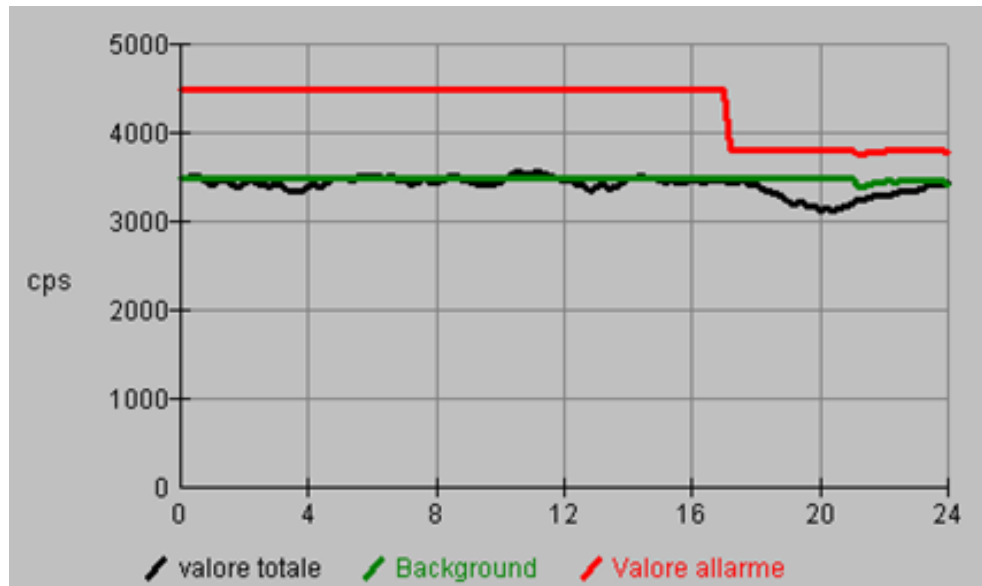
I Falsi allarmi e Soglie d'allarme

Un problema cruciale nell'ottimizzazione di un sistema di rivelazione del materiale radioattivo è la scelta appropriata del "livello d'allarme strumentale", ovvero della soglia del rateo di dose (o conteggi nell'unità di tempo) oltre la quale si dovrebbe procedere ad un più accurato controllo del mezzo e della merce trasportata ovvero dei pedoni.



I Falsi allarmi e Soglie d'allarme

Scegliendo tale soglia molto prossima al fondo naturale medio del luogo di analisi potrebbero essere intollerabili il numero di falsi allarmi o al contrario una soglia troppo alta potrebbe non garantire una sufficiente sensibilità dello strumento nel rilevare i carichi occultati.



I Falsi allarmi e Soglie d'allarme

I falsi allarmi sono dovuti:

- A fluttuazioni del background.
- Al rumore elettronico della strumentazione.
- Ai ratei di dose dovuti ai NORM o da radionuclidi somministrati a pazienti per uso medico (MEDICAL) o ancora da sorgenti radioattive legali usate nell'industria (IND).

Questi allarmi sono chiamati "innocenti" perché non provenienti da attività di carattere militare e comunque non idonei per tal fini.

Gli allarmi reali sono causati dalla presenza di materiale radioattivo illecito o materiale nucleare.

I Falsi allarmi e Soglie d'allarme

Trovare un buon compromesso tra numero di falsi allarmi tollerabili e comunque un discreto livello di sensibilità, non è facile.

Bisognerebbe specificare tali soglie in base al tipo di checkpoint implementato (pedonale, veicoli, treni, bagagli), nonché alle caratteristiche del fondo naturale del luogo.



Considerazioni

La sensibilità di un portale è strettamente correlato al tipo di rivelatore che utilizza.

A questo punto sembra chiaro che occorre fare qualche considerazione per poter scegliere il tipo di rivelatore più adatto in base all'esigenza.



Considerazioni

Volendo fare un brutale confronto tra le efficienze dei tre tipi di rivelatori abbiamo che per avere gli stessi "gross count rate" di un rivelatore plastico in PVT per un portale veicoli ci vorrebbero ben 20 cristalli 4x4x16 inch di NaI(Tl) e 180 rivelatori HPGe.

Nella maggior parte delle applicazioni ci deve essere un bilanciamento tra costi e benefici, in particolare i costi di un portale con rivelatori al HPGe è molto più elevato di uno con NaI(Tl) e a sua volta i portali con rivelatori ad NaI(Tl) sono notevolmente più costosi di quelli con PVT.

La Tecnologia NBR

Nel corso degli ultimi anni una nuova tecnologia si è fatta avanti, l'**NBR** (Natural Background Rejection) per la discriminazione istantanea delle radiazioni gamma dovute a radionuclidi naturali da quelli artificiali e utilizzando scintillatori plastici (PVT).

Questa tecnologia proprietaria della Thermo Scientific e certificata TUV, rende i rivelatori PVT migliaia di volte più sensibile dei rivelatori convenzionali e possono rilevare anche piccolissime dosi di radiazioni artificiali in pochi secondi.

La Tecnologia NBR

In pratica la tecnologia NBR ha colmato il vuoto tra la vecchia generazione di portali RPM con rivelatori in PVT e quella dei portali SRPM con rivelatori a cristallo, unendo i pregi delle due tecnologie:

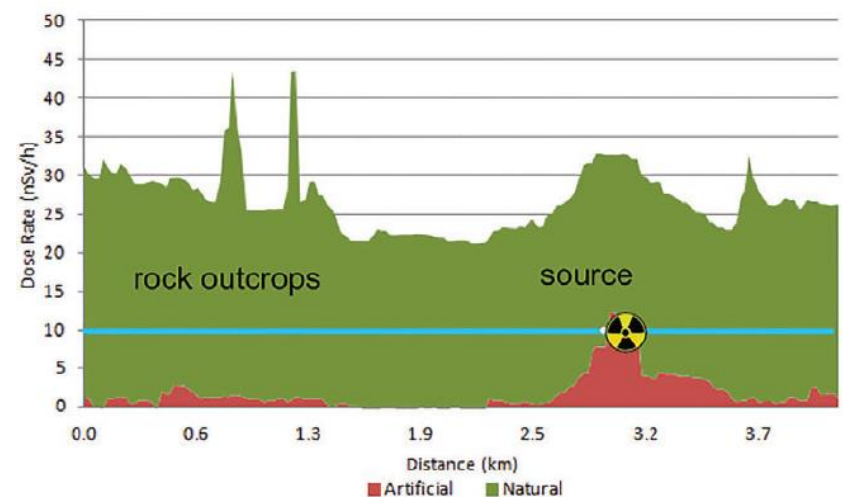
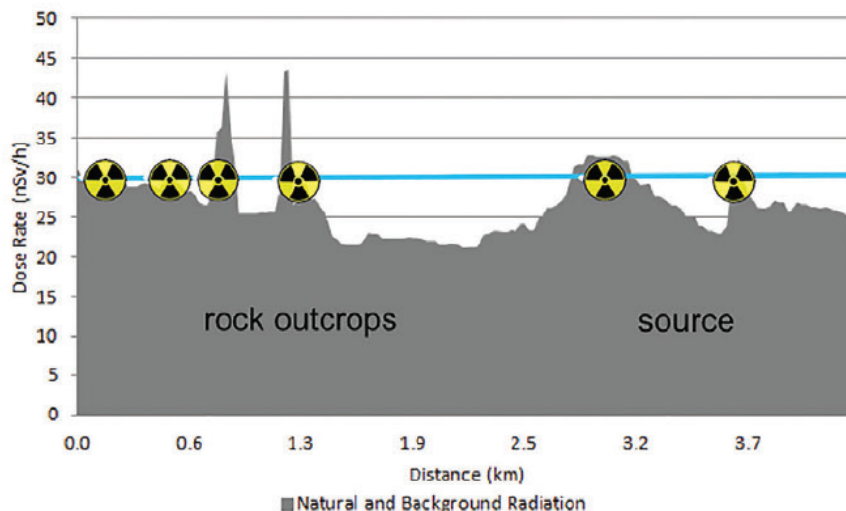
- Compensazione in tempo reale delle fluttuazioni del fondo
- Possibilità di settare soglie di allarme molto basse
- Ridurre sensibilmente i falsi positivi
- Discriminazione dei NORM
- Alta efficienza
- Costo contenuto

La Tecnologia NBR

Esempio di scenario:

Supponiamo di guidare un veicolo in autostrada che attraversa le montagne e passare luoghi con sorgenti artificiali nelle vicinanze.

In auto abbiamo uno strumento per misurare la dose con il setting dell'allarme a 30 nSv/h.



La Tecnologia NBR

Valutazioni:

Un operatore usando uno strumento senza la tecnologia NBR spesso imposta la soglia di allarme alta in modo da eliminare i frequenti falsi allarmi dovuti alla radiazione di fondo, in questo modo però rischia di perdersi eventuali sorgenti schermate.

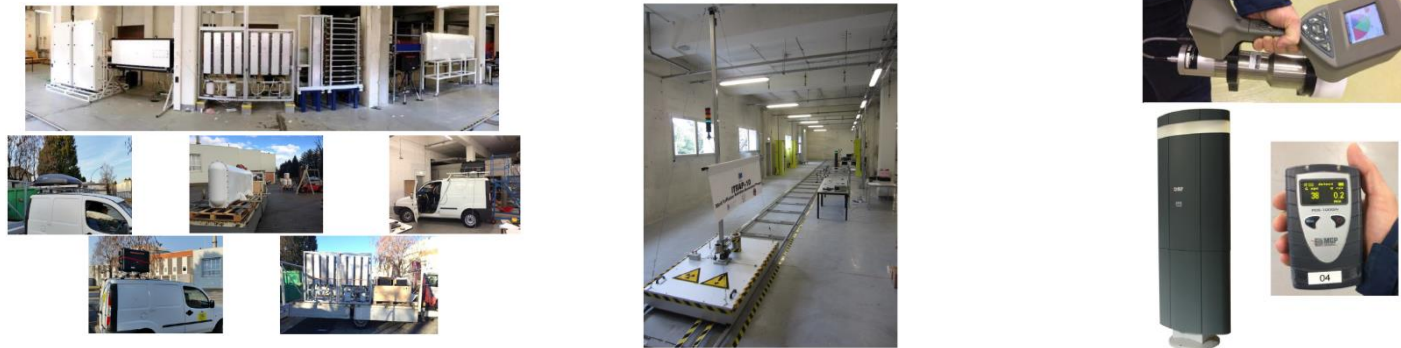
Usando invece uno strumento con NBR questo permette all'operatore di impostare una soglia di allarmi molto bassa senza che si debba preoccupare dei falsi allarmi.



ITRAP+10

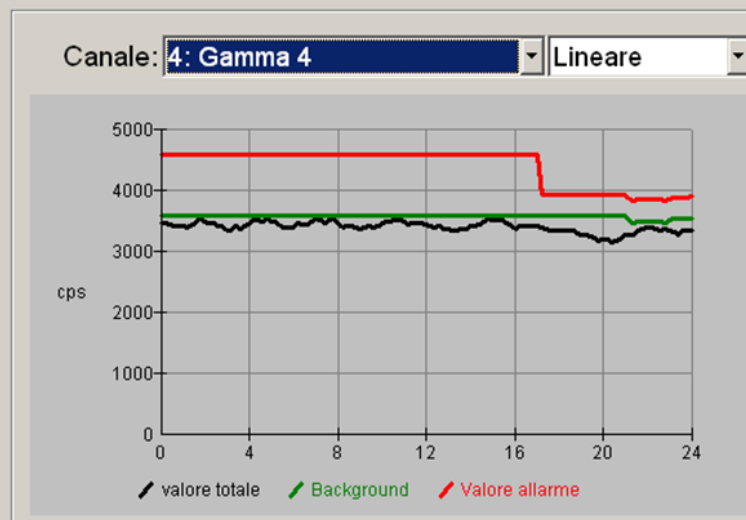
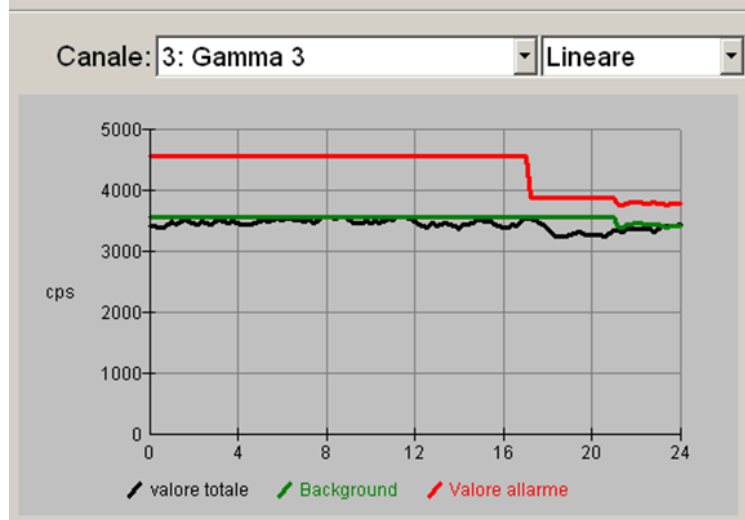
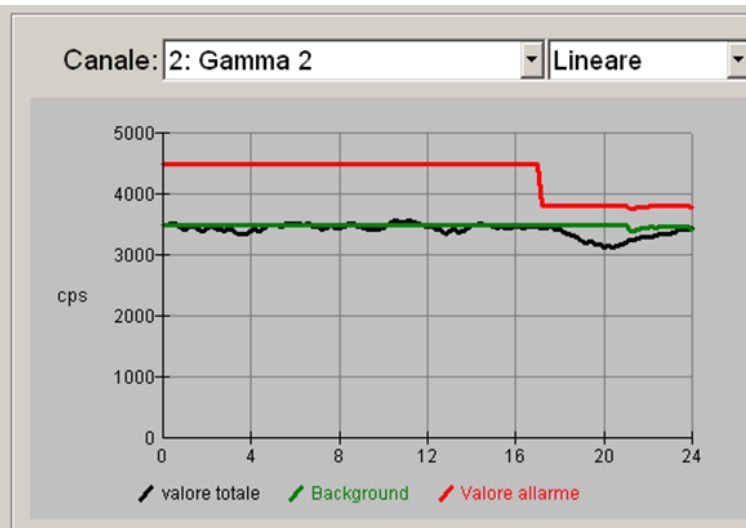
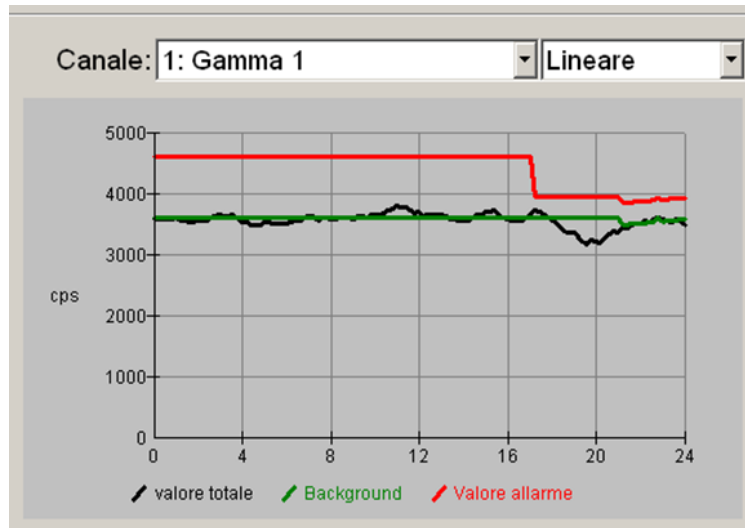
Di notevole importanza a tal riguardo sono gli studi ITRAP (Illicit Trafficking Radiation Assessment Program).

Dal 2011 al 2014 sono stati testati Oltre 170 strumenti provenienti da produttori degli stati membri e dagli USA per verificare la conformità alle norme (IEC e ANSI) e raccomandazioni IAEA NSS1. Il lavoro è stato eseguito al JRC Ispra in collaborazione con la IAEA e con US DoE/DNDO.

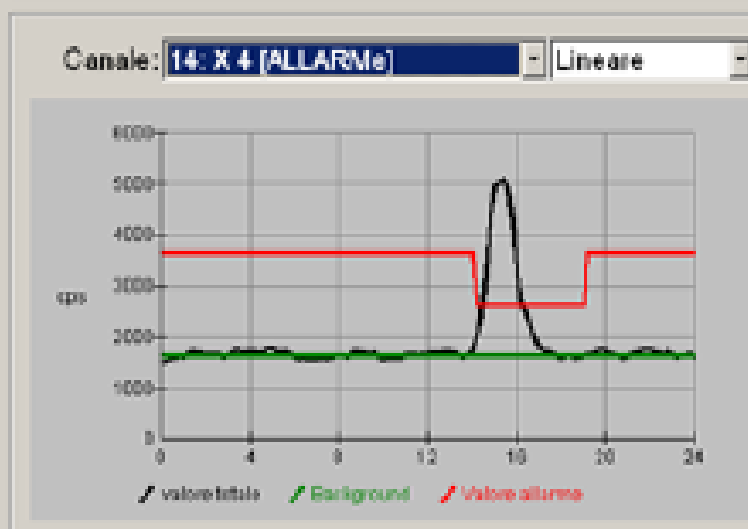
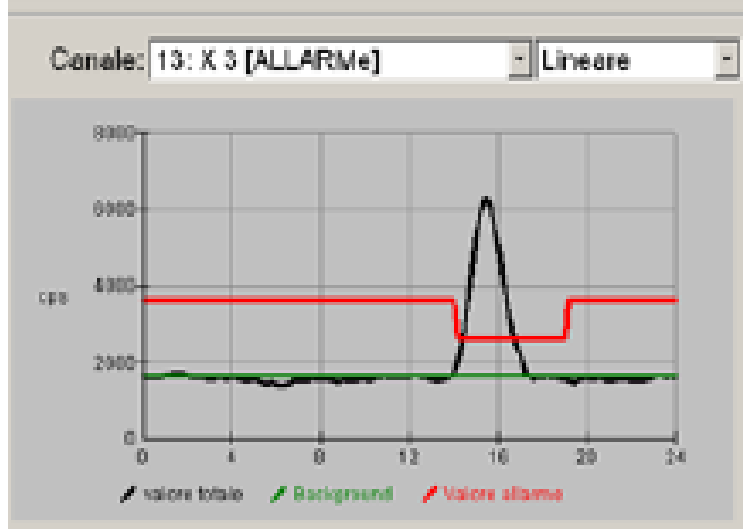
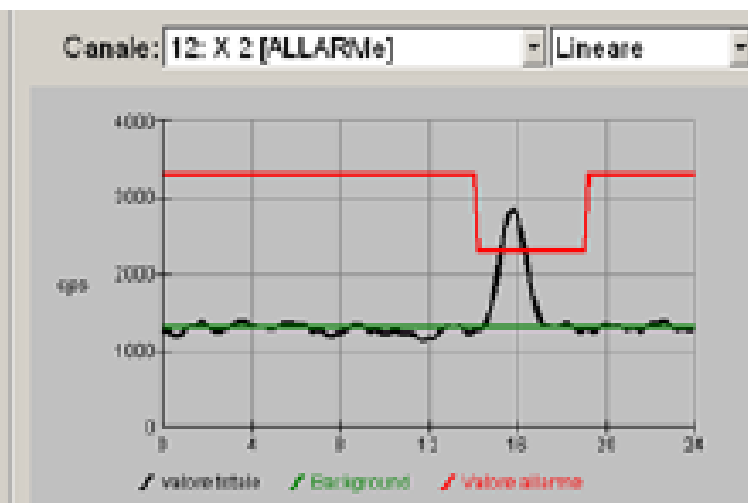
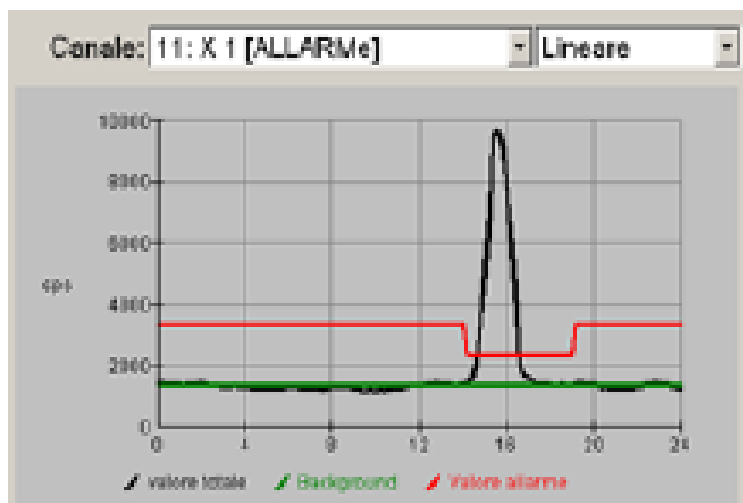


I risultati dello studio sono messi a disposizione degli Stati membri della IAEA affinché possano essere utilizzate per la stesura di raccomandazioni tecniche nazionali ed internazionali.

Analisi dei tracciati



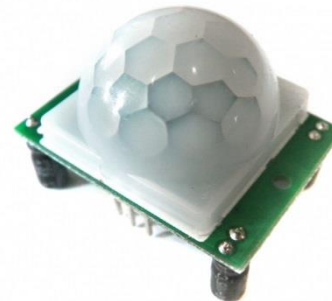
Analisi dei tracciati



Tecnologia di contorno:

Oltre alla tecnologia necessaria a rilevare la radiazione gamma e/o neutronica, in un portale ci può essere molto altro:

- Sensori infrarossi attivi (generalmente presenti nei portali per veicoli o merci), servono ad attivare la misura, capire se il veicolo è una macchina o un camion e misurare la velocità del veicolo.
- Sensori infrarossi passivi, PIR, con lenti di Fresnel (presenti nei portali per lo screening delle persone), rivelava il passaggio e attiva la misura.



Tecnologia di contorno:

- Connessione remota tramite protocollo TCP/IP via cavo RJ45 e/o WiFi.
- Server web Linux integrato per connessione remota con il vantaggio di non rendere necessario l'installazione di un software in un computer dedicato.
- Relè per attuazioni remote (apertura barriere, tornelli, bussole, allarmi visivi ed acustici).



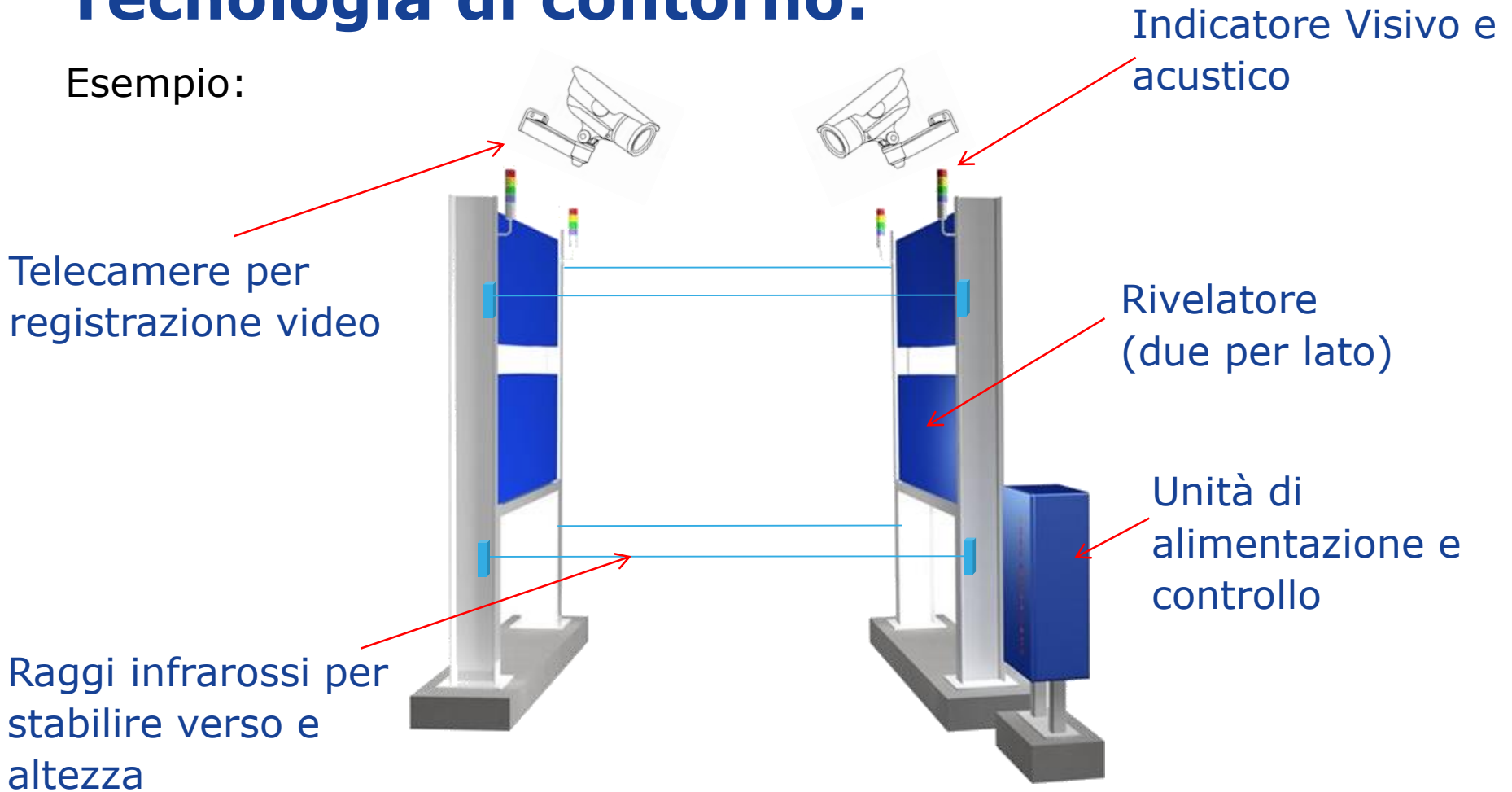
Tecnologia di contorno:

- Telecamere con registrazione del passaggio.
- Software con capacità di sovrapporre il tracciato della misura con il video del passaggio del veicolo, per rendere più chiara la posizione dell'eventuale sorgente radioattiva nel veicolo.
- Led infrarossi per avere una migliore immagine in condizioni di scarsa visibilità o di notte.
- Batteria interna e/o gruppo di continuità per poter funzionare anche in caso di momentanea assenza di corrente elettrica.



Tecnologia di contorno:

Esempio:



Tecnologia di contorno:

Esempio:





European
Commission



Check Point Monitoring at a Special Event



Monitoring at the Airport



Alcune indicazioni per la misura

Anche se molto sensibili i portali necessitano in ogni caso di limiti di velocità di transito ed accorgimenti:

- La velocità di accesso nel portale deve essere limitata a circa 8 km/h.
- Restrizioni della zona di rivelazione per consentire un'ottimale distanza di rivelazione.
- Fra un accesso e il successivo ci deve essere un tempo congruo affinché il sistema torni nella condizione di misura normale, generalmente uno o due minuti sono sufficienti.
- I mezzi devono essere distanziati fra loro per evitare che la misura sia influenzata dalla presenza di un mezzo in attesa.

RACCOMANDAZIONI IAEA

Dimensione minima per rivelatori PVT per portali:

- pedonali $0.5 \times 10^4 \text{ cm}^3$
- veicoli $1.8 \times 10^4 \text{ cm}^3$ per pillar schermati su tre lati.
- treni maggiore di $1.8 \times 10^4 \text{ cm}^3$ per pillar schermati su tre lati.

Gamma range in energia: 30 keV ÷ 3 MeV (dentro il quale devono soddisfare i requisiti di efficienza statica e dinamica).

Per i neutroni rivelatore He-3 del diametro di 30mm e lunghezza un metro:

- pedonali almeno un tubo.
- veicoli almeno 4 tubi.

RACCOMANDAZIONI IAEA

Va assicurata una zona per la misura (detection zone):

Pedonali:

- Verticale: 0.1÷2.0 m;
- Orizzontale: 3 m per doppio pillar;

Veicoli:

- Verticale: 0.2÷4.5 m;
- Orizzontale: 5 m;

Treni

- Verticale (sopra i binari): 0.3÷6.0 m;
- Orizzontale: 6 m;

RACCOMANDAZIONI IAEA

Frequenza dei falsi allarmi (FAR):

La frequenza in cui si presentano i falsi allarmi non deve essere maggiore di 1 su 10.000 passaggi.

Per i portali pedonali di tipo SRPM in modalità (walk-through) cioè passaggio continuo senza sosta all'interno del portale, devono poter riconoscere il radionuclide entro tre secondi.

Il tempo di acquisizione e analisi dei dati non deve eccedere i tre secondi con una dose tra 0.05 $\mu\text{Sv/h}$ a 1 $\mu\text{Sv/h}$.

NORME DI RIFERIMENTO

- IAEA NSS1 Technical and Functional Specifications for Border Monitoring Equipment
- CEI IEC 62244 Radiation protection instrumentation – Installed radiation monitors for the detection of radioactive and special nuclear material at national borders.
- ISO 22188:2004 Monitoring for inadvertent movement and illicit trafficking of radioactive material.
- N42.35-2016 American National Standard for Evaluation and Performance of Radiation Detection Portal Monitors for Use in Homeland Security

Stay in touch



EU Science Hub:
ec.europa.eu/jrc



Facebook:
EU Science Hub – Joint Research Centre



Twitter:
@EU_ScienceHub



LinkedIn:
Joint Research Centre



YouTube:
EU Science Hub