

**PORTALI PER LA RIVELAZIONE DI MATERIALI
RADIOATTIVI NEI ROTTAMI METALLICI**

STAGISTA :	DOTT. ING. LUCA SPAGNOLO
TUTOR:	MAURIZIO BORRECA
RESPONSABILE:	ING. VANIO ORTENSÌ

INDICE

Introduzione	4
Spettrometria gamma	6
Interazioni con la materia.....	6
Effetto fotoelettrico:	6
Produzione di coppie.....	6
Effetto Compton.....	6
Rivelatore a scintillazione.....	6
Fotomoltiplicatore.....	6
Spettrometro Gamma	7
<i>Fotopico:</i>	8
<i>Distribuzione compton</i>	9
<i>Picchi somma</i>	9
<i>Picchi di retrodiffusione</i>	9
<i>Picchi fuga</i>	9
Multicanale.....	11
<i>Calibrazione MCA</i>	12
Monitoraggio automatico efficace per Transuranici.....	12
PORTALI.....	13
<i>Esempi e schede tecniche di alcuni portali</i>	14
Serie YANTAR.....	14
Yantar 1U.....	14
Yantar 2U.....	15
NucSafe PUMA-TM.....	16
SAPHYMO	17
Portale serie AT-900 (RPM)	18
Sistema/generale	18
Rivelatore.....	18
Console	18
Portale di radiazione AT-980 (RPM) (SAIC).....	18
Panoramica.....	18
Applicazioni	19
Caratteristiche	19
Vantaggi.....	19
Specifiche tecniche	19
AT-140 Sistema a gru di rivelazione di radiazioni	19
Applicazioni	20
POLIMASTER	21
Polimaster PM5000 VM-250 GN	26
VM-250A/VM-250AGN	26
Descrizione.....	26
Applicazioni:.....	27
Elenco di materiali scintillanti	29
Sommario	31
Il problema	31
Tecniche Gamma Spettrometriche per la soppressione di “allarmi innocenti”	32
Descrizione dello strumento e tecnica spettrometrica.....	32
Prove sulla soppressione di allarmi NORM utilizzando informazioni spettrali	34
Sensibilità di rivelazione di sorgenti Pu senza soppressione NORM	36

Sensibilità di rivelazione di sorgenti Pu con soppressione NORM	36
Conclusione.....	38
Legenda.....	38

Indice delle figure

Figura 1 Schema del rivelatore a scintillazione e successiva fotomoltiplicazione	7
Figura 2 Spettri gamma.....	8
Figura 3 Portale Yantar 1U	14
Figura 4 Portale Yantar 2U	15
Figura 5 Portale NucSafe	16
Figura 6 Portale SAPHYMO	17
Figura 7 Serie PoliMaster 5000	21
Figura 8 Serie PoliMaster 5000	22
Figura 9 Serie PoliMaster 5000	22
Figura 10 Modelli di POLIMASTER	23
Figura 11 Portale Polimaster.....	26
Figura 12 Esempio di rivelazione di un autocarro	33
Figura 13 Console AT 900.....	33
Figura 14 Finestre di analisi.....	34
Figura 15 Profilo del rateo di conteggio	35
Figura 16 Analisi logica di rivelazione	35

Introduzione

Numerosi episodi negli anni passati hanno riguardato il movimento illegale di materiali nucleari e altre sorgenti radioattive attraverso i confini internazionali. Ancora più frequentemente sorgenti radioattive sono state portate inconsapevolmente in circolazione, in particolare nei rottami metallici causando talvolta esposizione significativa alla radiazione. Questo crea un rischio potenzialmente grave alla salute. Nel 1995 la IAEA ha avviato un programma per combattere il traffico illecito di materiali radioattivi, che include la creazione di un database internazionale su episodi illeciti di traffico.

Il contrabbando nucleare è considerato oggi come una " minaccia alla sicurezza nazionale" negli Stati Uniti e in molti paesi nel mondo, particolarmente dopo l'11 settembre.

Il traffico illecito in materiali nucleari e radioattivi non è un fenomeno nuovo. Tuttavia, la preoccupazione di un "mercato nero nucleare" è aumentata eccezionalmente nel decennio scorso. Oltre alla minaccia di armi nucleari, i materiali radioattivi sono utilizzati ampiamente nell' industria medica. Tuttavia, combinando tali materiali radioattivi con esplosivi convenzionali, essi creano "dispositivi di dispersione di radiazione" (RDDs), chiamate "bombe sporche". Dispositivi tecnicamente abbastanza semplici, che potrebbero produrre una contaminazione estesa, se fatti esplodere nel centro di una grande città o in un'altra posizione strategica.

Mentre i sistemi di controllo dei rottami metallici contaminati negli impianti di acciaio e nelle discariche sono utilizzati da molti anni; sono rimaste delle sostanziali differenze nelle modalità delle misurazioni e nella procedura di confinamento dei materiali radioattivi rinvenuti. La grande mole di traffico di veicoli limita il tempo a disposizione per effettuare delle misurazioni precise e, in caso di allarme, vengono a crearsi problemi pratici nell'effettuare ulteriori misure sullo stesso veicolo.

Il monitoraggio al confine tra due stati deve coprire tutti i tipi di traffico veicolare (mare terra, rotaia e aria). Per la ricerca di materiali nucleari bellici, quale il plutonio, si richiede la misurazione neutronica. I frequenti falsi allarmi (allarmi non causati da un segnale di radiazione reale) e "allarmi innocenti" (allarmi veri causati da un segnale di radiazione a causa di radioisotopi medici) possono creare problemi inaccettabili ai confini e rendere il sistema di monitoraggio in pratica inutile. Quindi un compromesso deve essere fatto tra sensibilità di rivelazione e il tasso di falso allarme.

La scoperta di materiali nucleari o altri materiali radioattivi ai confini richiede una risposta reattiva immediata sulla scena del ritrovamento, per recuperare informazioni ed evitare l' intensificazione futura di problemi simili.

Gli obiettivi e le priorità per combattere tale traffico di materiali radioattivi sono:

- ◇ minimizzare qualsiasi rischio potenziale alla salute;
- ◇ ridurre il rischio di commercio bellico;
- ◇ indagare e raccogliere qualsiasi prova riguardante la provenienza finalizzata al comprendere in quale modo (anche accidentale) si vadano a diffondere tali materiali, stabilendone una scala di gravità per ogni singolo evento.

La decisione secondo la quale si stabilisce che un particolare episodio deve essere considerato un caso reale di traffico illecito dovrà essere presa o almeno fatta partire dall'ufficiale di linea, basata sui primi dati forniti dal sistema di controllo. Per questa decisione giocano un ruolo fondamentale gli spettrometri gamma. La caratterizzazione rapida del materiale radioattivo sul posto è quindi di importanza fondamentale e dovrebbe essere eseguita di routine dall'ufficiale di linea, evitando perdite di tempo per l'intervento di esperti qualificati esterni.

Abstract

Numerous incidents in the past years involved illegal movement of nuclear materials and other radioactive sources across State borders. Even more frequently radioactive sources out of regulatory control have entered the public domain, in particular in metallurgical scrap, and sometimes caused significant radiation exposure. This creates a potentially serious hazard to public health as well as a thread of nuclear proliferation and terrorist activities. In 1995 the IAEA started a program to combat illicit trafficking in nuclear and other radioactive materials, which includes the operation of an international database on illicit trafficking incidents, which is now collecting reports from about 85 Member States [1].

Nuclear smuggling involving nuclear proliferation or nuclear terrorism is considered today as a “prime national security threat” in the United States and many countries all over the world, particularly after September 11. It is likely that front line inspectors will be the first law enforcement personnel to encounter radioactive materials. Law enforcement officers have therefore assumed a new important responsibility to detect and properly respond to special nuclear material and weapons of mass destruction, interdict hazardous radioactive materials and to protect themselves, their fellow citizens, the public and the environment from radiation hazard.

Illicit trafficking in nuclear and radioactive materials is not a new phenomenon. However, concern about a “nuclear black market” has increased remarkably in the last decade. In addition to the threat of nuclear weapons getting in wrong hands, radioactive materials are widely used in industry of medicine and much easier accessible for criminals than nuclear materials, which are generally under physical protection. However, combined with conventional explosives they create “radiation dispersion devices (RDDs)”, nowadays often called “dirty bombs”.

Such technically quite simple devices, could lead to a nightmare of terror and widespread contamination, if exploded in the centre of a large city or at an other strategic location. In fact such devices carry a comparable terroristic potential as nuclear weapons. While monitoring systems for contaminated scrap metals in steel plants and scrap yards have been used routinely since many years, this has – until recently - not been the case for detection systems in-stalled at border crossings, due to the fact that the measurement conditions at borders are essentially different. Large vehicle traffic limits the time for detection and response to a few seconds and repeated checks of the same vehicle are usually impractical. Border monitoring has to cover all kinds of traffic, on ground and at sea, passenger cars, lorries and busses and rail cars, as well as pedestrians, particularly at airports, and all kinds of sea going vessels including container ships. For the detection of shielded nuclear materials, such as plutonium, additional neutron measurement is essential. Frequent false alarms (alarms not caused by an increased radiation signal) and “innocent alarms” (true alarms caused by an increased radiation signal due to “innocent” naturally occurring or medical radioisotopes) may create unacceptable problems at borders and render the monitoring system practically useless. Therefore a compromise needs to be made between sensitivity of detection and false alarm rate.

Detection or discovery of nuclear or other radioactive materials at borders or inside States will require an immediate reactive response at the scene of the discovery, to regain control and to prevent further escalation of problems. The overriding objectives and priorities of any response to illicit trafficking of radioactive materials are:

- to minimize any potential health hazards;
- to bring the radioactive materials under appropriate control; and
- to investigate, gather evidence and prosecute any offenders.

The decision, if a particular incident is to be considered a real case of illicit trafficking and which kind of response is required, will have to be made or at least initiated by the front line officer based on the first evidence. For this decision hand held gamma spectrometers play a crucial role. Quick characterization of the radioactive material on the spot is therefore of crucial importance and should be performed, if possible - at least in routine situations of operational response – by the front line officer, without loosing time to get outside expert assistance.

Spettrometria gamma

La spettrometria gamma è un metodo di analisi che consente la determinazione qualitativa e quantitativa di nuclidi radioattivi gamma-emittenti in un materiale.

Interazioni con la materia

L'interazione dei fotoni gamma o X con la materia ha luogo principalmente a causa di tre diversi processi elettromagnetici, nei quali sono assorbiti o vengono diffusi perdendo energia:

Effetto fotoelettrico:

Questo effetto predomina a basse energie.

Il gamma incidente colpisce un elettrone cedendogli la sua energia; tale elettrone abbandona l'atomo con energia cinetica pari all'energia cedutagli dal gamma. L'atomo nel riordinare il suo assetto atomico emette un quanto di energia che a sua volta può ionizzare.

Produzione di coppie

Tale effetto ha maggiore probabilità di avvenire ad alte energie.

Se il fotone incidente ha un'energia maggiore di 1.02 MeV (massa a riposo dell'elettrone) è possibile che si formi una coppia elettrone-positrone; quest'ultimo poi si annichila producendo 2 gamma da 511 KeV ciascuno (che possono essere rivelati a loro volta)

Effetto Compton

Questo effetto è evidente per energie intermedie tra quelle che caratterizzano l'effetto fotoelettrico e quelle che riguardano la produzione di coppie

Il fotone incidente cede parte dell'energia all'elettrone atomico e viene deflesso di conseguenza di un certo angolo rispetto la traiettoria iniziale.

Rivelatore a scintillazione

E' composto da un materiale scintillante, otticamente accoppiato ad un fotomoltiplicatore. La radiazione passando attraverso lo scintillatore eccita atomi e molecole e si ha una emissione di luce. Essa viene raccolta e trasmessa ad un fotomoltiplicatore, convertita in corrente elettrica e analizzata da un sistema elettronico.

Un classico rivelatore ha come materiale scintillante un cristallo inorganico, lo ioduro di sodio (NaI), talvolta attivato al Tallio.

Le caratteristiche fondamentali di un rivelatore a scintillazione sono:

Sensibilità ad una data energia:

- | | |
|---------------------------|---|
| Risposta veloce: | la risposta del rivelatore avviene dopo un certo intervallo di tempo ("tempo morto"); è necessario che tale tempo sia piccolo affinché possa rivelare segnali di alta velocità; |
| Discriminazione di forma: | particelle di diverso potere ionizzante producono impulsi di luce di forma diversa che lo scintillatore è in grado di rivelare. |

Fotomoltiplicatore

Tubo elettronico che converte la luce in corrente misurabile. Esso è costituito da un tubo di vetro sottovuoto all'interno del quale si hanno:

- catodo di materiale fotosensibile (fotocatodo)
- sistema di raccolta di elettroni
- moltiplicatore di elettroni (sistema di dinodi)
- anodo di raccolta del segnale finale

Un fotone visibile colpisce il fotocatodo che emette elettroni per effetto fotoelettrico; l'elettrone così emesso, è accelerato ed indirizzato verso il primo dinodo, che a sua volta emette elettroni secondari che vengono accelerati verso il dinodo successivo e così via. Tutto ciò alla fine determinerà una cascata di elettroni che sarà raccolta sull'anodo.

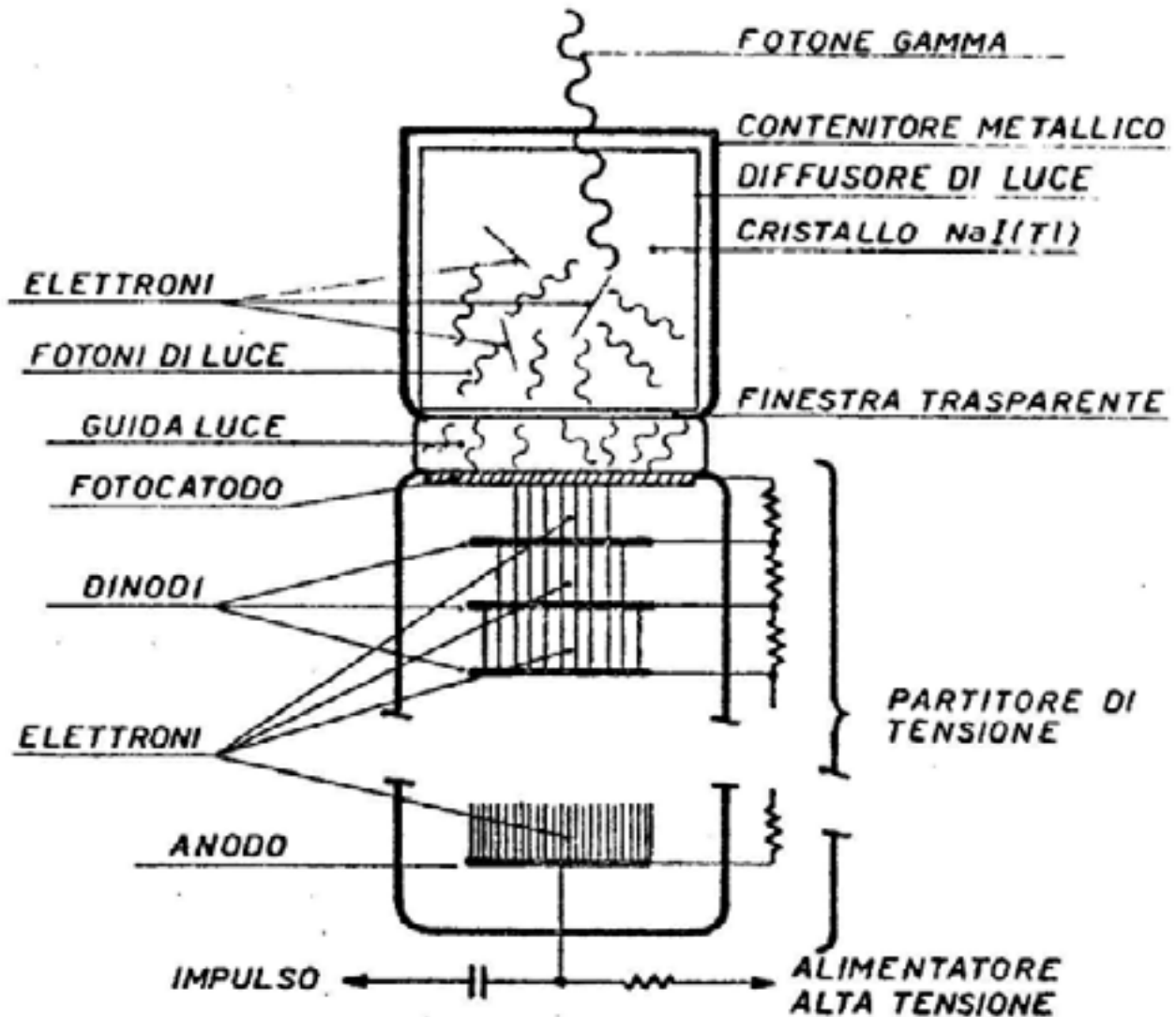


Figura 1 Schema del rivelatore a scintillazione e successiva fotomoltiplicazione

Spettrometro Gamma

Lo spettrometro gamma è un sistema in grado di determinare la distribuzione energetica dei fotoni gamma. I dati ottenuti sono espressi come numero degli impulsi in funzione dell'energia delle radiazioni (spettro).

Lo spettrometro gamma si può considerare composto di tre parti principali:

1. sistema di rivelazione, comprendente rivelatore e schermatura;
2. sistema di analisi degli impulsi composto da preamplificatore, amplificatore, convertitore analogico - digitale;
3. sistema di registrazione, visualizzazione, analisi dei dati.

I raggi gamma sono radiazioni indirettamente ionizzanti; la loro rivelazione si basa sulla possibilità che questi cedano tutta o parte della loro energia alla materia ionizzandola (per materia si intende la zona attiva del rivelatore e le pareti dello stesso)

Un fotone incidente, interagendo con il rivelatore, cede ad esso, totalmente o parzialmente a seconda del tipo di interazione, la propria energia. La funzione del rivelatore è quella di trasformare tale energia in una quantità di carica elettrica, ad essa proporzionale, che viene raccolta per dar luogo ad un segnale elettrico. Un rivelatore deve quindi essere costituito da un materiale opportuno e avere dimensioni adatte, in modo che esista una buona probabilità di interazione del fotone e che siano minimizzate le fughe di elettroni secondari (che invece devono andare a costituire il segnale).

La spettrometria gamma viene eseguita per mezzo di rivelatori che, a seconda del tipo e delle dimensioni, forniscono spettri assai diversi tra loro.

Supponiamo di dover considerare gamma di energia $E > 1.02 \text{ MeV}$ con due rivelatori dello stesso tipo ma di diverse dimensioni: il primo molto grandi (a) e il secondo molto piccolo (b). Gli spettri ottenuti sono del tipo:

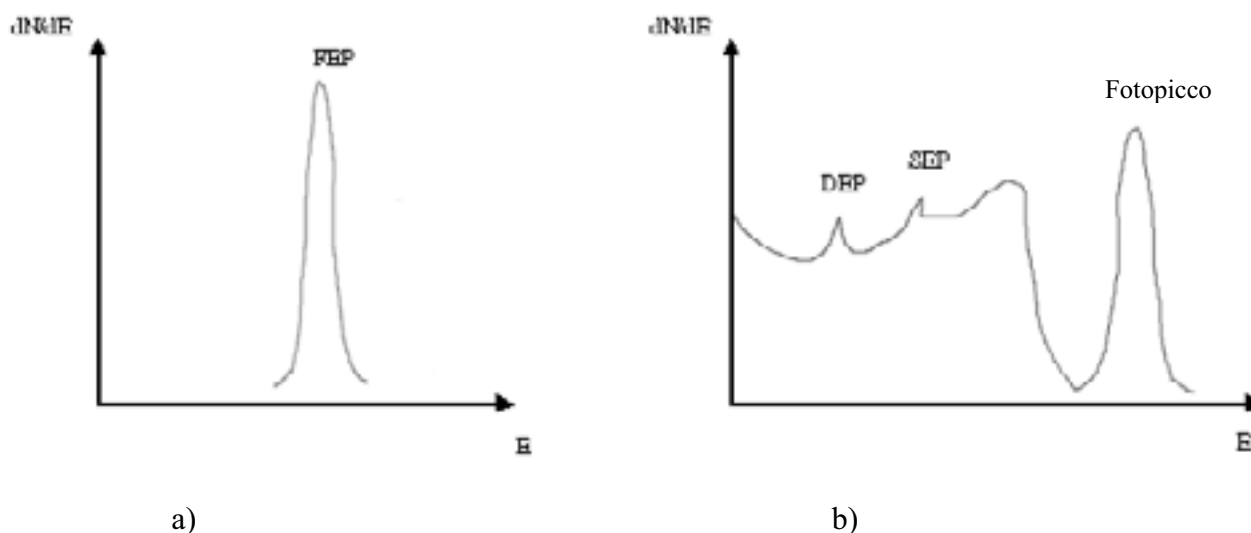


Figura 2 Spettri gamma

Spettro a)

Tutti gli effetti avvengono all'interno del rivelatore e cadono nel FEP (Full Energy Peak). L'energia del gamma è completamente trasformata in energia cinetica di particelle cariche rivelate.

Fotopicco:

A causa della natura statistica dei processi che intervengono nella formazione del fotopicco, esso si presenta non più come la "riga" rappresentata nello spettro "ideale" ma come una distribuzione *gaussiana* d'impulsi centrata attorno al valore corrispondente all'energia del fotone gamma.

Si definisce "risoluzione" di uno spettrometro relativa a raggi gamma di energia E_0 , l'ampiezza a metà massimo del fotopicco espressa come percentuale di E_0 . Questo parametro è d'importanza fondamentale nella spettrometria gamma.

Spettro b)

Il fotopicco è relativo al solo effetto fotoelettrico; la parte dei picchi più piccoli (DEP, SEP) è invece riferita a quegli effetti che sfuggono dal rivelatore e non vengono rivelati.

Distribuzione Compton

E' rappresentata dalla parte di spettro corrispondente ad un trasferimento parziale di energia dei fotoni gamma al rivelatore. Normalmente questo e' dovuto a processi d'interazione Compton singoli o multipli dopo i quali il raggio gamma diffuso sfugge dal rivelatore. La distribuzione Compton di uno spettro gamma è caratterizzata da un massimo, che corrisponde a processi d'interazione Compton nel rivelatore con retrodiffusione a 180° del fotone. Tra il fotopicco ed il massimo della distribuzione Compton esiste una zona dello spettro detta "valle Compton"; essa e' dovuta sia all'assorbimento totale dei fotoni che hanno subito, prima del loro ingresso nel rivelatore, una piccola deflessione in un processo Compton, sia a fotoelettroni che, sfuggendo dalla superficie del rivelatore, non esauriscono la loro energia cinetica in esso, sia a processi multipli d'interazione Compton senza assorbimento totale dell'energia del fotone.

Picchi somma

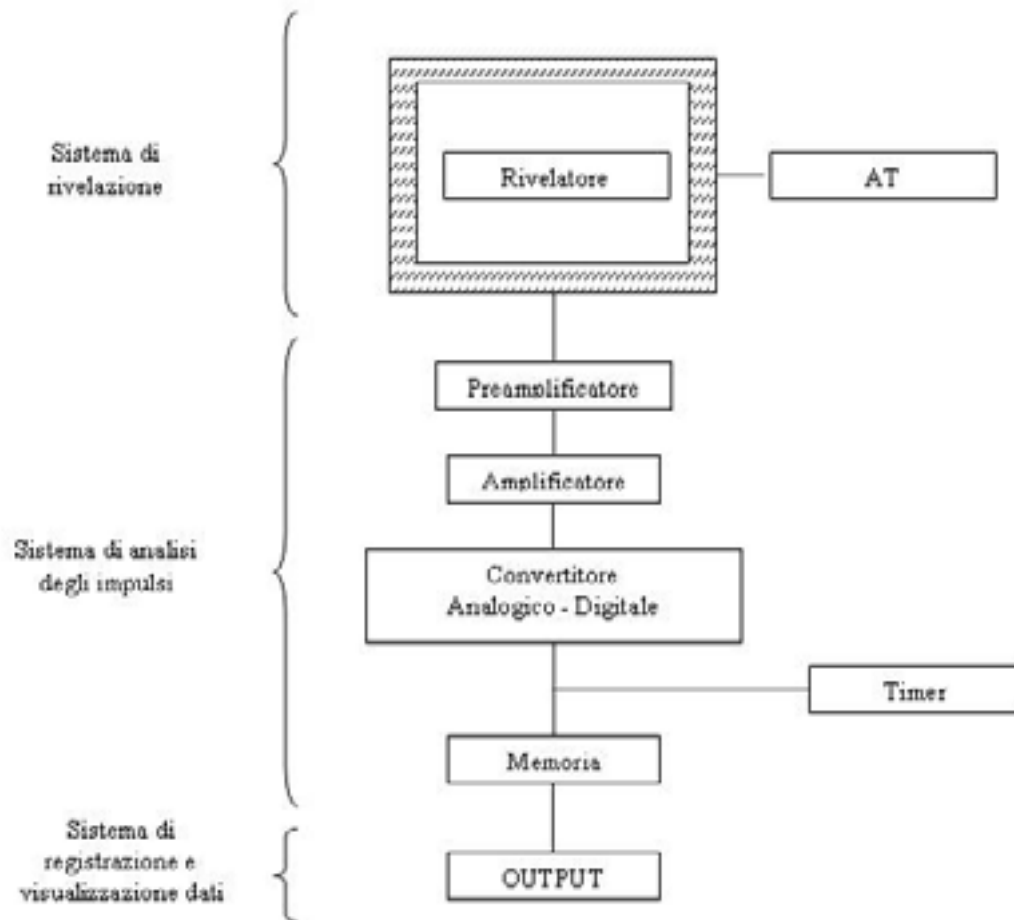
Con questo termine vengono designati i picchi dovuti alle interazioni di più fotoni nel rivelatore, che avvengono in intervalli di tempo così brevi da essere rivelati come un solo evento. L'effetto somma degli impulsi non riguarda soltanto i picchi ma anche la distribuzione continua di impulsi.

Picchi di retrodiffusione

I raggi gamma emessi dal campione, interagendo mediante processi Compton con il materiale che circonda il rivelatore, vengono poi retrodiffusi nel rivelatore dando luogo ad un picco di retrodiffusione la cui energia massima e' uguale a circa 0.25 MeV.

Picchi fuga

Sono quelli dovuti ad interazione con *produzioni di coppie* e uscita dal rivelatore della conseguente radiazione di annichilazione.



I rivelatori a stato solido (a scintillazione o a semiconduttore) sono i più indicati per la misura dei raggi gamma, grazie alla loro elevata efficienza. Gli impulsi elettrici in uscita dal rivelatore, inizialmente deboli, devono essere opportunamente amplificati e formati da preamplificatore e amplificatore in modo da renderli adatti alla successiva analisi, conservando però la proporzionalità tra la loro ampiezza e l'energia ceduta dal fotone al rivelatore. Gli impulsi amplificati vengono quindi inviati ad un Analizzatore Multicanale (MCA), che li "classifica" in predeterminati intervalli di energia in funzione della loro ampiezza. Il circuito fondamentale dell'MCA è il Convertitore Analogico – Digitale (ADC), che converte un segnale analogico (l'ampiezza dell'impulso) in un numero ad essa proporzionale. Associata all'ADC vi è una memoria costituita da tante locazioni (canali), ciascuna delle quali corrisponde ad intervallo di ampiezza compreso tra un valore e lo stesso aumentato di una piccola quantità ($h, h+dh$). Dopo che il segnale in uscita dal rivelatore è stato analizzato, il contenuto della locazione di memoria corrispondente alla sua ampiezza viene incrementato di una unità. Lo spettro delle ampiezze degli impulsi così ottenuto può venire registrato per poter essere richiamato, visualizzato sullo schermo di un computer e analizzato tramite un software opportuno.

L'emissione luminosa da parte del cristallo è un fattore molto importante per la costruzione di tutto l'apparato: un buon cristallo deve avere un alto rendimento luminoso, cioè di convertire molta della radiazione in luce; un elevato potere di trasmissione della luce, in modo da favorire la trasmissione della luce generata al fototubo; un tempo di decadimento molto breve della luce generata; una facile produzione del cristallo.

Il fototubo è costituito da una superficie fotosensibile (fotocatodo) e da alcuni elettrodi (dinodi e anodo) posti in una struttura a tubo in vetro.

I dinodi sono ricoperti da un sottile strato di una sostanza che permette di moltiplicare gli elettroni incidenti, così che per ogni elettrone incidente ce ne siano due o tre alla riflessione successiva. Alla fine del processo si ottiene una vera e propria corrente, raccolta dall'anodo che essendo collegato a un sistema esterno gli invia il segnale.

Il preamplificatore ha la funzione di convertire deboli impulsi ad alta impedenza, che non possono viaggiare nei cavi per via della perdita di ampiezza del segnale e di distorsione, in impulsi a bassa impedenza che invece possono farlo. Così gli impulsi raggiungono l'amplificatore che li adatta alle necessità dell'analizzatore.

L'analizzatore, come già detto, classifica gli impulsi in ampiezze. Gli analizzatori possono essere monocanale o multicanale.

L'analizzatore monocanale è costituito da due discriminatori, regolabili, esso registra solo quei segnali che in ampiezza sono compresi nell'intervallo delimitato dai discriminatori. Invece gli analizzatori multicanale possono ripartire gli impulsi in molti intervalli. Essi lavorano con un convertitore analogico-digitale che associa un numero ad ogni intervallo. Il numero rappresenta un intervallo di tempo proporzionale all'ampiezza.

Classificato l'impulso, esso viene messo in memoria.

Le informazioni registrate ora devono essere trasformate in dati facilmente utilizzabili dall'utilizzatore. Esistono due tipi di codifica:

Analogica: le informazioni sono convertite in grandezze continue, come può essere una tensione. Lo spettro ottenuto è lo spettro proprio della radiazione e del radionuclide, può essere utilizzato per calibrazioni.

Digitale: le informazioni sono convertite in numeri, e quindi sono in forma discontinua.

L'efficienza:

È il rapporto tra il numero di impulsi registrati dal rivelatore per un radionuclide e il numero di disintegrazioni realmente avvenute nel radionuclide. Chiaramente per calcolare l'efficienza è necessario conoscere molto bene la natura del radionuclide. Cioè bisogna conoscere l'attività del radionuclide al momento della misura per calcolare precisamente il numero delle disintegrazioni.

Incide notevolmente sull'efficienza anche la posizione in cui viene posta la sorgente rispetto al rivelatore, in quanto più la sorgente è lontana e meno saranno le disintegrazioni registrate; oppure, se la sorgente è puntiforme o che circonda lo strumento si avranno risposte differenti.

Multicanale

Il multicanale (MCA) è un dispositivo che classifica gli impulsi in ingresso in funzione della loro ampiezza, e li inserisce in una memoria. I contenuti di ogni canale possono essere poi visualizzati in uno schermo o stampati per dare uno spettro delle ampiezze d'impulso.

Il multicanale digitalizza l'ampiezza dell'impulso entrante mediante un convertitore analogico digitale (ADC) e incrementa il contatore di un canale di memoria il cui indirizzo è proporzionale al valore digitalizzato.

Il numero totale dei canali in cui la gamma di tensione è digitalizzata è conosciuta come guadagno di conversione, che determina la risoluzione del MCA.

Il cuore del MCA è comunque l'ADC e per dare a questo tempo sufficiente per digitalizzare i segnali in ingresso, esistono dei moduli per adattare i segnali analogici entranti al MCA, in relazione ai tempi di salita e durata dell'impulso. Tali moduli includono anche l'amplificatore di polarizzazione e l'espansore d'impulsi. L'MCA è equipaggiato anche con un discriminatore (SCA). Quando inizia a funzionare l'MCA conta i segnali degli impulsi incidenti per un certo intervallo di tempo e memorizza questo numero nel primo canale; poi salta al successivo canale e conta per un altro intervallo di tempo, dopo salta al successivo canale e così via.

Calibrazione MCA

Il sistema deve venire calibrato in energia (per trovare la corrispondenza tra canale, cioè ampiezza dell'impulso, ed energia ceduta dalla radiazione al rivelatore) e in efficienza (per quantificare la risposta del rivelatore alla radiazione in funzione dell'energia della radiazione stessa). La calibrazione viene fatta per confronto usando delle sorgenti contenenti quantità note di radionuclidi che emettono fotoni di opportune energie. Poiché l'efficienza dipende dalla geometria di misura (posizione reciproca del campione da analizzare e del rivelatore, forma del campione) e dall'autoassorbimento, quindi dallo stato fisico, del campione (matrice solida o liquida), la calibrazione deve venire effettuata con diversi tipi di sorgenti.

I più diffusi sono rivelatori a stato solido:

1. a semiconduttore (Germanio Iperpuro - HPGe);
2. a scintillazione (Ioduro di Sodio attivato al Tallio - NaI(Tl)).

Essi differiscono per l'efficienza e la risoluzione.

I rivelatori a NaI(Tl) hanno un'elevata efficienza, ma bassa risoluzione; i rivelatori al Ge hanno efficienza molto inferiore, ma migliore risoluzione (da cinque a otto volte superiore).

Generalmente, l'efficienza di un rivelatore al Ge viene fornita esprimendola rispetto a quella di un standard (nel caso del rivelatore al Ge, l'efficienza misurata a 1.33 MeV con una sorgente di Co 60 è del 18 %).

Le loro diverse caratteristiche fanno sì che i rivelatori a scintillazione e quelli a semiconduttore vengano usati in condizioni e per scopi differenti: la buona risoluzione di un rivelatore al Ge permette la separazione di eventi molto vicini energeticamente, e quindi l'analisi di spettri complessi ottenuti dalla misura effettuata su campioni contenenti uno o più radionuclidi, che decadano emettendo molti fotoni anche a energie vicine tra loro (ad esempio, analisi di campioni incogniti); l'elevata efficienza di un rivelatore allo NaI(Tl) viene usata per misurare l'attività di campioni contenenti radionuclidi noti, ma di bassa intensità.

Monitoraggio automatico efficace per Transuranici

Idealmente, un sistema sensibile e automatico potrebbe essere costruito specificatamente per verificare che un rottame metallico utilizzato per il confinamento di uranio (alfa-emettitore) e radionuclidi transuranici sia libero da radioattività. Il radionuclide transuranico di maggiore interesse, il Plutonio 239, è un emettitore alfa che produce anche un grande numero di raggi x e raggi gamma. Le particelle alfa penetrano molto poco nel metallo (micron) avendo anche in aria un range dell'ordine dei cm. I raggi x sono a bassa energia e quindi non penetreranno molto attraverso il metallo. I raggi gamma hanno un'energia più alta dei raggi x ma hanno un tasso di produzione estremamente ridotto. Il Plutonio 239 è di solito trovato insieme agli altri suoi isotopi (238, 240, 241 e 242) in quantità più piccole. Tutti questi isotopi di plutonio emettono particelle alfa. Il tipo di plutonio più comune contiene quantità del 94% di 239, il 6% dell'isotopo 240 mentre percentuali molto basse del resto degli isotopi. Il Plutonio 240 ha alcuni raggi gamma di bassa energia, tuttavia è un forte emettitore spontaneo di neutroni, che lo rende un buon candidato ad essere rivelato tramite indagine neutronica, quindi per attivazione. Il Pu 241 emette radiazione beta e gamma di bassa energia, mentre il Pu 242 emette alcuni raggi gamma, ma ha un'abbondanza molto bassa nella miscela tipica di plutonio. Questa miscela di isotopi di plutonio generano anche per decadimento alcuni prodotti radioattivi quali americio 241, uranio 237 e neptunio 237. L'Am 241 ha una forte emissione di gamma a energia bassa sporadici gamma ad alta energia. L'U 237 e il neptunio 237 sono presenti in quantità relativamente piccole.

L'U 235, l'isotopo di principale interesse, è anche un emettitore alfa. È in accoppiamento in proporzioni variabili con uranio 238 e (di solito) quantità secondarie di altri isotopi di uranio stesso. L'uranio è accompagnato dagli stessi problemi di rivelazione del Pu. La fissione spontanea dell'uranio è rara paragonata al tasso del Pu 240, ma l'U 235 può essere eccitato e analizzato utilizzando la tecnica dei neutroni attivi. L'U 235 può essere rilevato utilizzando la tecnologia di rivelazione gamma se ne è presente una quantità sufficiente, ma come per il plutonio, l'U 235

emette gamma di bassa energia e a bassa frequenza. L'U 238 è rilevato grazie ai prodotti di decadimento che, essendo gamma emettitori con raggi di elevata energia sono rivelabili.

Nella seguente tabella vi è un confronto tra le attività e le energie dei prodotti emessi da questi isotopi precedentemente descritti.

Isotope	Energy (keV)	Activity (γ/g-s)	Mean Free Path (mm), High-Z (ρ=10 g/cm ³)	Mean Free Path (mm), Low-Z (ρ=1 g/cm ³)
U235	185.7	4.32x10 ⁴	0.69	80
U238 ^a	1001.0	7.34x10 ¹	13.30	159
Pu239	129.3	1.44x10 ⁵	0.27	71
Am241	59.5	4.54x10 ¹⁰	0.14	38

^aFrom U238 daughter Pa234m. Equilibrium assumed.

PORTALI

I portali per veicoli sono progettati per rilevare specificatamente materiale nucleare speciale (SNM). Questi monitor utilizzano scintillatori di plastica come mezzi di rilevazione del materiale radioattivo. Altri portali sono stati progettati per la rivelazione neutronica e sono basati esclusivamente sull'utilizzo di rivelatori ³He.

Il portale è formato da due colonne indipendenti messe sull'uno e l'altro lato del percorso del veicolo. Ogni colonna contiene due rivelatori a scintillazione, insieme all'elettronica associata. In altri sistemi, i rivelatori circondano completamente il percorso di veicolo. Questo sistema TSA era specificatamente costruito per rilevare U-235 e Pu-239. La sensibilità per questi sistemi (specificata in termini di cesio) è di circa 7 µCi di cesio137 a una velocità del veicolo di 8 Km/h e a 6 metri di spaziatura tra i pilastri, con un background di 20 mR/h. Altri sistemi raggiungono una sensibilità elevata rivelando sotto gli 0.3 µCi di cesium137.

Esempi e schede tecniche di alcuni portali

Serie YANTAR

Yantar 1U



Figura 3 Portale Yantar 1U

Characteristics

Radiation detected	Gamma / Neutrons
Gamma detector type	Plastic scintillator
Gamma detector size	90x13x4 cm ³
Neutron detector type	³ He tubes x 3 Pieces L=90 cm, d=3 cm
Neutron detector size	113x23x12 cm
Moderator	Polyethylene
Housing	metal
Operating temperature	-25°C to +50°C
Overall dimensions	2073 x 300 x 689 mm ³
Weight	175 kg (about 385 lbs)
Water tightness	IP 54

Yantar 2U



Figura 4 Portale Yantar 2U

Characteristics

Radiation detected	Gamma / Neutrons
Gamma detector type	Plastic scintillator
Gamma detector size	90x13x4 cm ³ x 2 Pieces
Neutron detector type	³ He tubes x 6 Pieces L=90 cm, d=3 cm
Neutron detector size	113x23x12 cm
Moderator	Polyethylene
Housing	metal
Operating temperature	-25°C to +50°C
Overall dimensions	2073 x 300 x 689 mm ³
Weight	175 kg (about 385 lbs)
Water tightness	IP 54

NucSafe PUMA-TM



Figura 5 Portale NucSafe

Characteristics

Radiation detected	Gamma / Neutrons with independent alarms.
Gamma detector type	Sodium iodide.
Gamma detector size	10x10cm options up to 5x10x40cm.
Neutron detector type	Scintillating glass fibers.
Neutron detector size	5000 cm ² .
Moderator	Polyethylene.
Housing	Aluminum.
Operating temperature	-15°C to +50°C
Overall dimensions	260 cm x 143 x 31 cm
Weight	300 kg
Water tightness	IP 56

SAPHYMO



Figura 6 Portale SAPHYMO

Characteristics

Radiation detected	Gamma / Neutrons
Gamma detector type	Plastic scintillation detector with photomultiplier
Gamma detector size	1000 x 250 x 50 mm ³
Neutron detector type	³ He tubes
Neutron detector size	Length : 1 m
Moderator	Forward : scintillation material Backward : polyethylene
Housing	Fiber glass coated polyester
Operating temperature	-15°C to +50°C
Overall dimensions	2000 x 350 x 440 mm ³
Weight	170 kg (about 374 lbs)
Water tightness	IP 56

Portale serie AT-900 (RPM)

Sistema/generale

- Sensibilità più bassa di 1 nSv/h
- Analisi di tutti i tipi di veicoli
- Basso livello operativo di energia (circa 2 keV)
- Analisi spettrale energetica
- Certificato CE e ISO 9002

Rivelatore

- Trattamento in linea del segnale rivelato
- Due fotomoltiplicatore per scintillatore
- Grande diametro dei fotomoltiplicatori (2")
- Trattamento della coincidenza del segnale
- Elettronica ridondante
- Basso consumo elettrico
- Chiusura ermetica resistente alle intemperie
- Peso di 136 Kg
- Dimensioni 178 x 91 x 21 cm

Console

- Grande schermo a colori
- Capacità multilingue
- Visualizzazione indicativa su schermo della posizione della sorgente
- Peso di 22.7 Kg
- Dimensioni: 38x36x13 cm
- Notifica di errore automatica
- Dati "storici" salvati su hard disk
- Stampante interna self-loading
- Gestione fino a 16 scintillatori
- Modem interno e software di comunicazione

Portale di radiazione AT-980 (RPM) (SAIC)

Panoramica

La serie AT-980 Radiation Portal Monitor (RPM) utilizza un'avanzata tecnologia di scansione passiva utilizzata per rilevare sorgenti di radiazione gamma o di neutroni in contenitori chiusi all'interno di veicoli o vagoni ferroviari in moto.

L'AT-980 RPM può scandire un intero contenitore, rimorchio o vagone ferroviario in alcuni secondi, permettendo al personale di sicurezza di controllare al meglio tutti i veicoli in transito con impatto minimo su traffico. SAIC ha prodotto più di 5000 RPM per agenzie del governo e clienti commerciali negli Stati Uniti e all'estero.

Applicazioni

L'AT-980 RPM è ideale sui punti di frontiera e in applicazioni di sicurezza con lo scopo di scoprire materiali nucleari illeciti e sorgenti radioattive. I due obiettivi principali sono materiale nucleare speciale (SNM) utilizzato nella creazione di armi e “radioactive dispersal devices” (RDDs).

Caratteristiche

- Alta sensibilità per materiali nucleari speciali (SNM)
- Garantisce un rateo di falsi allarmi di meno di 1 su 10.000
- Sistema di soppressione di allarmi dovuti a NORM.
- Esame in continuo
- Monitoraggio ottimale per velocità di transito di 8-16 km/h
- Facile da utilizzare
- Il sistema può essere fatto funzionare da utenti senza esperienza di monitoraggio radioattivo
- Rispetta i livelli ANSI N 43.1
- Alta affidabilità
- Progettazione modulare -- tempo di fermo minimo
- Fino a 32 sistemi possono essere controllati contemporaneamente sul computer di supervisione remoto grazie a collegamento Ethernet.
- Integrazione di allarme video
- Pieno potenziato percorso disponibile -- il sistema può essere espanso per includere fino a 16 rivelatori e fino a 32 sistemi possono essere integrati su un singolo computer di controllo per analisi di panoramica, visualizzando, compilazione di database, ecc.

Vantaggi

Nel mondo di oggi, un gruppo terroristico potrebbe tentare di nascondere e contrabbandare materiale radioattivo illecito protetto all'interno di un veicolo o di un contenitore. Tuttavia, le tecniche di analisi spettrali sofisticate e il trattamento di segnale forniscono una alta sensibilità anche per sorgenti di bassa attività dandone tra l'altro anche una loro posizione indicativa, anche quando protetti all'interno di contenitori.

Specifiche tecniche

Controllo di un range di energia dei gamma compreso tra i 2 KeV e i 2.8 MeV (le energie > 2.8 MeV sono controllate in un canale separato).

Sensibilità con sorgente posta a 2 metri dal centro del rivelatore

¹⁰⁹ Cd	15 cps/microCi
²⁴¹ Am	20 cps/microCi
⁵⁷ Co	100 cps/microCi
¹³³ Ba	200 cps/microCi
¹³⁷ Cs	100 cps/microCi
⁶⁰ Co	200 cps/microCi

AT-140 Sistema a gru di rivelazione di radiazioni

Il sistema di rivelazione AT -140 è uno spettrometro per raggi gamma e consiste in un rivelatore allo ioduro di sodio (NaI) con l'obiettivo di rivelare e localizzare la sorgente radioattiva mentre il materiale indagato è in movimento (esempio rottami o container) tramite una gru.

Applicazioni

- Portali di sicurezza
- Industriale
- Rottami metallici industriali

L' AT-140 misura continuamente e aggiorna il livello di radiazioni di background mentre la gru si muove sul campo; gli allarmi sono così riferiti ad un multiplo del fondo misurato e non ad un livello standard preimpostato. Tecnologie di analisi spettrale sono utilizzate per analizzare il segnale rivelato e per discriminarlo dal background.

Di seguito le caratteristiche dell'AT-140:

Specifications	
System	<ul style="list-style-type: none"> ■ Automatic - No Site Calibration Required ■ Gamma Energy Spectral Analysis ■ No Operator Action Required - Normal Operation ■ One Button Response - Alarms ■ Continuous Operation ■ Automatically Corrected Background ■ Laptop Software Update Capability ■ Power Required: 12/24 VDC
Console	<ul style="list-style-type: none"> ■ Console Size: 235mm x 235mm x 90mm, 2kgs 9.25 in. x 9.25 in. x 3.5 in., 4.4 lbs ■ LCD display shows System Status, Detector Counts, Alarm information ■ Alarm counter ■ Green light FLASHING shows that everything is operational. ■ Red light ON indicates radiation Alarm. Single detector systems use only Detector A light. ■ Yellow light FLASHING indicates error in the system. ■ Power 12 - 24 V DC ■ Re-settable fuses ■ Operating temperature -40°F to 122°F (- 40°C to + 50°C) ■ Storage temperature -40°F to 185°F (- 40°C to + 85°C) ■ Humidity 0 to 95% non-condensing ■ The system conforms fully to EU safety legislation and is CE approved.
Detector features	<ul style="list-style-type: none"> ■ Detector Size: 165mm x 145mm x 430mm, 14kgs ■ 6.5 in. x 6.1 in. x 17.0 in., 30.8 lbs ■ Detector Type: 3" x 3" Sodium-iodide ■ Shock proof detector assembly, shock and vibration tested to 100 G. ■ 256 channel gamma ray spectrometer ■ Self calibrating and self adjusting to variable background levels ■ RS-232 communication to console ■ 10 V DC Power supplied from the Console

- Operating temperature -40°F to 122°F (- 40°C to + 50°C)
- Storage temperature -40°F to 185°F (- 40°C to + 85°C)
- Continuous operation

POLIMASTER

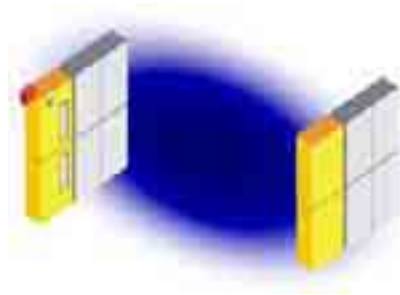


Figura 7 Serie PoliMaster 5000

I portali sono progettati per installazione alla dogana e in punti di controllo di confine per evitare il traffico illecito di materiali nucleari e radioattivi attraverso gli stati. I portali possono essere installati anche alle entrate delle imprese di riciclo di scarti metallici onde evitare incidenti seguenti a processi tecnologici quali fusione ecc.

I PM5000E Railway Monitors hanno gli stessi parametri e specifiche del PM5000, ma essi sono configurati per un modulo di rivelatore di radiazione di gamma/neutroni.

I moduli di rivelatore sono montati su sostegni di metallo speciali, installati su una base di cemento. I portali ferroviari sono equipaggiati con sistemi di monitoraggio video, con computer e sistemi comunicazione interna con responsabili delle procedure di funzionamento del controllo delle radiazioni. I portali sono idealmente adatti a climi estremi e ambienti duri, essi assicurano operazione affidabile nelle aree con alte vibrazioni e sono resistenti a interferenza elettromagnetica.

Di solito solo due configurazioni dei monitor PM5000 sono utilizzate per controllo ferroviario:

- PM5000 - due pilastri formati da 4 moduli di rivelatore di radiazione gamma e 4 moduli di rivelatore di neutroni;
- PM5000-10 - due pilastri formati da 4 moduli di rivelatore di radiazione gamma e 2 moduli di rivelatore di neutroni;

Un portale può essere fatto in svariate configurazioni, a seconda delle richieste specifiche di sensibilità, del posto di installazione, dalla larghezza tra le colonne di rivelatori, velocità di rilevazione, altezza e larghezza della zona attiva da controllare ecc.

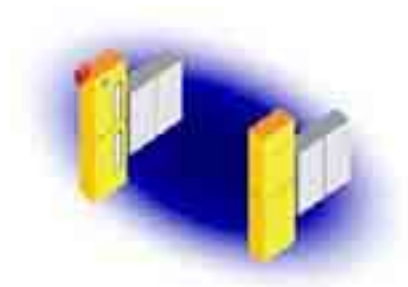


Figura 8 Serie PoliMaster 5000

Al tempo attuale il controllo delle radiazioni per il traffico illecito di materiali radioattivi e nucleari viene attuato ovunque esista anche la più piccola probabilità della loro rilevazione. Oltre ai posti di installazione noti tipo dogana e i punti di controllo di confine, strutture che utilizzano o producono materiali nucleari e radioattivi, ecc, i portali sono installati agli uffici postali per controllare articoli di posta, agli aeroporti e i terminali per controllare i bagagli e i carichi che viaggiano per via aerea, negli uffici bancari per controllare il denaro (metallico), ecc. La progettazione modulare del PM5000 rende possibile le realizzazioni di configurazioni più disparate.

Questi monitor possono essere installati sul pavimento, appeso sul muro, soffitto, su sostegni speciali sotto e sopra l'oggetto controllato come pure su qualsiasi veicolo facendolo diventare a sua volta un portale mobile.

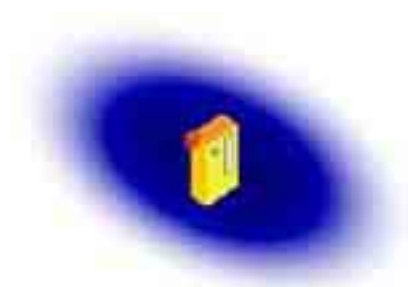


Figura 9 Serie PoliMaster 5000

Le varie configurazioni dei portali PM5000 sono riassunte di seguito:

Tipo/Nome	# Colonne di rivelazione	Rivelatori neutronici	Rivelatori gamma	Note
PM5000	2	4	4	Controllo autocarri
PM5000-01	2	-	4	Controllo autocarri e bus
PM5000-02	2	4	2	Controllo autovetture
PM5000-03	1	2	-	Controllo autovetture
PM5000-04	1	-	1	
PM5000-05	2	-	2	Controllo autovetture
PM5000-08	1	1	1	

PM5000-09	2	2	2	Controllo autovetture
PM5000-10	2	2	4	Controllo autocarri e bus
PM5000-11	2	4	-	Controllo autovetture
PM5000-12	1	1	-	
PM5000-13	2	2	-	Controllo autovetture
PM5000-14	1	2		Controllo autovetture

Figura 10 Modelli di POLIMASTER

The PM5000 and the PM5000E Fixed-Installed Portal Special Monitors												
Model	Source velocity, km / h, no more	Distance between, pillars, m, no more	Minimum detectable amounts of nuclear and radioactive materials							Pu- -Be, neutron/s		
			²⁴¹ Am, μ Ci	¹³⁷ Cs, μ Ci	⁶⁰ Co, μ Ci	²³⁸ U, g	²³⁵ U, g	²³⁹ Pu, g	²³⁹ Pu, (4cm Pb), g	²³⁹ Pu, g	²³⁹ Pu, (4cm Pb), g	²³⁹ Pu, neutron/s
PM5000-03	5	1.5*	80	3	2.5	1000	35	1.2	-	-	-	-
PM5000-04	5	3*	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-
PM5000-07	10	3*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9* 10 ³
PM5000-08	5	1.5*	80	3	2.5	1000	35	1.2	-	-	-	-
PM5000-12	5	1.5	60	0.8	0.8	125	10	0.6	-	-	-	-
PM5000-14	5	1.5*	80	3	2.5	1000	35	1.2	-	-	-	-
PM5000E-03	10	2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9* x 10 ³
	10	2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9* x 10 ³
	10	3*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9* x 10 ³
	5	3*	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-
PM5000E-03	10	3*	350	25	10	5500	600	12	300	2.7* x 10 ⁴	-	-

1.5*, 2*, 3* - distance from source to detector.

The PM5000 and the PM5000E Fixed-Installed Portal Railway Monitors												
Model	Source velocity, km / h, no more	Distance between, pillars, m, no more	Minimum detectable amounts of nuclear and radioactive materials							Pu- -Be, neutron/s		
			²⁴¹ Am, μ Ci	¹³⁷ Cs, μ Ci	⁶⁰ Co, μ Ci	²³⁸ U, g	²³⁵ U, g	²³⁹ Pu, g	²³⁹ Pu, (4cm Pb), g	²³⁹ Pu, g	²³⁹ Pu, (4cm Pb), g	²³⁹ Pu, neutron/s
PM5000	10	6	150	10	4	2700	300	4.3	50	-	-	-
PM5000-10	20	6	-	-	-	-	-	-	50	9*10 ³	-	-
PM5000E-10	10	6	150	10	4	2700	300	4.3	-	9*10 ³	-	-
PM5000E	10	6	150	10	4	2700	300	4.3	100	9*10 ³	-	-

Polimaster PM5000 VM-250 GN



Figura 11 Portale Polimaster

Characteristics

Radiation detected	Gamma / Neutrons
Gamma detector type	Plastic Scintillators
Gamma detector size	approx. 4500 cm ³ , (per gamma module)
Neutron detector type	³ He proportional counters
Neutron detector size	approx. 3200 cm ³ (per neutron module)
Moderator	Polyethylene
Housing	Steel (Al windows for gamma detectors)
Operating temperature	-30°C to +50°C (optionally -50°C to +50°C)
Overall dimensions	1200x600x300 mm ³ (γ - module); 1200x1000x300 mm ³ (n - module)
Weight	70 kg (about 155 lbs; γ - module); 130 kg (about 285 lbs; n - module)
Water tightness	IP 56

VM-250A/VM-250AGN

Descrizione

Il portale VM-250A consiste di due pilastri indipendenti e resistenti alle intemperie posizionate sul lato della carreggiata da controllare.

Ogni colonna contiene due rivelatori a scintillazione, un rivelatore di passaggio e un amplificatore del segnale.

Il modello VM-250AGN aggiunge al VM-250A di base la capacità di rivelazione neutronica. Entrambi i modelli sono equipaggiati con i sistemi di comunicazione RS-232 e Ethernet. Il sistema VM-375A è essenzialmente un VM-250A con una terza colonna posizionata orizzontalmente tra le due colonne verticali. La terza colonna può essere montata sopra o sotto le altre colonne. Il VM-375A fornisce una sensibilità migliorata rispetto al VM-250A. Questi sistemi richiedono due condotti, uno per fornire alimentazione a corrente alternata ai sistemi di rivelazione e uno di batteria per i collegamenti tra le colonne.

Le colonne sono di solito serrate a un pilastro di cemento fisso inferiore, con i condotti di collegamento installati sotto la carreggiata. La spaziatura tra le colonne varia dai 10 piedi (3m) ai 32 piedi (10m) a seconda dei requisiti locali per sensibilità e traffico.

OPERAZIONE: Quando è acceso il sistema, impiega circa venti secondi per acquisire il background iniziale che viene aggiornato continuamente fino a quando il sistema è in funzione.

Quando il rivelatore infrarosso percepisce passaggio di mezzi, il sistema comincia a paragonare il conteggio corrente ai più recenti dati del fondo. Il confronto delle misurazioni con il livello del fondo viene effettuato ogni 200ms. Se il conteggio supera il livello di allarme, saranno innescati gli allarmi sonori che visivi.

Applicazioni:

Questi portali sono progettati per controllare automaticamente il traffico veicolare senza la necessità di avere una calibratura frequente. Essi sono destinati ad applicazioni dove vi è la possibilità di rivelare sorgenti con emissioni di energia relativamente basse da ^{235}U e ^{239}Pu .

Essi sono attualmente in uso in installazioni come impianti di arricchimento di uranio, in impianti di produzione bellica, in depositi, laboratori nucleari e posti di deposito dove la protezione di SNM è essenziale. Le unità possono essere isolate, riscaldate e/o raffreddate a seconda delle condizioni di esercizio.

Specifications:
SENSITIVITY: Gamma: Will detect 1,000g of ^{235}U (HEU) or 10g of ^{239}Pu , 50% probability of detection, 95% confidence in a 20 uR/hr background at a passage speed of 5 mph (8km/h) when tested in accordance with ASTM International Standard C 1169 Neutron: Will detect less than 200g of plutonium in a shielded container that reduces the gamma flux to 1% of the unshielded gamma flux Refer to Los Alamos publication number LA-13247-MS* , April 1997, "An Update for the Applications Guide to Vehicle SNM Monitors".

<p>DETECTORS:</p> <p>VM-250A: Two, 30"h x 6"w x 1.5"d (76 x 15 x 3.8cm) organic plastic scintillator detectors per pillar; provides approximately 1,080 in³ (17.6 liters) of detector volume per pillar</p> <p>VM-250AGN: Two, 30"h x 6"w x 1.5"d (76 x 15 x 3.8cm) organic plastic scintillator detectors per pillar and four, 2" diameter x 36" (5 x 91cm) ³He tubes per pillar; provides approximately 1,080 in³ (17.6 liters) of detector volume per pillar</p>
<p>FALSE ALARM RATE:</p> <p>Typically less than 1 in 1,000 passages</p>
<p>ALARM INDICATION:</p> <p>Alarms are indicated by a red strobe light mounted on the master pillar. High and low faults along with other fault conditions are indicated by an amber light. Neutron alarm is indicated by a blue strobe light.</p>
<p>DISPLAY:</p> <p>Alphanumeric LCD, 4 lines x 16 characters</p>
<p>COMMUNICATIONS:</p> <p>Both models are equipped with RS-232 and Ethernet communications capability.</p>
<p>DATA STORAGE:</p> <p>256k bytes of flash memory is used to store average hourly background data and alarm data. Under normal conditions the memory should be adequate to store data for at least 3 months of operation.</p>
<p>POWER REQUIREMENTS:</p> <p>90 - 250 Vac, 47 - 63 Hz, less than 100 VA</p>
<p>BATTERY LIFE:</p> <p>Greater than 24 hours of normal operation</p>
<p>DIMENSIONS:</p> <p>VM-250A: 96" or 120"h x 10"w x 10"d (244 or 305 x 25 x 25cm) per pillar</p> <p>VM-250AGN: 96" or 120"h x 26"w x 8"d (244 or 305 x 66 x 20cm) per pillar</p>
<p>WEIGHT:</p> <p>VM-250A: ~300 lb (136kg) per pillar</p> <p>VM-250AGN: ~600 lb (273kg) per pillar</p>
<p>ENVIRONMENTAL:</p> <p>-30° to 122°F (-34° to 50°C) Designed for outdoor use in most climates. For extreme conditions, optional heating/cooling is available.</p>
<p>OPTIONAL COMPONENTS:</p> <p>Heaters and Insulation, AM-270</p>
<p>*The Los Alamos publication number LA-13247-MS*, April 1997, "An Update for the Applications Guide to Vehicle SNM Monitors" is available to DOE and DOE contractors from the Office of Scientific and Technical Information, P.O. Box 62, Oak Ridge, TN 37831, (423) 576-8401. It is</p>

available to the public from the National Technical Information Service, US Department of Commerce, 5285 Port Royal Road, Springfield, VA 22616.

Elenco di materiali scintillanti

Model Number	489-50	489-55	489-120	489-60	425-110	425-200	489-200
Type	Nal (Ti) Sodium Iodine 1x1, Scintillator optically coupled to PMT	Nal (Ti) Sodium Iodine 1 1/4 x1 1/4, Scintillator optically coupled to PMT	Nal (Ti) Sodium Iodine 2 x 2, Scintillator optically coupled to PMT	ZnS (Ag) Alpha Scintillator optically coupled to PMT	Nal (Ti) Thin Scintillator for low energy Gamma, Scintillator optically coupled to PMT	NE 102A Plastic Scintillator Flashlight Probe, Scintillator optically coupled to PMT	Nal (Ti) Pancake Scintillator optically coupled to PMT
Radiation Detected	Gamma and X-ray above 60 keV	Gamma and X-ray above 60 keV	Gamma and X-ray above 60 keV	Alpha above 4 MeV	Gamma and X-ray above 10 keV	Alpha above 350 keV, beta above 14 keV	Gamma and X-ray above 25 keV, beta above 100 keV
Applications	<ul style="list-style-type: none"> Nuclear medicine Industrial hygiene Industrial X-ray manufacturing Geological surveys Radiation safety office 	<ul style="list-style-type: none"> Nuclear medicine Industrial hygiene Industrial X-ray manufacturing Geological surveys Radiation safety office 	<ul style="list-style-type: none"> Nuclear medicine seed finder 	<ul style="list-style-type: none"> Alpha detection Uranium, Plutonium HAZMAT RSO 	<ul style="list-style-type: none"> Primary probe for nuclear medicine Low energy X-ray manufacturing Industrial hygiene 	<ul style="list-style-type: none"> Alpha, beta counting of filter paper HAZMAT spills Nuclear medicine missing sources 	<ul style="list-style-type: none"> Beta, gamma frisker for nuclear medicine is 10 times more sensitive than GM probe Environmental surveys
Typical Background (CPM)	1750	5000	6000	20	200	38	3000
Nominal Sensitivity	160,000 cpm/mR/hr Cs 137	350,000 cpm/mR/hr Cs 137	700,000 cpm/mR/hr Cs 137	300,000 cpm/uCi Am 241	3,000,000 cpm/uCi I 129	0.0012 cpm/dpm/100 cm ² Ni63	650 cpm/uR/hr Cs137
Wall Material	0.04 in Al, 1 mm thick	0.04 in Al, 1 mm thick	0.04 in Al, 1 mm thick	0.04 in Al, 1 mm thick	0.04 in Al, 1 mm thick	0.04 in Al, 1 mm thick	0.04 in Al, 1 mm thick
Window	108 mg/cm ² Al	108 mg/cm ² Al	108 mg/cm ² Al	3 mg/cm ² Al Mylar	8 mg/cm ² Al	0.25 mg/cm ² Plastic	130 mg/cm ² Al
Sensitive Area	5 cm ²	10 cm ²	20 cm ²	11.4 cm ²	5 cm ²	20.3 cm ²	59.2 cm ²
Crystal Dim.	1 in x 1 in	1.25 in x 1.5 in	2 in x 2 in	1.5 in Ø	1 in Ø	2 in Ø	2 in x 2 in x 1 1/2 in
Probe Diameter	2 in	2 in	2.25 in	2 in	2 in	2.625 in	2.25 in x .69 in
Probe Length	8.75 in	9.125 in	9.625 in	7.25 in	8.125 in	8 in	11 in
Cable Length	48 in	48 in	48 in	48 in	48 in	48 in	48 in
Operating Voltage	900 V	900 V	900 V	900 V	900 V	900 V	900 V
Calibration	Cs137 2 pts/scale to 10 mR/hr	Cs137 2 pts/scale to 100 mR/hr	Cs137 2 pts/scale to 10 mR/hr	Sensitivity to Am241	Sensitivity to I 129	Sensitivity to Sr90 Tc99 Cs137 C14	137 Cs 2 pts/scale to 10 mR/hr
Cal. Tolerance	± 10%	± 10%	± 10%	± 10%	± 10%	± 10%	± 10%
Efficiency	Cs137 6% Co57 9% Ba133 6% Co60 2%	Cs137 13%	C137s 26%	Pu 239 13% A241m 8%	Sr 9022% Cl 36 8% Am 241 8% Ba133 34%	Sr90 7% Tc99 3% Cs137 5% C14 1%	SR90 5% Cs137 11% Ba133 34% Co60 16%
Humidity Range	0-95%	0-95%	0-95%	0-95%	0-95%	0-95%	0-95%
Operating Temp	- 40°F to + 120°F - 40°C to + 50°C Max. temp increase of 20°F/hr	- 40°F to + 120°F - 40°C to + 50°C Max. temp increase of 20°F/hr	- 40°F to + 120°F - 40°C to + 50°C Max. temp increase of 20°F/hr	- 40°F to + 120°F - 40°C to + 50°C Max. temp increase of 20°F/hr	- 40°F to + 120°F - 40°C to + 50°C Max. temp increase of 20°F/hr	- 40°F to + 120°F - 40°C to + 50°C Max. temp increase of 20°F/hr	- 40°F to + 120°F - 40°C to + 50°C Max. temp increase of 20°F/hr
Weight (Approx.)	1.5 lb (0.68 kg)	1.5 lb (0.68 kg)	2.0 lb (0.91 kg)	1.5 lb (0.68 kg)	1.5 lb (0.68 kg)	.78 lb (0.35kg)	.78 lb (0.35kg)

Geiger-Mueller Probes Specifications

Model Number	489-110C/D/E*	90-12	489-35	493-50	491-40	491-30
Type	Pancake alpha, beta, gamma, and X-ray with thin pancake window	Energy compensated beta, gamma, and X-ray with 360° linear movement shield for beta discrimination	Alpha, beta, gamma, and X-ray with 7/8 inch thin end window	Beta, gamma, and X-ray with sliding 360° metal shield for beta discrimination	Beta, gamma, and X-ray with sliding 360° metal shield for Beta discrimination	Beta, gamma, and X-ray with sliding 360° metal shield for beta discrimination
Radiation Detected	Alpha above 3.5 MeV, beta above 35 keV, gamma and X-ray above 6 keV	Beta above 200 keV and gamma above 12 keV	Alpha above 4 MeV, beta above 70 keV, and gamma and X-ray above 6 keV	Gamma above 12 keV and beta above 200 keV	Gamma above 12 keV and beta above 200 keV	Gamma above 12 keV and beta above 200 keV
Applications	<ul style="list-style-type: none"> • All purpose sensitive alpha, beta, and gamma and X-ray probe • Nuclear medicine counter tops • Detects leakage from diagnostic X-ray machines, especially mammography • Geological surveys • Scrap metal yards • HAZMAT 	<ul style="list-style-type: none"> • Energy compensated to eliminate low energy over response • Convenient size to fit in small spaces around linear accelerators • X-ray tube manufacturers 	<ul style="list-style-type: none"> • Ultra sensitive alpha, beta, gamma probe with directional focus • Nuclear medicine • Emergency response 	<ul style="list-style-type: none"> • Ultra sensitive alpha, beta, gamma probe with directional focus • Nuclear medicine • Emergency response 	<ul style="list-style-type: none"> • Rugged probe with beta discrimination • Scrap metal yards • Rugged to drop down wells • Nuclear medicine 	<ul style="list-style-type: none"> • Beta, gamma probe is more sensitive than 491-40 or 493-50, but has max. rate of 100 mR/hr
Typical Background (Shielded)	30 CPM	15 CPM	50 CPM	15 CPM	15 CPM	20 CPM
Maximum Exposure Rate with Model 190	80 mR/h (800 µSv/hr)	1 R/h (10 mSv/hr)	80 mR/h (800 µSv/hr)	1 R/h (10 mSv/hr)	1 R/h (10 mSv/hr)	100 mR/h (1 mSv/hr)
Nominal Sensitivity to 1 mR/hr of 60 Co	3600 CPM	720 CPM	3600 CPM	720 CPM	720 CPM	2200 CPM
Replacement G.M. Tube Part Number	P-115	35-166	489 - 76	35 - 166	35 - 166	35 - 150
Wall Material	Stainless Steel with Mica window	Stainless Steel with Mica Window	Stainless Steel	Stainless Steel	Stainless Steel	Stainless Steel
Wall Thickness	1.5 - 2.0 mg/cm ²	40 - 60 mg/cm ²	1.4 - 2.0 g/cm ²	40 - 60 mg/cm ²	40 - 60 mg/cm ²	30 - 40 mg/cm ²
Active Length	1.5 in Ø (38mm)	.75 in (19.1 mm)	4 in (102 mm)	.75 in (19.1 mm)	.75 in (19.1 mm)	2.25 in (57.2 mm)
Quenching Gas	Neon & Halogen	Neon & Halogen	Neon & Halogen	Neon & Halogen	Neon & Halogen	Neon & Halogen
Diameter of Probe	2.6875 in (68 mm)	1.375 in (35 mm)	1.3125 in (33.4 mm)	1.25 in (32 mm)	1.1875 in (30 mm)	1.1875 in (30 mm)
Length of Probe	9.75 in (248 mm)	6.7 in (170 mm)	7.5 in (191 mm)	3.3125 in (84 mm)	5.375 in (136 mm)	5.375 in (136 mm)
Cable Length	48 in (122 cm)	48 in (122 cm)	48 in (122 cm)	48 in (122 cm)	48 in (122 cm)	48 in (122 cm)
Weight	Approx. 1.0 lb (0.45 kg)	Approx. .59 lb (263 g)	Approx. 1.0 lb (0.45 kg)	Approx. 1.0 lb (0.45 kg)	Approx. 1.0 lb (0.45 kg)	Approx. 1.0 lb (0.45 kg)
Operating Voltage	900 V	900 V	900 V	900 V	900 V	900 V
Humidity Range	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%
Operating Temperature Range	- 65°F to + 185°F (- 56°C to + 85°C)	- 65°F to + 185°F (- 56°C to + 85°C)	- 65°F to + 185°F (- 56°C to + 85°C)	- 65°F to + 185°F (- 56°C to + 85°C)	- 65°F to + 185°F (- 56°C to + 85°C)	- 65°F to + 185°F (- 56°C to + 85°C)
Pressure Range	To 5 psig	To 15 psig	To 5 psig	To 15 psig	To 15 psig	To 15 psig
Energy Dependence	Seep grahs	Seep grahs	Seep grahs	Seep grahs	Seep grahs	Seep grahs

* Model 489-110C Pancake Probe with metal housing and MHV connector.
Model 489-110D Pancake Probe with ABS plastic housing and MHV connector.
Model 489-110E Pancake Probe with metal housing and BNC connector.

RIVELAZIONE E RIDUZIONE DEI FALSI ALLARMI

Sommario

E' ormai di fondamentale importanza l'istallazione di apparecchiatura di monitoraggio fissa (portali) per l'individuazione di materiali radioattivi nucleari in posti quali aeroporti, stazioni ferroviarie e strade urbane.

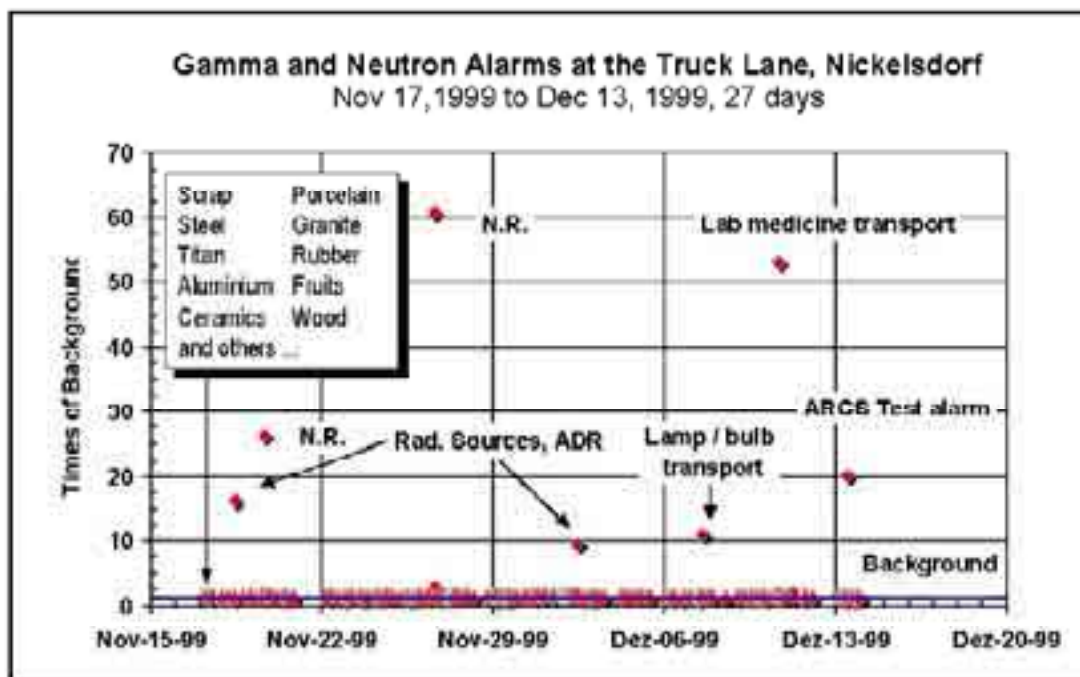
Benché oggi siano disponibili sistemi estremamente sensibili e affidabili, il problema principale, in particolare per il monitoraggio di autocarri e di vagoni ferroviari come pure per monitoraggio pedonale per esempio negli aeroporti, sono i frequenti "allarmi innocenti" causati da materiali radioattivi usati in Medicina Nucleare. Tali "allarmi innocenti" richiedono una indagine estesa da parte dell'ufficiale di linea per verificare la natura dell'allarme ed eventualmente identificare il radioisotopo che l'ha provocato oppure per provare la natura innocente dell'evento. Inoltre di solito richiede una perdita di tempo che coinvolge le persone e i veicoli interessati dall'allarme. Gli allarmi innocenti a causa di NORM e la contaminazione di basso livello sono osservati molto frequentemente durante i controlli di automezzi e vani ferroviari, a causa anche della grande quantità di materiale implicato.

Il fatto che l'allarme derivi da NORM non significa che sia innoquo; infatti per elevate concentrazioni di questi materiali si potrebbe comunque raggiungere un'elevata esposizione potenzialmente dannosa.

Nuovi sviluppi di tecniche gamma - spettrometriche e software avanzati possono essere applicati per sopprimere automaticamente tali "allarmi innocenti" causati dalle merci come fertilizzanti, ceramiche, vetri colorati, lenti o bacchette per saldature che contengono **NORM**, cioè **K 40**, **Th 232** **Ra 226** e **U 238**, anche con rivelatori a bassa risoluzione quali quelli utilizzati per autocarri e treni.

Il problema

La seguente figura mostra la frequenza di allarmi per rivelazione gamma e di neutroni osservati all'interno di un mese di prove su una corsia per autocarri al confine austriaco -- ungherese. L'intensità del segnale di radiazione che innesca allarme viene mostrata in termini di multipli di background.



Frequency and intensity of alarms observed within one month at the ITRAP truck lane

Può essere visto chiaramente che la vasta maggioranza degli allarmi (punti rossi vicino alla linea inferiore) viene da radiazioni minori del doppio valore del background, cioè, in questo caso, minori di circa 150 nSv/h.

Alarms*	Reason	Max. observed multiple of background
10 per day	Industrial Products and Raw Material e.g. ceramics, fertiliser, lamps, TV, etc	10 / some events with e.g. ceramics
1 per week	Agricultural Products e.g. fruits, vegetable, wood, etc.	5 / e.g. one event with a chicken transport
1 per week	Iron and Metal Transports e.g. Scrap, etc.	50 / e.g. contaminated metal plates
1 per week	ADR (legal) Transport of Radionuclides e.g. radio pharmaceuticals and industrial sources, etc.	60 / almost all legal transports
* Traffic approximately 1000 trucks per day		

Categories of goods which triggered alarms at the ITRAP truck lane during an observation period of 6 months (totally about 200000 trucks)

Secondo queste statistiche la più frequente causa di allarmi innocenti in fasi di monitoraggio di autocarri sono i NORM, cioè K^{40} , Th^{232} , Ra^{226} e U, contenuti in numerosi prodotti e materie prime industriali come fertilizzanti, ceramiche, materiali di costruzione e molti altri. In una situazione tipica uno può attendere una frequenza di circa un allarme innocente per 100 veicoli controllati, come nel caso del Nickelsdorf in cui il punto di controllo conta circa 10 allarmi innocenti al giorno. In ogni caso di allarme è richiesta la risposta operativa dall'ufficiale. Questo vuole dire che i veicoli devono essere passati in un altro luogo dove vengono sottoposti ad indagine approfondita che implica l'uso di vari rivelatori manuali come ulteriore indagine e poi in contemporanea si cerca di identificare il tipo di isotopo che ha dato l'allarme.

Tecniche Gamma Spettrometriche per la soppressione di “allarmi innocenti”

Durante gli ultimi anni uno sviluppo intenso è stato dedicato da numerosi produttori di sistemi di monitoraggio tramite portale, alla soppressione automatica in tempo reale degli allarmi innocenti basati su un'analisi gamma spettrometrica. Il principio di questa tecnica sarà descritto dall'esempio dell'AT-900 (Advanced Technology Vehicle Monitoring System) prodotto da EXPLORANIUM Radiation Detection Systems in Toronto, Canada.

Descrizione dello strumento e tecnica spettrometrica

Il sistema di monitoraggio Exploranium AT-900 consiste di due pilastri ognuno dei quali contenente due rivelatori a scintillazione con un volume totale di 49 litri con dimensioni esterne di (178 x 91 x 21) cm. Per la rivelazione neutronica sono impiegati tre tubi di He3 per pilastro di 5 cm di diametro e di lunghezza attiva di 100 cm con una pressione interna di 3 atm. La distanza fra le due colonne è 4 m; questa configurazione è adatta al monitoraggio di macchine e di autocarri. I segnali prodotti da tutti e sei i tubi di He3, sono sommati in un unico canale di rivelazione e trasmessi all'elaboratore; per la misura dei gamma invece, i segnali degli scintillatori sono analizzati separatamente.

La figura successiva mostra l'AT-900 come normalmente viene utilizzato nella fase di controllo dei rottami di metallo trasportati da un autocarro con un rivelatore assemblato in ogni colonna. Per il

monitoraggio di confine di autocarri i rivelatori usualmente sono disposti l'uno sopra l'altro, in modo tale da ottenere una gamma di ricerca uniforme fino a un'altezza di 4 m.



Figura 12 Esempio di rivelazione di un autocarro

La console è formata da un grande schermo a colori come mostrato in figura (in questo caso c'è su display la segnalazione dell'avvenuto allarme).

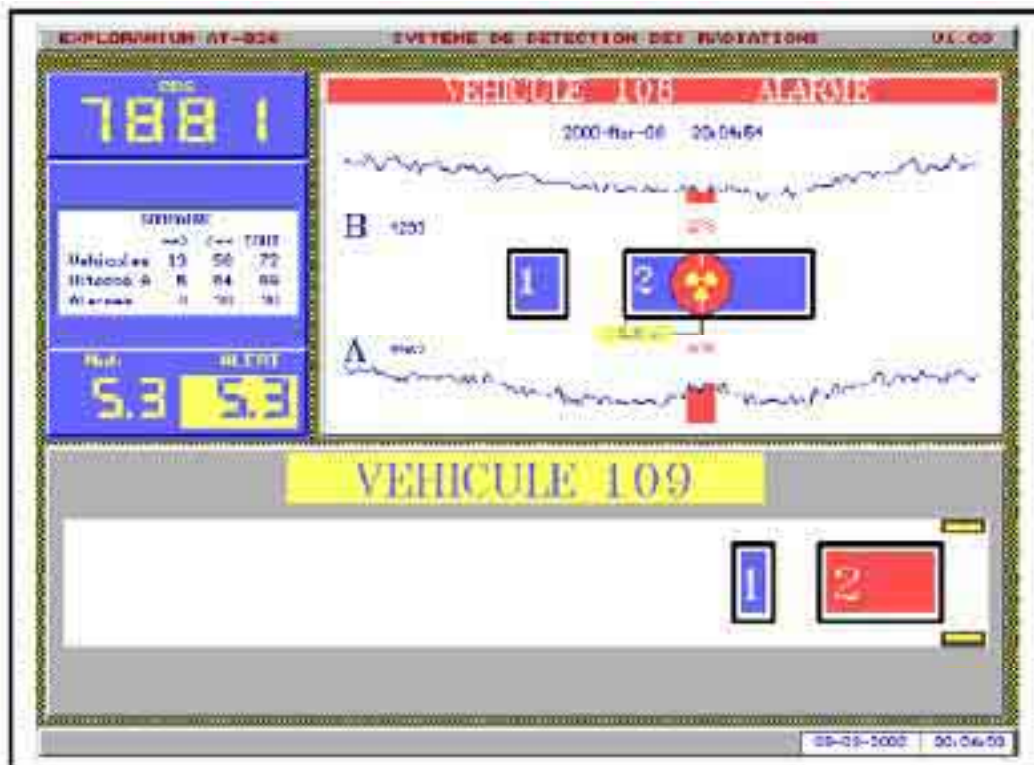


Figura 13 Console AT 900

Il display mostra sul lato sinistro il conteggio totale dei gamma (cps) di entrambe le colonne, la velocità di veicolo e il sommario giornaliero dei veicoli passati e degli allarmi verificatisi. Il grafico

traccia il tasso di gamma nel tempo sia per la colonne A che B, che mostri una vista schematica dei veicoli (camion con cabina [1] e lo spazio di trasporto [2]), la posizione dell'allarme con tasso di conteggio superiore al background (A e B). Tutte queste informazioni (allarme, radiazione che lo provoca, tassi di conteggio, velocità e numero di veicoli, errori ecc.) vengono mostrati in tempo reale sul file di registrazione e sono conservati in un database su disco fisso per 30 giorni.

Prove sulla soppressione di allarmi NORM utilizzando informazioni spettrali

Nelle seguenti prove eseguite al posto di prova del laboratorio austriaco ITRAP Research Center Seibersdorf sono descritti, come dimostrato in principio, che anche usando rivelatori a scintillazione, gli allarmi causati da NORM, possono essere ampiamente soppressi senza significativamente abbassare la sensibilità di rivelazione per la scoperta di materiali nucleari o isotopi industriali. Il principio del metodo è la suddivisione degli spettri gamma in tre finestre di energia;

1. una finestra a **bassa energia** che include segnali dovuti a SNM e isotopi medici;
2. una finestra riguardante il range di **energia media** che riguarda la maggior parte delle sorgenti industriali;
3. un'alta finestra che racchiude gamma ad **alta energia**, tipo quelli del Th^{232} , da Ra^{226} e K^{40} di solito contenuti nei NORM.

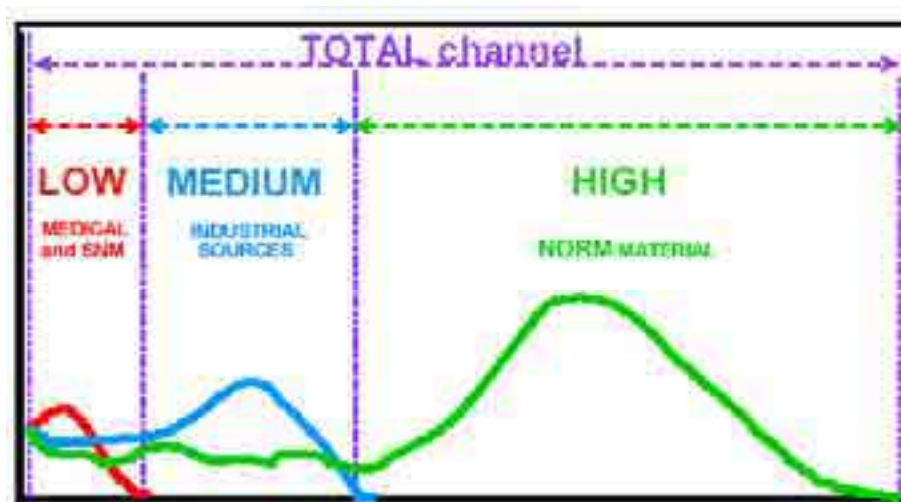


Figura 14 Finestre di analisi

La figura seguente mostra il profilo del rateo di conteggio effettivi (ColpiPerSecondo in ordinata e in ascissa il tempo in decimi di secondo) di una sorgente di Pu con una massa equivalente a 46 g, che attraversa le colonne di rivelatore con una velocità di percorrenza di 18 km/h. L'area grigia tra 50 e 60 sull'ascissa, cioè 5 - 6 s dopo avere innescato il sensore ottico di occupazione, mostra i conteggi quando la sorgente è vicino ai rivelatori mentre sta attraversando il portale. La linea blu con il picco più pronunciato dà il conteggio totale nella colonna di rivelazione A, che è quella più vicina alla sorgente rispetto alla colonna B. Si può anche notare l'aumento significativo del rateo di conteggio nella gamma di bassa energia ($> 0.2 \text{ MeV}$) nel rivelatore A, che indica la presenza di materiali nucleari. Il conteggio riferito alla gamma di alta energia (superiore a 1.1 MeV) è significativamente sopra il livello del fondo per entrambi i rivelatori, il che indica la presenza di NORM.

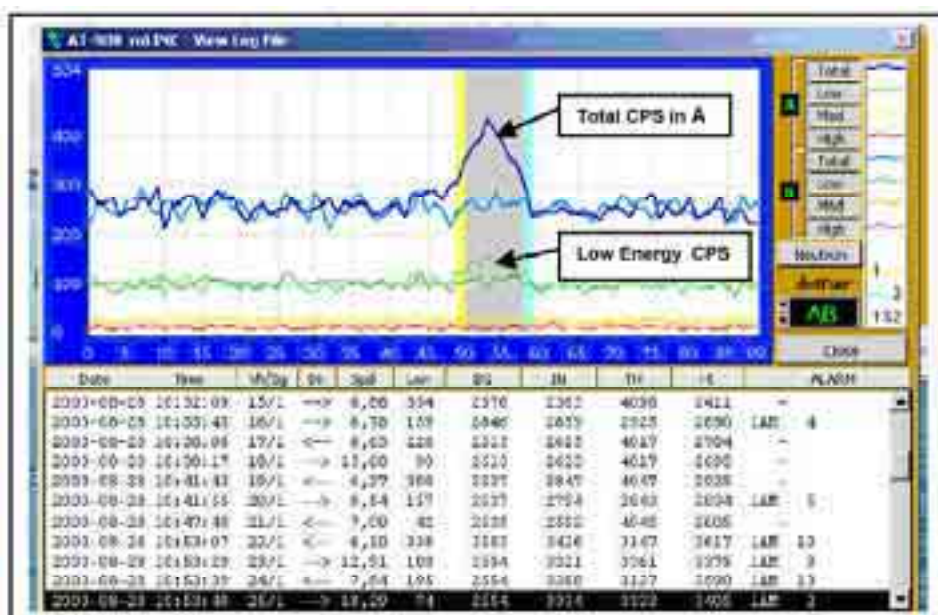


Figura 15 Profilo del rateo di conteggio

La logica per innescare allarmi viene mostrata schematicamente nella figura seguente.

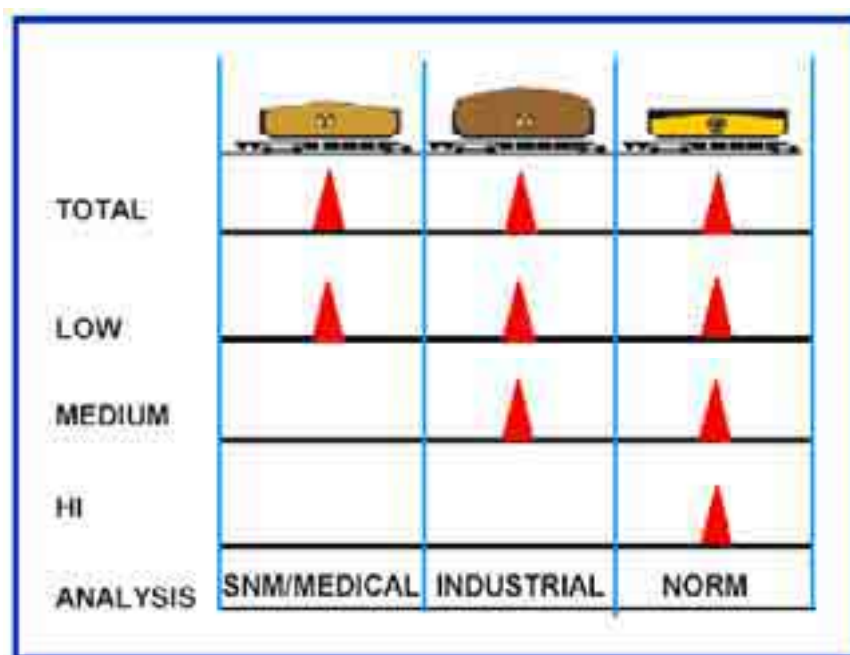


Figura 16 Analisi logica di rivelazione

Se si supera la soglia d'allarme del canale di conteggio totale, il software confronta i conteggi totali con i conteggi delle tre finestre di energia. Se i conteggi sono osservati solo nella finestra della bassa energia, questo indica presenza di SNM o sorgenti mediche. Un'indagine neutronica aggiuntiva darebbe più dettagli riguardo gli SNM rivelati. Se si verifica l'allarme sia nella finestra a bassa e media energia, si è in presenza di isotopi industriali. Se gli allarmi sono innescati in tutte le finestre di controllo, allora si è in presenza di NORM e quindi questo allarme può essere soppresso.

Sensibilità di rivelazione di sorgenti Pu senza soppressione NORM

In primo luogo si è voluta misurare la sensibilità degli strumenti con campioni di Pu e sorgenti di neutroni di Cf^{252} sotto condizioni realistiche, con le sorgenti posizionate nel mezzo o nella parte anteriore di un autocarro, fatto passare quest'ultimo attraverso le colonne del rivelatore a diverse velocità. La tabella seguente è una lista delle sorgenti Pu utilizzate in questa prova.

Tabella 1 Sensibilità al Pu senza soppressione del NORM

Source	Equivalent Mass of WG Pu [g]	Neutron emission [n/s]	Gamma dose rate at 0.5m [μSv/h]
Pu93 O/2	10.25	680	unshielded : 0.20 + 1cm steel: 0.12
Pu84 O/2	21	1390	unshielded : 0.30 + 1cm steel: 0.13
Pu70 O/2	46	3060	unshielded : 0.70 + 1cm steel: 0.25
Pu61 O/2	64	• 4220	unshielded : 0.90 + 1cm steel: 0.30

Source	Speed [km/h]	Background [cps]	Threshold [$\pm 5 \sigma$ in cps]	Signal [cps]	Alarm
Pu93, Pu84, Pu70, Pu61, 141 g 9350n/s, Transport box, in the trunk	10.97	n: 7 γ : 2790	n: 12	n: 18	n (neutron)
Pu93, Pu84, Pu70, Pu61, 141 g 9350n/s, Transport box, in the trunk	14.63	γ : 2799	3618	4110	γ (gamma)
Pu93, Pu84, Pu70, Pu61, 141 g 9350n/s, Transport box, in the trunk	12.91	n: 6	11	13	n
Pu93, Pu84, Pu70, Pu61, 141 g 9350n/s, Transport box, in the trunk	9.98	n: 3	10	12	n
Pu93, Pu84, Pu70, Pu61, 141 g 9350n/s, Transport box, in the trunk	12.19	n: 5	10	14	n
Pu93, Pu84, Pu70, 77 g, 5130 n/s 1 cm steel container, in trunk	9.99	γ : 2789	3601	4113	γ
Pu93, 10.25g, 680 n/s 1 cm steel container, in trunk	10.43	2789	2967	3076	γ
Pu93, 10.25g, 680 n/s 1 cm steel container, in trunk	10.97	2781	3142	3174	γ
Pu93, 10.25g, 680 n/s 1 cm steel container, in trunk	15.68	2787	3025	3194	γ
Pu93, 10.25g, 680 n/s 1 cm steel container, in trunk	11.53	2782	2856	2856	γ

Questa prova dimostra il grado di sensibilità al Pu, con allarmi prevalentemente dovuti alle radiazioni gamma, fino a un equivalente di 10 g di campione con una velocità fino a 15 km/h.

Sensibilità di rivelazione di sorgenti Pu con soppressione NORM

Per simulare materiali contenenti considerevoli quantità di NORM è stata usata una sorgente metallica di Th^{232} di 59 g, che produce una dose di 0.2 μSv/h ad 1 m di distanza. Facendo poi passare tale sorgente attraverso la parte centrale del rivelatore con i pilastri a 2.7 m di distanza, condurrebbe ad un aumento del background di circa il 30%, che è nella gamma tipica di allarmi innocenti osservati nelle prove ITRAP. Alla distanza di 1 m dal rivelatore, l'aumento in background sarebbe circa del 300%. La seguente tabella riassume le misure della sorgente di Th^{232} a diverse velocità e distanze dai rivelatori, senza soppressione NORM.

Tabella 2 Misure senza soppressione del NORM

Source:	Speed [km/h]	Distance Source – Detector [m]	Alarm
²³² Th (59 g metallic)	6.45	2.7 (Centerline)	γ
²³² Th (59 g metallic)	10.45	2.7 (Centerline)	γ
²³² Th (59 g metallic)	7.80	2.7 (Centerline)	γ
²³² Th (59 g metallic)	3.99	0.8	γ
²³² Th (59 g metallic)	7.30	0.8	γ
²³² Th (59 g metallic)	18.40	0.8	γ
²³² Th (59 g metallic)	11.55	2.7 (Centerline)	no

Tabella 3 Misure con soppressione del NORM

Source:	Speed [km/h]	Distance Source – Detector [m]	Alarm
²³² Th (59 g metallic)	0.72	2.7 (Centerline)	no
²³² Th (59 g metallic)	6.65	2.7 (Centerline)	no
²³² Th (59 g metallic)	7.32	2.7 (Centerline)	no
²³² Th (59 g metallic)	12.91	2.7 (Centerline)	no
²³² Th (59 g metallic)	11.55	2.7 (Centerline)	no
²³² Th (59 g metallic)	10.97	2.7 (Centerline)	no
²³² Th (59 g metallic)	9.54	2.7 (Centerline)	no
²³² Th (59 g metallic)	6.27	1.0	no
²³² Th (59 g metallic)	5.10	0.7	γ
²³² Th (59 g metallic)	4.14	1.0	γ
²³² Th (59 g metallic)	8.13	0.6	γ

Con la soppressione dei NORM attivata la sorgente Th²³² non ha innescato alcun allarme quando ha attraversato il rivelatore (2.7 m di distanza) a qualsiasi velocità. Solo per distanze molto vicine delle sorgenti al rivelatore, quando il segnale di radiazione raggiunge e supera del 300% il valore del fondo si innesca l'allarme.

Infine con la soppressione NORM attivata, si è testata la risposta del portale all'attraversamento di sorgenti di Pu con una massa equivalente di 21 g e 46 g in contenitori di acciaio di 1 cm di spessore. I risultati vengono mostrati nella tabella che segue.

Tabella 4 Sensibilità al Pu con soppressione del NORM

Source:	Speed [km/h]	Distance Source – Detector [m]	Alarm
Pu84 O/2, 21 g, in 1cm Fe	6.27	2.7 (Centerline)	no
Pu84 O/2, 21 g, in 1cm Fe	4.22	2.7 (Centerline)	γ
Pu84 O/2, 21 g, in 1cm Fe	9.98	2.7 (Centerline)	γ
Pu84 O/2, 21 g, in 1cm Fe	3.60	2.7 (Centerline)	γ
Pu84 O/2, 21 g, in 1cm Fe	3.14	2.7 (Centerline)	γ
Pu84 O/2, 21 g, in 1cm Fe	6.86	2.7 (Centerline)	γ
Pu84 O/2, 21 g, in 1cm Fe	5.35	2.7 (Centerline)	γ
Pu70 O/2, 46 g, in 1cm Fe	6.45	2.7 (Centerline)	γ
Pu70 O/2, 46 g, in 1cm Fe	9.54	2.7 (Centerline)	no
Pu70 O/2, 46 g, in 1cm Fe	4.88	2.7 (Centerline)	γ
Pu70 O/2, 46 g, in 1cm Fe	3.14	2.7 (Centerline)	n (neutron)

Conclusione

Dai precedenti risultati si evince che la soppressione gamma-spettrometrica di allarmi innocenti dovuti ai NORM è fattibile. Sembra che non ci sia alcuna differenza significativa nella sensibilità di rivelazione per materiali nucleari SNM e radioisotopi industriali con e senza soppressione NORM, salvo che per il Co^{60} , che non può essere distinto completamente dal K^{40} e dal Th^{232} . Tuttavia, le sorgenti significative di Co^{60} innescheranno comunque allarmi, in quanto ritenute forti sorgenti NORM. La tecnica gamma spettrometrica ha un grande potenziale per la risoluzione del problema dei frequenti allarmi innocenti a causa delle merci contenenti l'attività bassa NORM. Questo può migliorare significativamente l'applicazione pratica sulle linee di confine in fase di controllo di autocarri e vagoni ferroviari, trasportando grandi quantità di materiale con bassa concentrazione di NORM.

Legenda

- Radioattività : spontanee emissioni di radiazioni da parte di un nucleo o di un isotopo instabile.
- Curie : unità di misura dell'intensità di radioattività di una sorgente; un Curie è uguale a 3.7×10^{10} disintegrazione al secondo, ossia approssimativamente il rateo di disintegrazione di un grammo di radio. $1 \text{ Curie} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Becquerel}$.
- Radiazione ionizzante : qualsiasi radiazione capace di strappare elettroni da un atomo o da molecole, formando ioni. Ad esempio gamma e raggi x.
- Sorgenti orfane : sorgenti di materiale radioattivo per il quale il custode non può permettersi l'onere dello smaltimento oppure non può esserne ritenuto responsabile della produzione
- Sorgente sigillata : si ha quando il materiale radioattivo è permanentemente vincolato in una capsula o in una matrice evitando quindi di rilasciare radioattività in situazioni critiche.
- Esposizione = dQ/dm
 - $1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/Kg}$
- Dose assorbita = dE/dm
 - $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/Kg} = 100 \text{ rad}$
- Dose equivalente: dosi eguali impartite da radiazioni differenti danno diversi danni biologici
 - $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$
- Dose efficace: riferita al tessuto irradiato (è la somma delle dosi equivalenti pesate sui vari tessuti)