

Grosseto

31 Gennaio 2023

Introduzione

RadHAND 600 Pro [1] e DiscoveRAD [2] sono due strumenti portatili prodotti da CAEN S.p.A. per la ricerca e identificazione di materiale radioattivo e sono stati utilizzati per misurare il livello di radioattività di rifiuti urbani contaminati presso l'impianto di trattamento rifiuti Futura S.p.A. di Grosseto. L'impianto, che serve un'area corrispondente a circa 280.000 abitanti, riceve sia Rifiuti Urbani Indifferenziati (RUI), codice EER 20 03 01, che Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani (FORSU), codice EER 20 01 08, proveniente dalla raccolta differenziata e Rifiuti Verdi, codici EER 20 02 01, EER 20 01 38 e EER 20 03 02. L'impianto tratta i rifiuti producendo Combustibile Solido Secondario (CSS) da RUI e Ammendante Compostato Misto o compost di qualità dalla miscela di FORSU e Rifiuto Verde.

I rifiuti urbani contaminati da sorgenti radioattive sono principalmente i RUI e provengono per la maggior parte da cittadini che stanno ricevendo esposizioni radiomedicali come parte del loro trattamento medico o dentale di diagnosi. Non essendoci una specifica regolamentazione per questo tipo di rifiuto, i cittadini gettano il loro rifiuto contaminato da secrezioni radioattive (come fazzoletti, assorbenti, ecc...) nel cestino del rifiuto indifferenziato, senza uno specifico sacchetto o etichetta.

Il rifiuto contaminato risulta quindi mescolato con quello non contaminato: una volta che arriva all'impianto di trattamento rifiuti, deve essere identificato, separato dal rifiuto non contaminato, posizionato in area controllata e etichettato con il corretto tempo dopo il quale il rifiuto è presumibilmente non più radioattivo.

Tutti i camion che trasportano rifiuti, quando arrivano o lasciano l'impianto, vengono fatti transitare all'interno di un portale fisso che genera un allarme quando viene misurato un valore di cps (conteggi per secondo) superiore al fondo naturale. In caso di allarme, viene chiamato l'esperto di radioprotezione (ERP) che innanzitutto controlla la posizione della sorgente radioattiva con uno strumento di misura portatile (che chiameremo "strumento di riferimento") e segna tale posizione sulla parete del camion. I rifiuti vengono scaricati fino alla posizione segnata sulla parete, di seguito l'ERP localizza il rifiuto contaminato attraverso lo strumento di riferimento. Una volta localizzato, il rifiuto radioattivo viene messo in un sacco e posizionato in un'area controllata. Identificando i radioisotopi contenuti nel sacco (tipicamente radioisotopi medicali) è possibile conoscere il tempo di decadimento della sorgente e misurando il rateo di conteggi attuali, l'ERP può fissare un tempo di assestamento, durante il quale, il rifiuto identificato deve rimanere nell'area controllata. Passato questo tempo di assestamento, se la sua radioattività torna al livello del fondo ambientale, con una tolleranza di 1.5 volte il fondo, può essere smaltito come rifiuto non radioattivo. **Fig. 1** mostra la sequenza di operazioni effettuate per la localizzazione e identificazione dei rifiuti radioattivi.

Misure presso il centro di trattamento rifiuti

RadHAND e DiscoveRAD sono stati usati insieme allo strumento di riferimento per localizzare la posizione della sorgente e identificare il tipo di sorgente. Le differenze principali tra i due strumenti sono: i detector usati, rispettivamente NaI(Tl) and BGO; la possibilità di leggere/scrivere etichette RFID tolleranti alla radiazione, fare foto del campione e collegare tutti i dati su un database remoto (RadBase) per il RadHAND; la possibilità di rilevare neutroni per il DiscoveRAD. Maggiori dettagli sui due strumenti sono riportati rispettivamente in [1] e [2].

Prima di iniziare la misura, è stata effettuata una misura del fondo ambientale, per verificarne il livello e permettere agli strumenti stessi di impostare la soglia di allarme in maniera automatica. Il risultato è simile per i due strumenti ed evidenzia un fondo di radiazione molto basso, circa $0.018 \mu\text{Sv}/\text{h}$ e 50 cps.

I due strumenti sono stati usati per fare una scansione preliminare delle pareti del camion. Avendo lo stesso tipo di rivelatore, RadHAND è stato usato per verificare il rateo di conteggi rispetto allo strumento di riferimento dell'ERP, dando sempre risultati comparabili. DiscoveRAD ha dato invece sempre risultati leggermente più bassi, probabilmente a causa

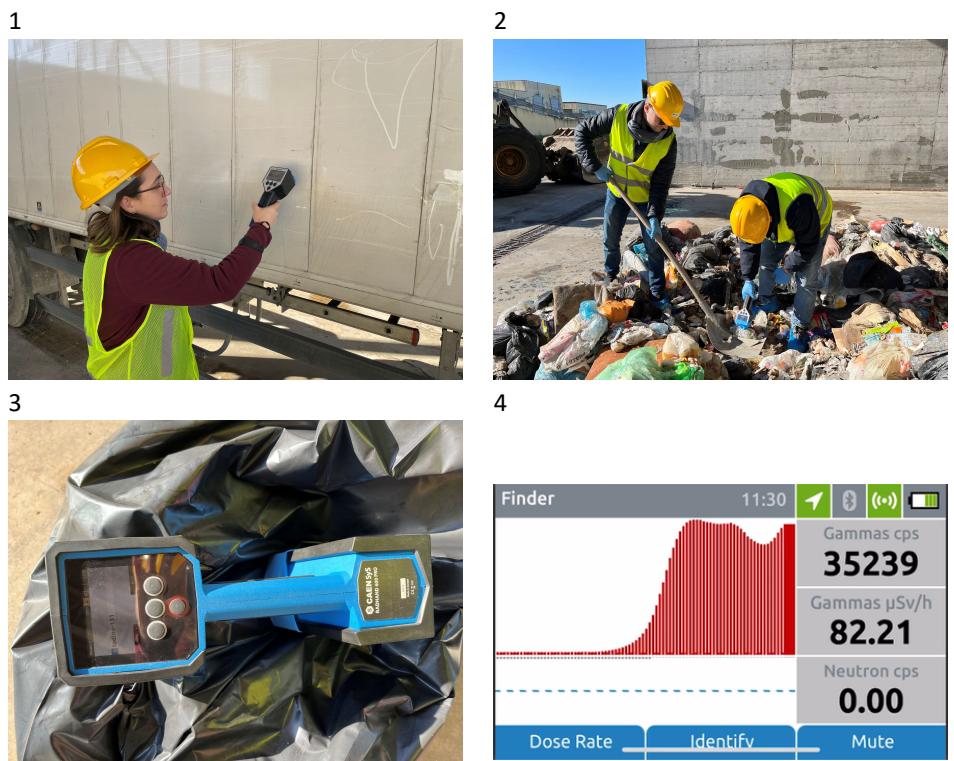


Fig. 1: (1) Localizzazione del rifiuto radioattivo sulla parete del camion; (2) Localizzazione del rifiuto radioattivo tra quello non radioattivo; (3) Identificazione della sorgente radiologica con RadHAND; (4) Aumento del rateo di conteggi registrato da DiscoveRAD quando posizionato vicino alla sorgente.

del diverso rivelatore usato.

La posizione del rifiuto è stata identificata andando a vedere quando il rateo di conteggi aumentava rispetto al fondo ambientale. Sono stati localizzati tre tipi di rifiuto radiologico:

1. assorbenti femminili;
2. materiale vario in cui era dispersa la sorgente (materiale non categorizzato);
3. pannolini da adulto.

Nel caso del materiale non categorizzato, abbiamo usato la funzione “EasyFinder” del DiscoveRAD (**Fig. 2**), che mette in relazione il rateo di conteggi con un accelerometro interno per trovare la direzione da cui proveniva la sorgente.

Una volta localizzato il rifiuto, è stato applicato l’algoritmo di identificazione, identificando sempre I-131 per i tre tipi di rifiuto radiologico.

Essendo stati salvati i dati nella memoria interna del DiscoveRAD, riportiamo di seguito i risultati con DiscoveRAD. Risultati simili sono stati ottenuti anche con RadHAND. Entrambi gli strumenti sono stati in grado di misurare il rateo di dose dei rifiuti contaminati e identificare il radioisotopo I-131, come mostrato nella **Tab. 1** e **Fig. 3**. La sensitività di entrambi gli strumenti per una sorgente di ^{137}Cs è 1850 cps/ $\mu\text{Sv}/\text{h}$. Per una comparativa delle prestazioni dei due strumenti rispetto a una sorgente di ^{137}Cs si rimanda alla Sezione **Appendice: Comparativa tra RadHAND e DiscoveRAD**.



Fig. 2: Funzione EasyFinder del DiscoverRAD.

Tipo di rifiuto	Rateo di Dose ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	Radionuclide identificato
Assorbenti femminili	~ 0.084	I-131
Materiale non categorizzato	~ 1.350	I-131
Pannolini da adulto (singolo)	~ 22.730	I-131
Pannolini da adulto (totali)	~ 99.780	I-131

Tab. 1: Rateo di dose dei radionuclidi identificati per ciascun tipo di rifiuto.

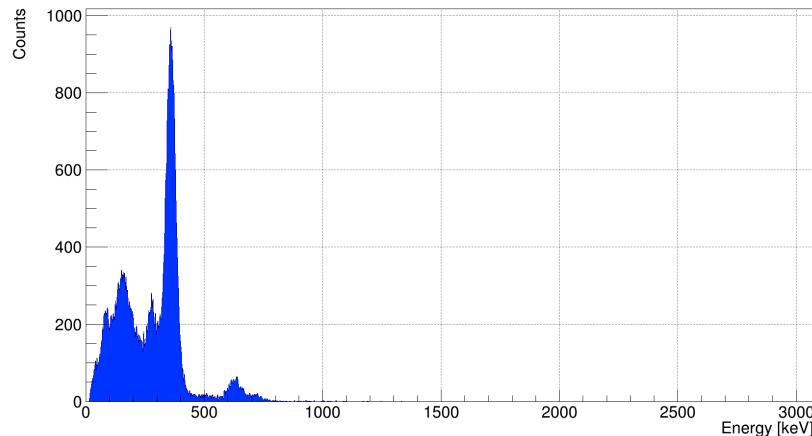


Fig. 3: Spettro di energia nell'intervallo 0-3 MeV acquisito con DiscoverRAD con il campione di pannolini da adulto. I picchi dello iodio-131 sono chiaramente visibili a 284.3, 364.5, e 636.9 keV.

Conclusioni

RadHAND e DiscoverRAD sono stati utilizzati con successo per la localizzazione e identificazione di rifiuti radioattivi. Gli strumenti hanno correttamente dato l'allarme in presenza di sorgente radioattiva, dando risultati compatibili con lo strumento di riferimento dell'ERP. Gli strumenti hanno identificato la sorgente radioattiva, salvato gli spettri in energia per effettuare analisi a posteriori, calcolato il rateo di dose e conteggi con un fondo scala maggiore del fondo scala dello strumento di riferimento. Come possibile miglioramento, sarà possibile aggiungere un'asta metallica allo strumento così da effettuare misure a 1-2 metri di distanza dai rifiuti.

Appendice: Comparativa tra RadHAND e DiscoveRAD

Test comparativi tra RadHAND e DiscoveRAD sono stati effettuati presso il laboratorio di CAEN S.p.A per verificare la consistenza dei valori misurati rispetto a quelli attesi e rispetto ai due strumenti stessi.

I valori nominali sono stati presi dal sito “RadProCalculator” [3], che calcola il rateo di dose atteso da una sorgente punitiforme gamma, che emette isotopi a varie distanze. È possibile effettuare anche il calcolo inverso, determinando l’attività di una sorgente conoscendo il rateo e la distanza, così come è possibile aggiungere uno schermo di radiazione; queste due opzioni non sono state utilizzate in questa misura. Il calcolo effettuato da RadProCalculator prende in considerazione la formula del rateo di esposizione $\dot{X} = \Gamma_\delta \frac{\alpha}{d^2}$ [4], dove Γ_δ è la costante di rateo di esposizione (costante Gamma), α è

l’attività della sorgente e d è la distanza. La costante è uguale a $3.214 (\text{R}\cdot\text{cm}^2)/(\text{hr}\cdot\text{mCi})$ per il ^{137}Cs : questo valore considera che i raggi X del ^{137}Cs non arrivano al rivelatore e non sono quindi inclusi nel calcolo finale. I valori di rateo di dose sono infine riportati in $\mu\text{Sv}/\text{h}$ usando la seguente conversione per i gamma in aria: 1 Roentgen = 0.877 rad, quindi 1 Roentgen = 0.877 rem e 1 Roentgen = 0.00877 Sieverts.

Per la misura, è stata usata una sorgente di ^{137}Cs da 8.88 MBq (0.240 mCi) di attività, posizionata a diverse distanze dagli strumenti e sono stati registrati i valori riportati negli schermi di RadHAND e DiscoveRAD. Per ciascuna distanza, sono state prese 10 misure ed è stato calcolato sia il valor medio che l’RMS come errore statistico per tenere in considerazione le variazioni di rateo di dose istantaneo misurato. Il fondo ambientale è stato misurato allo stesso modo ed è risultato essere $0.045 \pm 0.001 \mu\text{Sv}/\text{h}$ e $0.047 \pm 0.001 \mu\text{Sv}/\text{h}$ rispettivamente per RadHAND e DiscoveRAD. I valori riportati in **Tab. 2** sono con il background sottratto. I valori minimo e massimo accettabile corrispondono a \pm il 10% rispetto al valore nominale.

Distanza (cm)	Rateo di dose nominale [$\mu\text{Sv}/\text{h}$]	Valore minimo accettabile [$\mu\text{Sv}/\text{h}$]	Valore RadHAND con fondo sottratto [$\mu\text{Sv}/\text{h}$]	Valore DiscoveRAD con fondo sottratto [$\mu\text{Sv}/\text{h}$]	Valore massimo accettabile [$\mu\text{Sv}/\text{h}$]
50	2.721	2.449	2.743 ± 0.047	2.629 ± 0.032	2.992
100	0.679	0.611	0.725 ± 0.012	0.705 ± 0.011	0.747
200	0.169	0.152	0.184 ± 0.003	0.182 ± 0.004	0.186
300	0.075	0.0673	0.082 ± 0.002	0.079 ± 0.002	0.082

Tab. 2: Confronto tra il valore di rateo di dose registrato da RadHAND e DiscoveRAD rispetto a quello nominale a diverse distanze dalla sorgente.

Tab. 3 riporta le differenze relative tra RadHAND e DiscoveRAD rispetto al valore atteso da RadProCalculator. La differenza relativa è definita come $(v_{\text{meas}} - v_{\text{exp}})/v_{\text{exp}}$, dove v_{meas} è il valore misurato dallo strumento e v_{exp} è il valore atteso da RadProCalculator. Le differenze sono tutte al di sotto del 10%.

Distanza (cm)	Differenza relativa RadHAND vs Nominal	Differenza relativa DiscoveRAD vs Nominal
50	1%	-3%
100	7%	4 %
200	9%	7%
300	10%	5%

Tab. 3: Confronto dei valori di rateo di dose del RadHAND e DiscoveRAD rispetto ai valori attesi.

Valori compatibili sono stati misurati dai due strumenti e in accordo con i valori attesi. Ad una distanza di 3 m, i valori registrati di dose sono circa 2 volte il livello del fondo: questo fa sì che sia possibile anche a quella distanza la localizzazione e l’identificazione della sorgente. **Fig. 4** mostra il setup sperimentale e i valori istantanei misurati.



Fig. 4: RadHAND e DiscoveRAD durante la misura di una sorgente di ^{137}Cs di $8.91 \cdot 10^6$ Bq di attività a (1) 50 cm, (2) 100 cm, (3) 200 cm, e (4) 300 cm.

References

- [1] <https://www.caen.it/products/radhand-600/>.
- [2] <https://www.caen.it/products/discoverad/>.
- [3] [http://www.radprocalculator.com/Gamma.aspx/](http://www.radprocalculator.com/Gamma.aspx).
- [4] G. F. Knoll. *Radiation detection and measurement*. Ed. by J. Wiley and sons. IV ed.