

# Gestione dei residui di lavorazione contenenti NORM da impianti di estrazione e trattamento idrocarburi

Devecchi F. <sup>1</sup>, Colombo G. <sup>1</sup>, Fresca Fantoni R. <sup>1</sup>, De Zolt S. <sup>2</sup>, Trotti F. <sup>2</sup>, Zampieri C. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eni S.p.A. - Exploration & Production Division – RADl Dept.

Via Maritano 26, 20097 San Donato Milanese (MI)

federica.devecchi@eni.it; g.colombo@eni.it; roberto.fresca.fantoni@eni.it

<sup>2</sup> ARPA Veneto – Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione dell’Ambiente del Veneto

via A. Dominutti 8, 37135 Verona

ftrotti@arpa.veneto.it; czampieri@arpa.veneto.it;

*Eni, in collaborazione con ARPA VENETO, ha predisposto una procedura di valutazione dell’esposizione di lavoratori e pubblico a radionuclidi di origine naturale presenti in fondami petroliferi durante le operazioni previste per il loro allontanamento ed eliminazione dagli impianti di estrazione e trattamento degli idrocarburi. La normativa di riferimento dello studio è il D. Lgs. 230/95 come modificato dal D. Lgs. 241/00, che disciplina la protezione dall’esposizione a radiazioni ionizzanti anche per le attività lavorative con presenza di NORM (Naturally Occuring Radioactive Materials).*

## MATERIALE E METODI - SIMULAZIONE DEGLI SCENARI

Le attività lavorative con presenza di NORM oggetto del presente studio sono state la manutenzione di serbatoi, effettivamente compiuta, e lo smantellamento previsto di componenti in disuso presso due siti di produzione di Eni S.p.A. Divisione E&P. I NORM sono risultati essere composti principalmente dai fondami petroliferi contenuti in tali serbatoi. Le modalità di intervento e gestione prevedono l’asporto del materiale dagli impianti, il successivo trasporto e trattamento presso un’azienda specializzata nel trattamento di rifiuti, e l’eliminazione definitiva in impianto di incenerimento con conferimento in discarica dei residui di combustione.

Per valutare l’impatto radiologico a lavoratori, popolazione e ambiente durante tali fasi sono stati sviluppati modelli appositi con l’utilizzo di vari codici (MICROSHIELD, PC-CREAM, RESRAD).

## ESTRAZIONE E TRASPORTO

Il modello MICROSHIELD è stato utilizzato per valutare il rischio radiologico da irraggiamento esterno per i lavoratori durante le attività di rimozione di fondami contenenti radionuclidi di origine naturale e il loro trasporto presso l’impianto di trattamento in occasione della manutenzione di serbatoi presso il sito nr.1 di Eni S.p.A.

MICROSHIELD permette di calcolare valori di rateo di dose gamma in punti prefissati, sulla base di geometria di esposizione, distanza dalla sorgente, radionuclidi presenti nella sorgente e loro concentrazione, materiali schermanti e loro geometria, contributo del buildup.

I radionuclidi presenti nella sorgente sono quelli caratteristici dei NORM (Ra-226, Pb-210, Po-210); a ciascuno è stata attribuita la massima concentrazione del capostipite Radio-226 rilevata nei campioni di fondami prelevati dal serbatoio, pari a 1767 Bq/Kg.

Tali dati sono stati inseriti negli scenari lavorativi ipotizzati, sulla base delle ore necessarie a compiere ciascuna operazione.

La prima fase delle attività consiste nella palatura manuale dei fondami, in cui l’esposizione dei lavoratori avviene oltre che per irraggiamento esterno anche per irraggiamento interno e presenza di Radon emanato dai fondami. La geometria di esposizione è qui costituita dall’operatore in piedi in mezzo ad un cilindro di fondami, in cui sono presenti i radionuclidi caratteristici dei NORM secondo le concentrazioni misurate in campioni precedentemente analizzati. L’irraggiamento interno è stato considerato nella valutazione secondo la metodologia riportata nel codice TSD-DOSE e nel D.L. 241/2000 per quanto riguarda l’inalazione di particolato e secondo la metodologia della RP122 per l’inalazione di Radon. Si è considerato che l’operatore lavori con adeguato Dispositivo di Protezione Individuale (DPI) delle vie respiratorie.

Successivamente il materiale infustato viene spostato a mezzo bobcat; l’operatore è sottoposto ad irraggiamento esterno, dato dai fondami presenti sulla benna e da quelli contenuti nel serbatoio, ed interno ma assenza di esposizione al Radon, in quanto tale operazione si svolge all’aria aperta.

Infine i fondami vengono conferiti al centro di trattamento: in tale fase si ipotizza per il trasportatore il solo irraggiamento esterno, dato dal carico contenuto nel cassone.

## INCENERIMENTO

Il modello PC-CREAM è stato utilizzato per valutare le conseguenze radiologiche sulla popolazione dovute all'eventuale incenerimento di fanghi contenuti nei serbatoi del sito nr.2 di Eni S.p.A. e alla conseguente emissione di polveri in atmosfera. Il codice ha permesso di descrivere le caratteristiche meteorologiche tipiche del sito dove si ipotizza l'incenerimento abbia luogo, le caratteristiche dell'impianto e dell'area ad esso circostante, le abitudini di vita della popolazione che vive intorno all'impianto. Per diverse fasce di età sono state simulate le dosi efficaci individuali e collettive.

Si è ipotizzato che i fondami conferiti in discarica avessero una concentrazione di attività pari al valore massimo misurato nei campioni addizionato dell'incertezza (1943 Bq/kg per il Radio-226 e 36.59 Bq/kg per il Radio-228).

Lo scenario principale simulato è quello in cui si ipotizza che il filtro di abbattimento delle polveri operi efficacemente, l'altezza effettiva di emissione dell'effluente sia quella calcolata in base ai dati meteorologici e dell'impianto, e la rugosità sia quella tipica delle aree agricole. Il gruppo critico della popolazione è costituito dai residenti in prossimità dell'impianto ad una distanza di 6000 m e una direzione di 210 gradi nord rispetto allo stesso; si assume che gli individui del gruppo critico si alimentino di cibo di esclusiva provenienza locale. In questo caso le principali vie di esposizione sono l'inalazione di radon durante il passaggio della nube, e, più limitatamente, l'ingestione di grano, frutta e ortaggi.

Il valore massimo della dose efficace individuale annua, dopo 50 anni di attività dell'impianto, è  $6.6 \cdot 10^{-5}$   $\mu\text{Sv}/\text{anno}$ , ampiamente inferiore al livello di azione di  $300 \mu\text{Sv}/\text{anno}$  indicato nel DL 241/00, e si registra per la fascia d'età degli infanti. La dose efficace collettiva annua, dopo 50 anni di funzionamento dell'impianto, è invece  $1.1 \cdot 10^{-4}$  Sv persona/anno.

In via cautelativa, è stata simulata una situazione in cui l'efficienza del filtro di abbattimento delle polveri dell'inceneritore è nulla. Infatti, l'efficienza del filtro potrebbe essere diversa per i vari radionuclidi presenti nei fanghi nel processo di combustione, determinando un arricchimento in alcuni componenti delle polveri emesse in atmosfera. Inoltre, è stata condotta un'analisi di sensibilità, per valutare la dipendenza della dose calcolata da alcuni parametri, nel caso in studio. È stato verificato che la diminuzione dell'altezza effettiva di rilascio dell'effluente e una rugosità del terreno inferiore determinano un aumento della dose. Sulla base di queste indagini, si può affermare che il caso più cautelativo simulato è quello in cui l'efficienza del filtro di abbattimento delle polveri è nulla, l'altezza effettiva di rilascio dell'effluente è quella geometrica del camino, la rugosità del suolo è quella tipica delle aree agricole. Anche in questo caso, la massima dose individuale efficace annua, dopo 50 anni di funzionamento dell'impianto, non supera il livello di azione di  $300 \mu\text{Sv}/\text{anno}$  indicato dal DL 241/00, essendo pari a  $1.7 \mu\text{Sv}/\text{anno}$  (infanti). Essa è legata principalmente alla ingestione di grano, ortaggi e frutta contaminati da Po-210 e all'inalazione di Ra-226 al passaggio della nube radioattiva. Il gruppo critico della popolazione è rappresentato dai residenti in prossimità dell'impianto a una distanza di 3000 m e una direzione di 210°N rispetto allo stesso.

## CONFERIMENTO IN DISCARICA DEI RESIDUI DI INCENERIMENTO

Il modello RESRAD è stato utilizzato per valutare le conseguenze radiologiche sulla popolazione dovute alla deposizione in discarica delle ceneri prodotte dall'ipotetico incenerimento dei fanghi contenuti nei serbatoi del sito nr.2 di Eni S.p.A.. Il codice ha permesso di descrivere le caratteristiche tipiche del rifiuto, della discarica dove esso viene deposto, degli scenari di esposizione considerati.

Sono stati simulati due diversi scenari, denominati "Resident Farmer" e "Recreationist".

Il primo assume che sulla discarica venga costruita una casa i cui abitanti coltivano verdure e allevano bestiame, cibandosi di tali prodotti; nel secondo caso un individuo utilizza la discarica come luogo ricreativo svolgendo attività fisica, pescando, cacciando e consumando le prede.

Riguardo ai dati relativi alle ceneri da deporre in discarica, sono state adottate le ipotesi più cautelative. L'attività ad esse associata corrisponde all'attività totale dei fondami negli otto serbatoi dello stabilimento, desunta dalla concentrazione di attività massima misurata addizionata dell'incertezza associata (1943 Bq/kg per il Radio-226 e 36.59 Bq/kg per il Radio-228). Si ipotizza che i fondami vengano inceneriti da soli, senza essere mescolati con altro tipo di rifiuti, come in genere viene fatto per aumentare l'efficienza del processo. In seguito all'incenerimento si assume che si ottenga la massima riduzione della massa del rifiuto documentata in letteratura. Per quanto riguarda i dati relativi alla discarica, laddove disponibili, sono stati utilizzati i parametri forniti dall'ipotetico gestore; alternativamente sono stati adottati i valori predefiniti dal codice. Il rifiuto contenente NORM è disposto secondo una geometria cilindrica.

La dose calcolata diminuisce col trascorrere del tempo dal momento della deposizione del rifiuto: pertanto la dose annuale massima si ottiene al tempo  $t = 0$  anni.

Varie simulazioni sono state realizzate per valutare la dipendenza della dose dalla massa delle ceneri (che ne determina la concentrazione di attività), dalla loro densità, dal coefficiente di emanazione del Rn-222, dallo spessore dello strato di copertura della discarica. Inoltre è stato valutato come varia la dose qualora dell'altro rifiuto contenente NORM, con le stesse caratteristiche di quello originariamente considerato, venga affiancato o posto sopra il precedente. In entrambi gli scenari considerati l'unico contributo fondamentale presente è costituito dall'inalazione del Radon che esala dal terreno.

I risultati ottenuti per lo scenario "Recreationist", considerato più plausibile, mostrano che i valori di dose ottenuti adottando le ipotesi più conservative sono ampiamente inferiori al livello di azione indicato dalla normativa: la dose efficace individuale annua massima è pari a  $1.53 \cdot 10^{-9}$   $\mu\text{Sv/a}$ . Anche ipotizzando di deporre in discarica una quantità di rifiuto corrispondente a 500 volte il volume delle ceneri prodotte a partire dai fondami presi in considerazione, in una zona della profondità della discarica e di area  $469.2 \text{ m}^2$ , si otterrebbero dosi annue massime di 7 ordini di grandezza inferiori al livello di azione indicato dalla normativa.

Gli studi di sensibilità hanno evidenziato che, come peraltro atteso, la dose cresce al diminuire dello spessore dello strato di copertura e della massa delle ceneri, e al crescere del coefficiente di emanazione del Rn-222. Invece, aumentando lo spessore della zona contaminata, a parità di volume, inizialmente la dose aumenta fino a un massimo, per poi diminuire. Per valori di tale spessore più piccoli di 0.2 m, una densità più elevata determina una dose più elevata, mentre per valori più grandi a una densità più elevata corrisponde una dose inferiore.

I risultati relativi allo scenario "Resident Farmer", considerato tuttavia estremamente poco realistico, indicano che nel caso di riferimento la dose efficace individuale annua massima è  $1.83 \cdot 10^{-1}$   $\text{mSv/a}$ , inferiore al livello di azione indicato dalla normativa, seppure dello stesso ordine di grandezza.

## RISULTATI E CONCLUSIONI - CONFRONTO TRA I DATI STIMATI E CASO REALE

Di seguito (tab. 1 e 2) sono riportati i valori di dose cui sono potenzialmente esposti gli operatori addetti alle varie fasi della manutenzione del serbatoio che chiameremo "A" del sito nr.1, calcolati con la modellizzazione sopra descritta per le operazioni di estrazione e trasporto.

In considerazione del fatto che il valore soglia previsto dalla normativa di riferimento è di  $300 \mu\text{Sv/anno}$ , sono stati prescritti una serie di accorgimenti di radioprotezione da mettere in opera durante l'attività in campo allo scopo di assicurare il rispetto del suddetto valore.

I dati di dose stimata sono confrontati (tab. 1) (tab. 2) con le dosi valutate, per categoria di operatori, in seguito all'effettivo svolgersi delle operazioni. La dose da irraggiamento esterno è stata ottenuta sulla base dei rilevamenti radiometrici in campo e delle ore di lavoro, mentre la dose efficace per inalazione è stata calcolata in seguito ai risultati del campionamento della frazione respirabile, effettuato con un sistema di aspirazione posizionato nel serbatoio. La concentrazione di Radon è risultata essere trascurabile.

Dal confronto si evince che la dose stimata era stata calcolata in modo fortemente cautelativo, in relazione alla scelta dei parametri di input dei modelli:

- sono stati utilizzati i più alti valori di concentrazione di attività di Radio misurati nei fondami;
- è stato sovrastimato il tempo necessario alle attività di estrazione, a causa della diversa modalità di intervento adottata;
- è stata trascurata nei calcoli la progressiva riduzione dei quantitativi e delle attività della sorgente (i fondami);
- sono stati utilizzati dei fattori di protezione degli autoprotettori e delle maschere più bassi rispetto a quelli reali.

Tabella 1 - Dose efficace da irraggiamento esterno ricevuta dai lavoratori impegnati nell'attività di rimozione e trasporto per il serbatoio A del sito nr.1

Attività	Rateo di dose efficace misurato (nSv/h) al netto del fondo ambientale	Ore lavorate	Dose efficace ricevuta nel corso dell'attività ( $\mu\text{Sv}$ )	Dose efficace stimata da modello ( $\mu\text{Sv}$ )
Operatore apertura varco	< 5	20	0.1	2.6
Palatore	60	150	9.0	124.7

Operatore pompe e tubo trasferimento	< 5	150	0.75	Non previsto
Operatore infustaggio	109	150	16.4	Non previsto
Operatore bobcat	<5	150	0.75	50.4
Autista camion	< 5	300	1.5	96.0

Tabella 2 - Dose efficace per inalazione ricevuta dai lavoratori impegnati nell'attività di rimozione e trasporto per il serbatoio A del sito nr.1

Attività	Ore lavorate	Dose efficace da inalazione nel corso dell'attività ( $\mu\text{Sv}$ )	Dose efficace da inalazione stimata da modello ( $\mu\text{Sv}$ )
Operatore apertura varco	20	Trascurabile (*)	0.027
Palatore	150	Trascurabile (*)	0.041
Operatore pompe e tubo trasferimento	150	Trascurabile (*)	Non previsto
Operatore infustaggio	150	Trascurabile (*)	Non previsto
Operatore bobcat	150	Trascurabile (*)	0.206

(\*) Con "trascurabile" si intende una dose inferiore a  $0.01 \mu\text{Sv}$

## BIBLIOGRAFIA

- European Commission, Radiation Protection 122 Part II – Practical use of the concepts of clearance and exemption.
- Gazzetta Ufficiale n. 203, 31/08/2000, Decreto Legislativo 241/2000 "Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti"
- MICROSIELD versione 6.20, Grove Software, Inc.
- Pflingston M., Arnish J., Le Poire D. and Chen S.Y., 1998, TSD-Dose: A radiological dose assessment model for treatment, storage and disposal facilities. ANL/EAD/LD-4 (Rev.1), Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois
- ICRP 1990: "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection". ICRP Publication 60, Annals of the ICRP, 21 (1-3), 1991.
- PC-CREAM, Health Protection Agency, UK
- Pasquill, F., 1961. The estimation of the dispersion of windborne material. Met. Mag., 90, 1063, 33.
- Rolph, G.D., 2003. Real-time Environmental Applications and Display System (READY) Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
- RESRAD versione 6.4 (2007), Argonne National Labs, IL, USA
- Simmonds, J.R., G. Lawson, A. Mayall, 1995. Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment. European Commission, Report EUR 15760 EN, Luxembourg.
- Turrini, A., C. Leclercq, A. D'Amicis, 1999. Patterns of food and nutrient intakes in Italy and their application to the development of food based dietary guidelines. British Journal of nutrition, n. 81, suppl. 2, pp 83-89.
- UNSCEAR, 1982. Sources and Effects of ionizing radiation. United Nations, New York.