

AMBIENTE E RADIOATTIVITÀ: SISTEMA NAZIONALE DI MONITORAGGIO

18|19

giugno 2015

Ministero dell'Ambiente
e della Tutela
del Territorio e del Mare



Valutazione di impatti radiologici da NORM *Parte 1: Metodi per la stima delle esposizioni*

sintesi a cura di **Flavio Trotti** - ARPAV

Task 03.02.01



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Autori

Flavio Trotti (Arpa Veneto)
Elena Caldognetto (Arpa Veneto)
Massimo Garavaglia (Arpa Friuli Venezia Giulia)
Concettina Giovani (Arpa Friuli Venezia Giulia)
Rosella Rusconi (Arpa Lombardia)
Enrico Chiaberto (Arpa Piemonte)
Elena Serena (Arpa Piemonte)
Mauro Magnoni (Arpa Piemonte)
Silvia Bucci (Arpa Toscana)
Ilaria Peroni (Arpa Toscana)
Luigi Vitucci (Arpa Puglia)
Giancarlo Torri (ISPRA)
Giuseppe Menna (ISPRA)
Jia Gougang (ISPRA)
Cristina Nuccetelli (ISS)
Giovanni Colombo (ENI)
Roberto Fresca Fantoni (ENI)

Cenni di normativa nazionale

- L'esposizione ai NORM (*Naturally Occurring Radioactive Materials*) è disciplinata in Italia dal Capo III-bis del dlgs 230/95 (modificato dal dlgs 241/2000)
- Viene individuato un insieme di attività lavorative soggette delle disposizioni
- Per le aziende che rientrano nell'elenco è prevista la valutazione della dose a lavoratori ed individui della popolazione a cura di un Esperto Qualificato; ove non sussista il rispetto dei livelli di azione, l'esercente è tenuto a comunicarlo agli organi di controllo e a intervenire (se possibile) per ridurre le esposizioni; in caso di inefficacia dell'intervento, l'attività lavorativa va trattata come pratica
- Il livello di azione è pari alla dose efficace individuale, rispettivamente, di 1 mSv/anno per i lavoratori e 0.3 mSv/anno per gli individui della popolazione
- Un'apposita commissione (mai insediata) ha l'incarico di produrre linee guida attuative del dispositivo legislativo

Cenni di normativa nazionale

Allegato I-bis: Lista delle lavorazioni soggette

- a) industria che utilizza **minerali fosfatici** e depositi per il commercio all'ingrosso dei fertilizzanti;
- b) **lavorazione di minerali** nella estrazione di stagno, ferro-niobio da pirocloro e alluminio da bauxite;
- c) lavorazione di **sabbie zirconifere** e produzione di materiali refrattari;
- d) lavorazione di **terre rare**;
- e) lavorazione ed impiego di **composti del torio** (elettrodi per saldatura, produzione di lenti, reticelle per lampade a gas);
- f) produzione di **pigmento al biossido di titanio**;
- g) **estrazione e raffinazione di petrolio e estrazione di gas.**

Cenni sulla Direttiva Europea 2013/59/Euratom



- La Direttiva dovrà essere recepita entro il febbraio 2018
- Le attività NORM sono ricomprese all'interno delle *planned exposure situations* (con approccio graduale, in funzione delle esposizioni, nel fissare il sistema regolatorio)
- Prima soglia per l'ingresso e l'uscita dal sistema regolatorio, pari a 1 Bq/g per i radionuclidi delle serie di U-238 e Th-232 in equilibrio secolare e 10 Bq/g per il K-40; seconda soglia in termini dosimetrici, corrispondente a 1 mSv/anno di dose efficace individuale per i lavoratori e le persone del pubblico
- Nelle lavorazioni che rientrano sistema regolatorio, la classificazione dei lavoratori segue le stesse regole delle altre *planned exposure situations* (non esposti, B, A e relativi intervalli di dose)

Cenni sulla Direttiva Europea 2013/59/Euratom



Ulteriori lavorazioni soggette

- a) Sistemi di **filtrazione delle acque sotterranee**
- b) Produzione **geotermica** di energia
- c) **Centrali a carbone** (manutenzione della caldaia)
- d) **Produzione di cemento** (manutenzione dei forni clinker)
- e) **Produzione del ferro primario**

Caratterizzazione livelli di radioattività



| <i>Segmento catena</i> | <i>Nuclidi considerati in equilibrio secolare</i> |
|------------------------|---|
| U-238+ | U-238, Th-234, Pa-234m |
| U-234 | U-234 |
| Th-230 | Th-230 |
| Ra-226+ | Ra-226, Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214 |
| Pb-210+ | Pb-210, Bi-210 |
| Po-210 | Po-210 |
| Th-232 | Th-232 |
| Ra-228+ | Ra-228, Ac-228 |
| Th-228+ | Th-228, Ra-224, Po-216, Pb-212, Bi-212, Po-212 (dir.), Tl-208 (dir) |
| <i>Catena intera</i> | <i>Segmenti di catena in equilibrio secolare</i> |
| U-238sec | U-238+, U-234, Th-230, Ra-226+, Pb-210+, Po-210 |
| Th-232sec | Th-232, Ra-228+, Th-228+ |

Evidenziate in giallo le semiserie determinabili tramite spettrometria gamma

Metodi di valutazione delle esposizioni: generalità

- I metodi proposti riguardano sia i lavoratori che la popolazione
- L'obiettivo è la valutazione della dose come da richiesta della normativa (D.Lgs 241/00, Direttiva Europea 2013/59), ma anche per altre situazioni d'interesse
- I metodi possono rispondere, peraltro, alla lacuna derivante dall'assenza dell'apposita Commissione di cui al d.lgs 241/00
- Nel documento principale vengono presentate applicazioni dei metodi qui descritti a varie lavorazioni NORM

Metodi di valutazione delle esposizioni per gli individui della popolazione: generalità

- Vengono considerate le esposizioni al pubblico derivanti dall'allontanamento di materiali solidi o dal rilascio di effluenti (in atmosfera o in corpo idrico) da parte dell'azienda NORM
- Si distinguono metodi di screening e stime specifiche
- Entrambi sono di tipo modellistico sia perché tipicamente da utilizzare in fase preventiva sia perché con le misure, trattandosi di radionuclidi naturali, difficilmente si riesce a discriminare il contributo dell'azienda NORM dal fondo ambientale; serve la caratterizzazione radiometrica della sorgente (radionuclidi delle serie di U-238, Th-232 e del K-40 nei materiali solidi/effluenti)
- I metodi di screening si basano su scenari aspecifici e parametrizzazioni generali, in ottica conservativa

Metodi di screening per i materiali solidi



Radiation Protection 122 part 2 (EC, 2001)

- Il rapporto introduce i Livelli generali di allontanamento GCLs (Bq/g), ovvero le concentrazioni di attività dei radionuclidi che, nelle condizioni più cautelative di allontanamento del materiale dall'azienda NORM, comportano una dose efficace individuale di 0.3 mSv/anno.
- Materiali con concentrazioni di attività inferiori ai GCLs possono essere riusati, riciclati, confinati in discarica senza restrizioni dal punto di vista radiologico
- Se ne derivano i coefficienti di dose di screening della tabella seguente (riferiti alla fascia d'età della popolazione più critica)
- I fattori non sono applicabili alla via di allontanamento dell'incenerimento e a materiali solidi diversi da residui/rifiuti (i.e. materie prime e prodotti)

Metodi di screening per i materiali solidi

Radiation Protection 122 part 2 (EC, 2001)

| <i>Radionuclide</i> | <i>Dose efficace [(mSv/anno)/(Bq/g)] Tutti i materiali</i> | <i>Dose efficace [(mSv/anno)/(Bq/g)] Fanghi dell'industria petrolio/gas</i> |
|-----------------------|--|---|
| Serie U-238 eq. Sec. | 0.6 | 0.06 |
| U-nat* | 0.06 | 0.003 |
| Th-230 | 0.03 | 0.003 |
| Ra-226+ | 0.6 | 0.06 |
| Pb-210+ | 0.06 | 0.003 |
| Po-210 | 0.06 | 0.003 |
| Serie Th-232 eq. Sec. | 0.6 | 0.06 |
| Th-232 | 0.06 | 0.003 |
| Ra-228+ | 0.3 | 0.03 |
| Th-228+ | 0.6 | 0.06 |
| K-40 | 0.06 | 0.003 |

* U-238+ con U-235 e U-234 in rapporto isotopico standard

Metodi di screening per gli effluenti

Radiation Protection 135 (EC, 2003)

- Il rapporto sviluppa scenari espositivi successivi al rilascio di effluenti in atmosfera/corpo idrico da azienda NORM derivando per i vari radionuclidi (tramite simulazione modellistica) dei coefficienti di dose di screening per gli individui della popolazione interessata dal rilascio, in ottica cautelativa
- Il rapporto calcola anche dei livelli di rilascio (GBq/anno) basati sul criterio di dose (efficace) di 300 μ Sv/anno
- Scenari contemplati: rilasci in atmosfera (a 10, 50, 100 e 200 m dal suolo), in fiume (con portata di 2.5, 100, 500 m³/s) e in mare (aperto o costiero)
- I coefficienti sono relativa alla fascia di età adulta della popolazione

Metodi di screening per gli effluenti - atmosfera

Radiation Protection 135 (EC, 2003)

Coefficienti di dose efficace individuale [(Sv/anno)/(GBq/anno)]

| <i>Radionuclide</i> | <i>Camino 10 m (altezza efficace)</i> | <i>Camino 50 m (altezza efficace)</i> | <i>Camino 100 m (altezza efficace)</i> | <i>Camino 200 m (altezza efficace)</i> |
|-----------------------|---|---|--|--|
| U-238+ | $2.2 \cdot 10^{-6}$ | $1.3 \cdot 10^{-7}$ | $2.5 \cdot 10^{-8}$ | $1.3 \cdot 10^{-8}$ |
| U-235+ | $2.4 \cdot 10^{-6}$ | $1.4 \cdot 10^{-7}$ | $3.2 \cdot 10^{-8}$ | $1.5 \cdot 10^{-8}$ |
| U-234 | $2.6 \cdot 10^{-6}$ | $1.5 \cdot 10^{-7}$ | $2.9 \cdot 10^{-8}$ | $1.5 \cdot 10^{-8}$ |
| Th-232 | $2.1 \cdot 10^{-5}$ | $1.4 \cdot 10^{-6}$ | $4.1 \cdot 10^{-7}$ | $1.6 \cdot 10^{-7}$ |
| Th-230 | $1.1 \cdot 10^{-5}$ | $5.9 \cdot 10^{-7}$ | $1.1 \cdot 10^{-7}$ | $6.0 \cdot 10^{-8}$ |
| Th-228+ | $3.2 \cdot 10^{-5}$ | $1.8 \cdot 10^{-6}$ | $3.2 \cdot 10^{-7}$ | $1.8 \cdot 10^{-7}$ |
| Pa-231 | $1.1 \cdot 10^{-4}$ | $6.3 \cdot 10^{-6}$ | $1.3 \cdot 10^{-6}$ | $6.6 \cdot 10^{-7}$ |
| Ra-228+ | $2.6 \cdot 10^{-6}$ | $2.0 \cdot 10^{-7}$ | $7.3 \cdot 10^{-8}$ | $2.4 \cdot 10^{-8}$ |
| Ra-226+ | $4.6 \cdot 10^{-6}$ | $4.1 \cdot 10^{-7}$ | $1.9 \cdot 10^{-7}$ | $5.5 \cdot 10^{-8}$ |
| Ac-227+ | $4.2 \cdot 10^{-4}$ | $2.3 \cdot 10^{-5}$ | $4.1 \cdot 10^{-6}$ | $2.3 \cdot 10^{-6}$ |
| Rn-222 | $2.0 \cdot 10^{-9}$ | $1.1 \cdot 10^{-10}$ | $1.9 \cdot 10^{-11}$ | $1.1 \cdot 10^{-11}$ |
| Rn-220 | $1.5 \cdot 10^{-7}$ | $8.2 \cdot 10^{-9}$ | $1.4 \cdot 10^{-9}$ | $8.2 \cdot 10^{-10}$ |
| Pb-210+ | $1.9 \cdot 10^{-6}$ | $1.9 \cdot 10^{-7}$ | $9.6 \cdot 10^{-8}$ | $2.7 \cdot 10^{-8}$ |
| Po-210 | $4.3 \cdot 10^{-6}$ | $3.8 \cdot 10^{-7}$ | $1.8 \cdot 10^{-7}$ | $5.2 \cdot 10^{-8}$ |
| Serie U-238 eq. Sec. | $2.7 \cdot 10^{-5}$ | $1.9 \cdot 10^{-6}$ | $6.3 \cdot 10^{-7}$ | $2.2 \cdot 10^{-7}$ |
| Serie U-235 eq. Sec. | $5.3 \cdot 10^{-4}$ | $2.9 \cdot 10^{-5}$ | $5.4 \cdot 10^{-6}$ | $3.0 \cdot 10^{-6}$ |
| Serie Th-232 eq. Sec. | $5.6 \cdot 10^{-5}$ | $3.4 \cdot 10^{-6}$ | $8.0 \cdot 10^{-7}$ | $3.6 \cdot 10^{-7}$ |

Metodi di screening per gli effluenti: fanghi di depurazione prodotti a seguito di rilascio in fogna

Uso fanghi in agricoltura

Si fa riferimento al rapporto NRPB 13/2 (UK, 2002), che introduce dei livelli di rilascio GDCs (Bq/anno) valutati (con modelli e calcoli semplificati) in modo conservativo, per rilasci da aziende con moderato impiego di sostanze radioattive; il criterio di dose adottato è di 0.3 mSv/anno (dose efficace)

Se ne derivano i coefficienti di dose efficace individuale $[(\mu\text{Sv}/\text{anno})/(\text{Bq}/\text{anno})]$ - fascia d'età della popolazione più critica

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| U-238+ | U-235+ | U-234 | Ra-226+ | Pb-210 | Po-210 |
| $6 \cdot 10^{-7}$ | $1 \cdot 10^{-6}$ | $6 \cdot 10^{-7}$ | $3 \cdot 10^{-5}$ | $4 \cdot 10^{-5}$ | $4 \cdot 10^{-6}$ |

E' possibile estendere l'uso di questi fattori (vedi documento principale) a casi di depuratori di varia dimensione (quello modellizzato serve 500 abitanti equivalenti)

Metodi di screening per gli effluenti: fanghi di depurazione prodotti a seguito di rilascio in fogna

Lavoratore del depuratore operante presso i fanghi

Stimati i coefficienti di dose di screening (vie di esposizione contemplate: irradiazione esterna, inalazione di particolato radioattivo e radon) tramite semplici algoritmi, in ottica conservativa

| Radionuclide | Dose efficace [(Sv/anno)/(Bq/anno)] |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Serie U-238 eq. Sec. | $2.0 \cdot 10^{-13}$ |
| U-nat* | $6.3 \cdot 10^{-15}$ |
| Th-230 | $2.0 \cdot 10^{-15}$ |
| Ra-226+ | $1.9 \cdot 10^{-13}$ |
| Rn-222** | $8.6 \cdot 10^{-15}$ |
| Pb-210+ | $3.6 \cdot 10^{-16}$ |
| Po-210 | $5.9 \cdot 10^{-16}$ |
| Serie Th-232 eq. Sec. | $2.9 \cdot 10^{-13}$ |
| Th-232 | $3.3 \cdot 10^{-15}$ |
| Ra-228+ | $1.0 \cdot 10^{-13}$ |
| Th-228+ | $1.8 \cdot 10^{-13}$ |
| K-40 | $1.7 \cdot 10^{-14}$ |

* U-238+ con U-235 e U-234 in rapporto isotopico standard; ** da sommare al coefficiente del Ra-226+

Stime specifiche per gli individui della popolazione

- Ove l'approccio di screening dia esiti prossimi/superiori al criterio di dose (0.3 mSv/anno dose efficace individuale) si devono operare stime specifiche. Si possono adattare gli scenari e le parametrizzazioni dei metodi di screening alle situazioni puntuali, o si può ricorrere a modellistica previsionale più sofisticata (con caratterizzazione accurata della sorgente e dei comparti ambientali di trasferimento)
- Per i materiali, un modello importante è Resrad che fornisce stime di dose relative al confinamento dei rifiuti in discarica
- Per gli effluenti, vanno citati: PC Cream per i rilasci in atmosfera a quote non superiori a 100 m e in fiume, ADMS per i rilasci in atmosfera a quote superiori a 100 m, Poseidon per i rilasci in mare

Metodi di valutazione della dose per i lavoratori: generalità

- Si propone una modalità semplificata per la stima di dose, utile soprattutto nel dimensionamento iniziale del problema; con opportune assunzioni sugli algoritmi (assenza di fattori di riduzione da uso di mascherina per la dose da inalazione, ...) e i parametri (tempo di permanenza nelle aree con materiale NORM, ...) si possono sviluppare valutazioni conservative

- La modalità proposta può basarsi su determinazioni empiriche o teoriche
- Il lavoratore può essere esposto a NORM per irradiazione esterna, inalazione di particolato, inalazione di gas radon:

$$E_{tot} = \sum_i (E_{irr,i} + E_{in,i}) + E_{Rn} \quad \text{Dose efficace individuale (Sv/anno)}$$

- Fondo ambientale (irradiazione esterna e radon): nelle misure va sottratto (salvo che il materiale NORM non sia così massicciamente presente da annullarne il contributo); in modalità predittiva non se ne tiene conto (il contributo del materiale NORM è desunto in modo selettivo)

Metodi di valutazione della dose per i lavoratori: irradiazione esterna

$$E_{irr} = \sum_i (D_{irr,i}) \cdot t_e \quad \text{con}$$

E_{irr} = dose efficace individuale per irradiazione esterna (Sv/anno);
 $\sum_i (D_{irr,i})$ = rateo di dose efficace per irradiazione esterna (Sv/h);
 t_e = tempo lavorativo (h/anno).

- Il rateo di dose efficace $\sum_i (D_{irr,i})$ può essere misurato mediante la grandezza operativa “rateo di dose equivalente ambientale $H^*(10)$ ”, assumendo un fattore di conversione pari a 1

- In modalità predittiva, i ratei per i singoli radionuclidi $D_{irr,i}$ possono essere stimati (per unità di concentrazione di attività del singolo radionuclide nel materiale NORM) sulla base di codici di calcolo (ad es. Microshield) o di valori tabulati (ad es. Eckermann, 1993).

Nel documento principale sono riportati esempi relativi a ‘cumulo di moderate dimensioni’ e ‘discarica’

Metodi di valutazione della dose per i lavoratori: inalazione

$$E_{in,i} = C_{m,i} \cdot t_e \cdot C_{dust} \cdot B_r \cdot D_{in,i} \quad \text{con}$$

$E_{in,i}$ = dose efficace individuale annua da inalazione per l'i-esimo radionuclide (Sv/anno);

$C_{m,i}$ = concentrazione di attività dell'i-esimo radionuclide nel materiale NORM (Bq/kg);

t_e = tempo lavorativo (h/anno);

C_{dust} = fattore di risospensione (kg/m^3), def. $1 \cdot 10^{-6}$;

B_r = rateo di inalazione (m^3/h), def. 1.2;

$D_{in,i}$ = coefficiente di dose per inalazione per l'i-esimo radionuclide (Sv/Bq) (Direttiva 96/29/Euratom - valori più restrittivi per AMAD 5mm) .

- Il fattore di risospensione C_{dust} può essere rimodulato a tenere conto di diluizioni (materiale non NORM si aggrega nel particolato sospeso) o arricchimenti (concentrazione di alcuni radionuclidi naturali nella frazione fine della polvere); C_{dust} può essere determinato sperimentalmente

- Si tratta di un metodo semplificato: si utilizza la concentrazione di attività dei radionuclidi NORM nel materiale presente in cumulo a terra; misure dirette di attività dei vari radionuclidi sul particolato sospeso sono più accurate

Metodi di valutazione della dose per i lavoratori: inalazione di gas radon

$$E_{Rn} = D_{Rn} \cdot t_e \cdot C_{Rn} \quad \text{con}$$

E_{Rn} = dose efficace per inalazione di Rn-222 (Sv/anno)

D_{Rn} = coefficiente di dose efficace per inalazione di Rn-222 [Sv/(Bq·h/m³)],
def. $5 \cdot 10^{-9}$;

t_e = tempo lavorativo (h/anno);

C_{Rn} = concentrazione di Rn-222 in aria (Bq/m³).

- La concentrazione di Rn-222 in aria può essere misurata (con dosimetri passivi o strumentazione attiva a seconda della strategia d'indagine) o valutata in modo predittivo: a questo scopo nel documento principale vengono presentati due algoritmi (tratti dal documento RP 122 part 2) che modellizzano i casi del cumulo di materiale e della scarica