



Interventi in aree contaminate da NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials)

Parte I – Definizione del problema e quadro normativo

Leandro Magro

ISPRA



Indice

1. Introduzione ai temi della radioattività naturale e della radioprotezione
2. Nuovi indirizzi internazionali in materia di NORM
3. Quadro normativo italiano sulle attività lavorative interessate dai NORM
4. Interventi

1. Introduzione ai temi della radioattività naturale e della radioprotezione

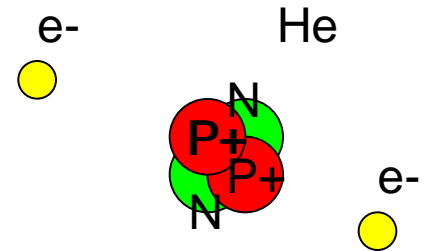
1.1 La radioattività in (*estrema*) sintesi

1.1.1 Nuclei instabili

Gli atomi sono costituiti da una nuvola elettronica esterna di carica negativa e da un nucleo centrale, di carica positiva. I nuclei sono a loro volta composti da particelle elettricamente cariche, i protoni, e da particelle neutre, dette appunto neutroni.

Non tutti i nuclei degli elementi presenti in natura sono stabili; alcuni nuclidi, trascorso un certo tempo, “*decadono*” spontaneamente e danno origine a fenomeni fisici di varia natura che, tuttavia, vengono raccolti sotto la comune definizione di “*radioattività*”.

Noi qui ci soffermeremo brevemente su fenomeni concernenti il tema della radioattività di origine naturale e sui materiali che ne contengono significative concentrazioni.



1.1.2 Decadimento alfa

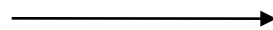
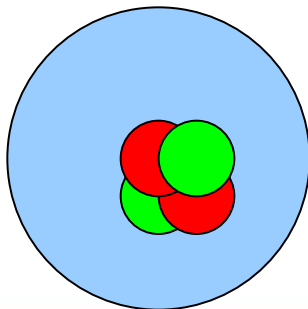
Nel decadimento di tipo alfa un intero nucleo di elio (2 protoni + 2 neutroni) viene violentemente espulso dal nucleo originale, che perde un numero di massa atomica A pari a 4. L'elemento chimico si trasforma in un altro più leggero.

Il numero atomico Z (carica positiva totale del nucleo) diminuisce di 2 unità, a causa della perdita di 2 protoni.

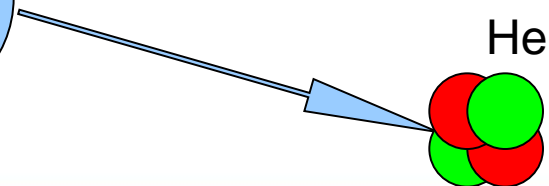
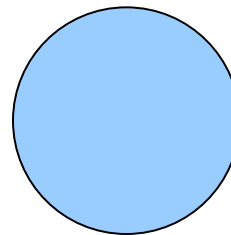
Es.: Po-210 \longrightarrow Pb-206 (stabile)

Il nucleo di elio emesso prende il nome di *radiazione α* .

Nucleo padre (Z, A)



Nucleo figlio ($Z-2, A-4$)

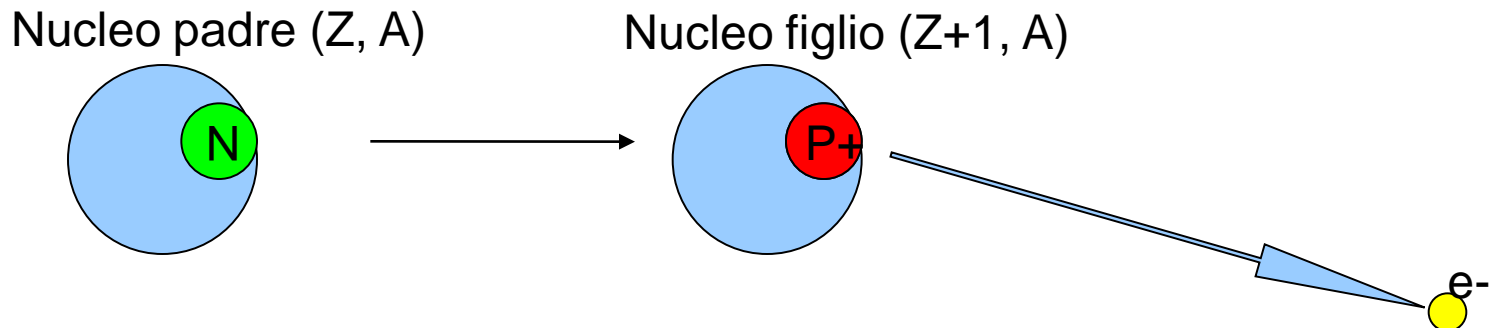


1.1.3 Decadimento beta

Nel decadimento di tipo beta più comune (β^-) un neutrone del nucleo si trasforma in protone.

Il numero atomico Z del nucleo aumenta in conseguenza della comparsa di una nuova carica positiva; la massa atomica resta invariata. La natura chimica dell'elemento cambia. Es.: $\text{Pb-210} \longrightarrow \text{Po-210}$

Un elettrone (carica elettrica $-e$) viene “sparato” con energia all'esterno (*radiazione β^-*).





1.1.4 Emissione di radiazione elettromagnetica

Spesso le trasformazioni nucleari sono accompagnate da emissioni di radiazioni elettromagnetiche (fotoni) molto energetiche* generate da transizioni da stati nucleari eccitati (emissioni di raggi gamma γ) o da riassetamenti degli stati elettronici profondi (emissioni di raggi x).

** La scala delle energie caratteristiche dei processi nucleari (e quindi delle radiazioni emesse) è milioni di volte superiore, come ordine di grandezza, a quella delle energie coinvolte nelle trasformazioni chimiche, anch'esse accompagnate dall'emissione di fotoni (righe di emissione luminosa nell'intervallo infrarosso ÷ ultravioletto)*



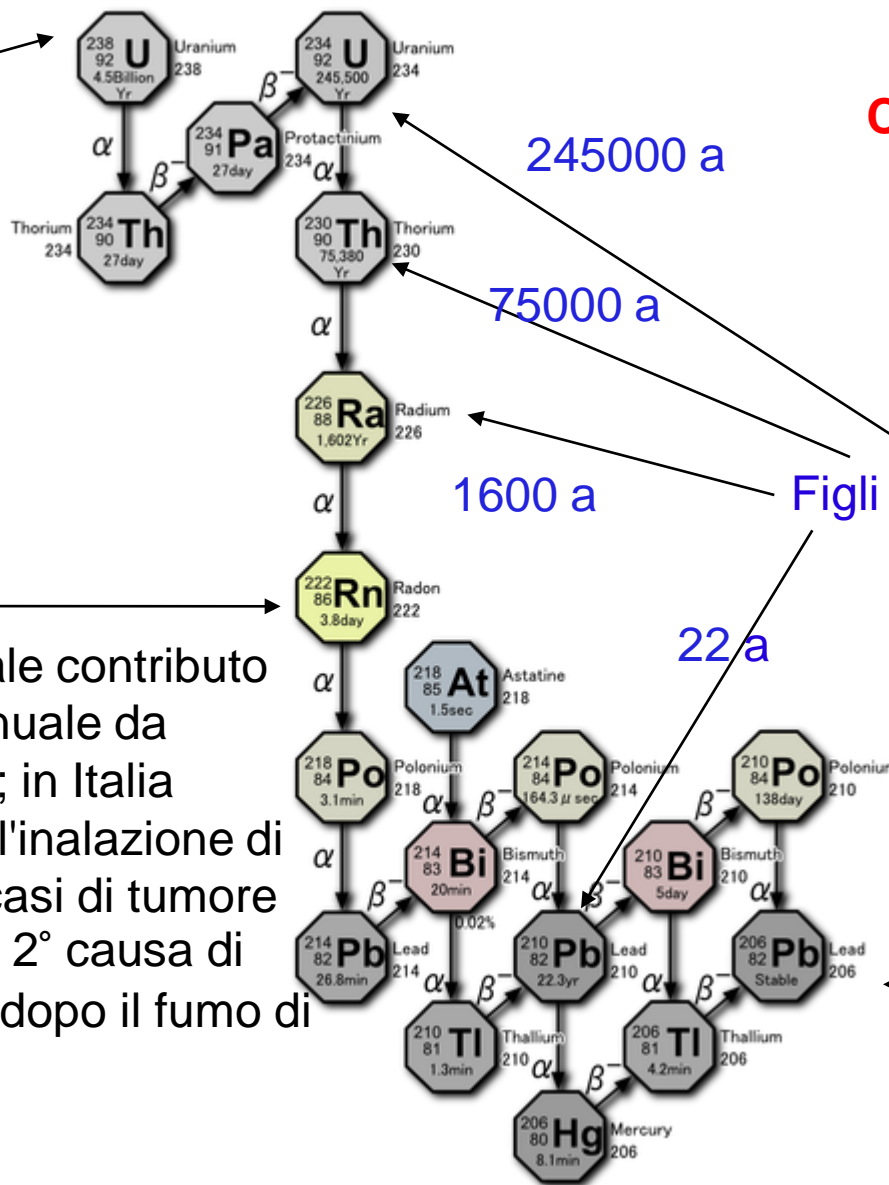
1.1.5 Le catene naturali di decadimento

I decadimenti spontanei degli isotopi instabili possono produrre una catena di decadimenti che procede da nucleo padre a nucleo figlio, finchè non si raggiunge un isotopo stabile che pone fine alla successione.

Nei NORM risultano particolarmente rilevanti le catene di decadimento dell'uranio e del torio naturali, elementi ubiquitari e relativamente diffusi nella crosta terrestre e, quindi, anche in alcuni minerali utilizzati per varie attività industriali, non rivolte allo sfruttamento delle loro proprietà radioattive.

Capostipite: **U-238**;
emivita = 4,5 miliardi
di anni (!)

Catena U-238



245000 a

75000 a

1600 a

Figli a lunga vita

22 a

Stabile (fine catena)

Radon.

Gas nobile; principale contributo alla dose media annuale da radionuclidi naturali; in Italia vengono attribuiti all'inalazione di Rn-222 migliaia di casi di tumore polmonare all'anno; 2° causa di cancro al polmone, dopo il fumo di sigaretta

1.1.6 Elementi di radioattività ambientale

Si definisce come **attività** di un dato quantitativo di materiale il numero di decadimenti radioattivi per unità di tempo (s) .

L'attività si misura in **Bequerel:= Bq** (decadimenti/s)

L'attività per unità di massa è detta **concentrazione (massica) di attività** e si misura in **Bq/kg**.

In un minerale tratto da un giacimento indisturbato per tempi di scala geologica, tutti gli elementi della catena naturale hanno avuto tempo sufficiente per portarsi in **condizione di equilibrio secolare** di attività con il capostipite. Tale condizione è caratterizzata dal fatto che **ogni elemento decade con una concentrazione di attività pari a quella del progenitore**.

I processi chimico/fisici, industriali o biologici, agendo selettivamente sui diversi elementi chimici, alterano l'equilibrio secolare.

segue.. 



Esempi di processi che alterano l'equilibrio secolare presente nel materiale (o nell'ambiente) di partenza:

- I processi industriali che prevedono trattamenti termici ad alta temperatura favoriscono l'emissione in atmosfera di elementi volatili a bassa T di fusione quali il Pb e il Po.
- Se il radon è lasciato libero di esalare dal materiale si realizza un impoverimento, progressivo nel tempo, delle concentrazioni di attività dei successivi radionuclidi della catena.
- Alcuni tipi di alga rossa accumulano selettivamente il torio.
- I mitili sono organismi bioaccumulatori di Pb-210 e Po-210.
- Il radio, chimicamente simile al calcio, viene accumulato nelle strutture scheletriche.
- In ambiente acquatico la solubilità dei composti dei vari radionuclidi varia molto diversamente in funzione dei parametri chimico-fisici; questo determina l'abbondanza delle relative concentrazioni di attività.



1.2 Elementi di radioprotezione

1.2.1 Effetti delle radiazioni ionizzanti

Tutti i tipi di emissione, α , β , γ , x , hanno il potere di ionizzare gli atomi dei materiali che attraversano, cedendo energia al loro passaggio.

Le particelle α vengono frenate completamente da uno strato di pochi cm di aria o da frazioni di mm di materia solida o tessuto organico.

Le particelle β percorrono distanze maggiori (pochi mm in Al) prima di cedere tutta l'energia.

I raggi γ e x sono tanto più penetranti quanto più sono energetici e possono attraversare da parte a parte il corpo umano.

1.2.2 Grandezze fisiche utilizzate in radioprotezione

Il passaggio di radiazioni ionizzanti all'interno dei tessuti produce danni cellulari in relazione alla quantità di energia ceduta e al tipo di radiazione.

L'energia per unità di massa trasferita al tessuto è detta **dose assorbita** e si misura in **Gray:= Gy** (Joule/kg). A causa del diverso comportamento nella cessione di energia, i vari tipi di radiazioni provocano danni diversi a parità di dose assorbita.

Es. 1Gy di radiazione alfa equivale a 20 Gy dovuti a radiazione gamma.

Per tale ragione il quantitativo totale di dose in un organo viene pesato secondo il tipo di ciascuna radiazione assorbita. La somma delle dosi pesate assorbite da un organo viene definita **dose equivalente** e si misura in **Sievert:= Sv**.

Ogni organo ha un definito peso nel computo del danno totale subito dall'organismo irraggiato. La somma pesata delle dosi equivalenti ai vari organi compone la cosiddetta **dose efficace** (Sv).

1.2.3 Effetti deterministici ed effetti stocastici (ICRP 103/2007)*

Effetto deterministico

L'induzione di reazioni tissutali avverse è, in linea generale, caratterizzata da una **dose soglia**. Al di sopra della dose soglia, la gravità della lesione (*n.d.r.: causata con certezza dalla radiazione = deterministica*), inclusa la diminuzione della capacità di recupero del tessuto, aumenta con la dose.

Per valori di dose assorbita fino a circa **100 mGy** (basso LET o alto LET) si ritiene che nessun tessuto esprima danni funzionali clinicamente rilevanti.

*Fonte: <http://airm.it/traduzione-della-ICRP-Pubblicazione-103.html>

Effetto stocastico

Per quanto riguarda le neoplasie, gli studi epidemiologici e sperimentali forniscono, anche se con incertezze, evidenze di rischio connesso con l'esposizione alle radiazioni a livelli di dose di circa 100 mSv o inferiori.

(n.d.r.: la dose efficace annua media dovuta al radon presente nelle abitazioni italiane è dell'ordine del mSv)

... il sistema pratico di protezione dalle radiazioni (...è...) basato sull'ipotesi che a dosi inferiori a circa 100 mSv **un dato incremento della dose produca un incremento direttamente proporzionale della probabilità di insorgenza di una neoplasia** o di effetti ereditari attribuibili alle radiazioni. Questo modello dose-risposta è generalmente noto come "**lineare senza soglia**" o **LNT** (*linear non threshold*).

Questo parere concorda con quello della UNSCEAR (2000).

*Fonte: <http://www.aim.it/Traduzione-della-ICRP-Publication-103.html>

1.2.4 Approccio radioprotezionistico nella valutazione dei problemi connessi alla radioattività

Le valutazioni di radioprotezione sono basate sulla stima delle dosi assorbite da individui esposti a radiazioni ionizzanti nell'ambito di scenari rappresentativi delle situazioni plausibilmente verificabili.

L'esistenza di effetti stocastici, per i quali non esiste una soglia minima di dose al di sotto della quale si possano escludere conseguenze per la salute delle persone esposte, impone una gestione dei problemi che miri alla minimizzazione del rischio; tuttavia si deve tenere nel dovuto conto il rapporto tra i benefici che si traggono intraprendendo un'azione e il detrimento imposto agli individui (es. i lavoratori) che la mettono in atto; si devono valutare attentamente anche l'impegno in termini di risorse umane ed economiche, la complessità dei controlli derivanti, le conseguenze politico/sociali. Gli interventi intrapresi per la minimizzazione del rischio vanno, cioè, ragionevolmente ottimizzati in funzione di molteplici parametri.

2. Nuovi indirizzi internazionali in materia di NORM

2.1 Revisione delle Euratom Basic Safety Standard Directives

2.1.1 European Commission Services considerations with regard to natural radiation sources in BSS Directive (01/2009)

La Commissione è impegnata in un'opera di riordino e aggiornamento di 5 Direttive allo scopo di riunificarle in un unico corpo.

La revisione è basata sull'esperienza maturata dall'adozione della BSS 96/29/EU e sulle raccomandazioni della nuova ICRP 103 del 2007.

La revisione delle EU BSS coincide col processo di revisione delle BSS internazionali da parte della IAEA.

La Commissione partecipa attivamente anche a questo processo di revisione allo scopo di favorire la massima armonizzazione della normativa a livello internazionale.



2.1.2 BSS 96/29/ Euratom

La Direttiva per la protezione dei lavoratori e della popolazione dai pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti è stata (obbligatoriamente) recepita dalle normative degli Stati Membri.

Per la prima volta, nel 1996, si prescrivono adempimenti concernenti l'esposizione a sorgenti naturali di radioattività (Title VII).

Il Titolo VII introduce il concetto di “*significativo incremento dell'esposizione dovuto a sorgenti naturali di radiazioni*”. Tuttavia **non si definiscono specifici livelli di concentrazione di attività o di dose**, al di sopra dei quali le esposizioni si debbano obbligatoriamente regolamentare.

Sistema graduale in cui gli Stati Membri devono individuare le **attività lavorative** interessate, mettere a punto appropriati mezzi di monitoraggio delle esposizioni e, ove necessario, applicare misure per la riduzione delle stesse.



Le **attività lavorative** interessate al trattamento di NORM sono così specificate:

a.l. riguardanti operazioni con, e stoccaggio di, materiali usualmente non considerati radioattivi, ma che contengono NOR che causano un significativo incremento dell'esposizione di lavoratori ed, eventualmente, di individui della popolazione.

a.l. che producono **residui** (**non rifiuti - n.d.r.**) usualmente non considerati radioattivi, ma che contengono NOR che causano un significativo incremento dell'esposizione di individui della popolazione ed, eventualmente, di lavoratori.

N.B.: Le **attività lavorative** sono distinte dalle **pratiche** che processano materiali per sfruttarne le specifiche proprietà radioattive. I **rifiuti radioattivi** derivano dalle pratiche.



2.1.2 Necessità di modificare l'attuale BSS

La Direttiva è stata recepita flessibilmente dagli Stati Membri lasciando molto (*troppo – n.d.r.*) spazio alle interpretazioni:

Conclusioni occasionalmente contrastanti su quali a.l. e NORM debbano essere assoggettati a regolamentazione e controllo.

Nella ICRP 103/2007 si distingue tra **situazioni di esposizione pianificate** (es: industrie NORM) e **situazioni di esposizione esistenti** (es.: siti contaminati da residui NORM provenienti da a.l. non più attive e che, al tempo della produzione, non erano regolamentate)

Ci si muove all'interno di un coerente quadro di radioprotezione, venendo ad attenuarsi l'originale netta distinzione tra *pratiche* con radionuclidi *artificiali* e a.l. con NORM.

2.1.3 Specificità dei NORM

Specifiche condizioni vengono tuttavia poste nella regolamentazione per i NORM, basate sul fatto che le sorgenti naturali di radiazioni sono ubiquitarie nell'ambiente e non sempre è agevole **distinguere l'aumento di esposizione dovuto alle specifiche a.l. o agli interventi dal contributo del sussistente fondo naturale di radiazioni.**

Inoltre si deve tenere conto che:

- nel caso dei NORM, è molto improbabile il verificarsi di eventi accidentali gravi;
- esistono normali regole di controllo, di igiene e di sicurezza nello svolgimento delle attività industriali che possono efficacemente prevenire molti dei rischi connessi al trattamento dei NORM.



2.1.4 NORM esplicitamente trattati nella nuova BSS

NORM usati o processati in **specifiche industrie** o usati come **materiali da costruzione**

2.1.4 Caratteristiche dei materiali

Criterio di dose per l'esenzione nelle industrie NORM:

1 mSv/y per i lavoratori - 0.3 mSv/y per il pubblico

“... **Assessing doses from NORM activities can be complicated**, in particular doses to members of the public. **Exemption levels based on activity concentrations** are therefore proposed:

Tav.1: Naturali

Serie U-238	1 Bq/g
Serie Th-232	1 Bq/g
K-40	10 Bq/g

...workers or members of the public will **generally** not receive doses higher than 1 or 0.3 mSv/y respectively if the activity concentrations are lower than the values in **Table 1, except for particular situations such as exposure due to building materials containing natural radionuclides ...**”



Affermazioni problematiche:

Values in Table 1 ... **are based essentially on the distribution of concentrations in the earth's crust...**

Es: fosfogessi $A = (0.5 \div 1.3) \text{ Bq/g}$

Some individual elements in the decay chain, e.g. **Po-210 or Pb-210**, may warrant the use of values significantly higher than those in Table 1, by up to two orders of magnitude

Esamineremo nei casi studio presentati nella seconda parte perché tali affermazioni possano non ricoprire validità generale.



2.1.4 Attività lavorative NORM nella nuova BSS

A.I. contemplate, anche parzialmente, nella normativa italiana:

Thermal phosphorus production
Production of phosphate fertilisers
Phosphoric acid production

Zircon and zirconia industry

Production of thorium compounds
and manufacture of thorium containing
products

TiO₂ pigment production

Oil and gas production

Tin/lead/copper smelting

A.I. non contemplate nella normativa italiana:

Processing of niobium/tantalum ore

Cement production, maintenance of
clinker ovens

Coal-fire power plants, maintenance
of boilers

Primary iron production

Ground water treatment



3. Quadro normativo italiano sulle attività lavorative con NORM (D.Lgs. 230/95 + D.Lgs. 241/2000)

3.1 Capo III-bis (D.Lgs. 241/2000)

3.1.1 Allegato I-bis: Elenco delle attività lavorative NORM

- a) industria che utilizza minerali fosfatici e depositi per il commercio all'ingrosso di 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, per quanto concerne elettrodi per saldatura con torio, produzione di lenti o vetri ottici e reticelle per lampade a gas
- f) produzione di pigmento al biossido di titanio
- g) estrazione e raffinazione di petrolio ed estrazione di gas, per quanto concerne presenza e rimozione di fanghi e incrostazioni in tubazioni e contenitori.



3.1.2 Regolamentazione delle attività lavorative

Il Capo III-bis regola le a.l., individuate nella lista precedente; in particolare:

- Obbliga l'esercente ad effettuare misure e valutazioni preliminari, verificando l'eventuale superamento di determinati **livelli d'azione** (v.dopo)
- Affida alla figura dell'**esperto qualificato, incaricato dall'esercente**, il compito di eseguire le valutazioni e di individuare le misure protettive da adottare, nonché le **azioni di rimedio** eventualmente necessarie per ridurre le dosi di lavoratori esposti ed eventualmente di persone del pubblico



3.1.2 Livelli di azione

Definizione: Valore di concentrazione di radon in aria o di dose efficace, il cui superamento richiede l'adozione di **azioni di rimedio** che riducano tale grandezza a livelli più bassi di quello fissato.

Per i luoghi di lavoro (v. lista) il livello di azione è fissato

per i lavoratori: **1 mSv/a**

per le persone del pubblico: **0.3 mSv/a**



4. INTERVENTI

4.1 Confronto con i nuovi indirizzi internazionali

4.1.1 Art 126-bis: Interventi nelle esposizioni prolungate

Nelle situazioni che comportino un'**esposizione prolungata** dovuta agli effetti di un'**emergenza radiologica** oppure di una **pratica non più in atto** o di un'**attività lavorativa**, di cui al Capo III-bis, **che non sia più in atto**,

le **autorità competenti per gli interventi ai sensi della legge 24 febbraio 1992, n. 225**, adottano i provvedimenti opportuni,

tenendo conto dei **principi generali di cui all'art. 115-bis**,...



4.1.2 Confronto con ICRP 103/2007*

... “La Commissione ha in passato distinto tra **pratiche, che aggiungono dosi**, e **interventi, che le riducono** (ICRP, 1991b).

La Commissione oggi opta per un approccio basato sulla situazione per caratterizzare le eventuali situazioni in cui l'esposizione alle radiazioni può verificarsi come **situazione di esposizione**

programmata

di emergenza

esistente

questo approccio utilizza un unico insieme di principi fondamentali di protezione per tutte queste situazioni (vedi Sezione 5.6).”

*Fonte: <http://www.airm.it/Traduzione-della-ICRP-Publication-103.html>



... Il termine *'pratica'* è tuttavia diventato ampiamente diffuso nella radioprotezione e la Commissione continuerà a usare questo termine per indicare un'**attività che causa un aumento dell'esposizione alle radiazioni o del rischio di esposizione alle radiazioni.**

..... E' implicito nel concetto di pratica che le sorgenti delle radiazioni che essa introduce o mantiene possano essere controllate direttamente mediante l'adozione di misure applicate alla sorgente medesima.



Il termine *'intervento'* è altrettanto diffuso nella radioprotezione ed è stato incluso negli standard nazionali e internazionali per descrivere **situazioni in cui si adottano misure protettive** per ridurre le esposizioni.

La Commissione ritiene che sia più appropriato circoscrivere l'uso di questo termine per descrivere **azioni** protettive (*v. azioni di rimedio quando nelle a.l. si superano i livelli di azione - nd.r.*) che riducono l'esposizione, mentre suggeriscono i termini **'emergenza'** o **'esposizione esistente'** per indicare **situazioni di esposizione** radiologica in cui tali misure protettive sono necessarie per ridurre le esposizioni.



Comparando i due testi si evince che nella normativa italiana

- L'intervento è visto, come da tradizione, cioè come *situazione* e di conseguenza è gestito con regole specifiche
- La situazione in cui si inquadra l'*intervento* NORM in un grande sito di bonifica è quella tipica della cessata attività dell'azienda
- Anche nel caso in cui l'azienda detenga ancora la proprietà dell'area contaminata da NORM, l'intervento per ridurre le dosi non si configura come un'azione di rimedio nell'ambito di una pratica/attività lavorativa, ma deve *(dovrebbe)* essere attuata la procedura descritta nell'art. 126-bis



L'art. 126-bis prescrive che il Prefetto debba adottare i provvedimenti opportuni, tenendo conto dei principi per la gestione delle situazioni d'intervento enunciati nell'art. 115-bis (v. dopo)

La legge 225/1992 riguarda la protezione civile; l'intervento come situazione è inquadrato in un ambito di emergenza (Capo X del D.Lv.230 e sm.i) e viene gestito con quel quadro di riferimento, tanto è vero che i livelli di dose devono essere definiti di caso in caso, a seconda delle necessità e delle reali situazioni operative. (ISPRA + ISS + ISPEL)

L'autorità del Prefetto si sovrappone e confligge con le autorità che gestiscono i Siti di Bonifica d'Interesse Nazionale, anche perché il Prefetto dovrebbe gestire il problema radioprotezionistico decontestualizzato dai problemi d'inquinamento chimico, spesso più rilevanti.

Il conflitto si acuisce quando la normativa radioprotezionistica, flessibilmente basata sull'ottimizzazione, caso per caso, si interseca con la rigida normativa *tabellare* che regola le bonifiche.



4.1.3 Principi generali per gli interventi (art. 115-bis)

In caso di esposizione prolungata... devono essere rispettati i seguenti principi generali:

a) **giustificazione**: la diminuzione dell'esposizione giustifica i danni e i costi, anche sociali, dell'intervento

b) **ottimizzazione**: massimizzazione del rapporto

beneficio sanitario/danno

c) rispetto dei **limiti di dose**, da fissare in relazione al caso specifico (tenuto conto di (a) e (b))



Chi deve progettare l'intervento nel caso dei NORM?

In sede di Conferenza dei Servizi si è più volte ribadito che le Aziende responsabili di sostenere le spese dell'intervento devono incaricare un esperto qualificato;

Agli Istituti preposti, cioè ISPESL, ISPRA e ISS spetta il compito di analizzare il piano proposto dall'esperto qualificato ed eventualmente prescrivere le modifiche necessarie.

E nel caso di contaminazione di aree demaniali?

Nella seconda parte della presentazione si vedrà se e come tutto questo complesso meccanismo stia funzionando, attraverso l'analisi di casi reali.