

Problemi di radioprotezione dovuti alla presenza di rocce uranifere

ARRIGO A. CIGNA (*)

RIASSUNTO

Dopo aver brevemente richiamato le caratteristiche delle radiazioni ionizzanti, è riportata la famiglia radioattiva dell'uranio con i relativi tempi di dimezzamento. Sono poi indicate le vie di propagazione del radon e le caratteristiche dei suoi prodotti di decadimento. Viene richiamato il Decreto Legislativo sulla radioprotezione che stabilisce i limiti di concentrazione del radon negli ambienti di lavoro sotterranei e i modi per rispettare i limiti di dose. Sono riportati i valori medi *indoor* della concentrazione di radon in alcune province italiane indicando la mancanza di correlazione tra questa e l'incidenza di tumori all'apparato respiratorio. In conclusione il rispetto dei limiti di dose efficace alle persone è un problema che va risolto opportunamente per i lavoratori in galleria, mentre all'esterno esso non si pone neanche.

TERMINI CHIAVE: *radon, uranio, rocce uranifere, radioprotezione, tumori apparato respiratorio.*

ABSTRACT

Problems of radiation-protection connected with the occurrence of U-bearing rocks.

Some characteristics of the ionizing radiation are reported as well as the radioactive family of uranium. The pathways of radon from rock into the environment are indicated and the half-lives of radon decay products are given. The concentration and dose limits established by the Italian law on radiation protection are recalled. After having summarised the average radon concentration in some Italian districts, the lack of any correlation between radon concentration and breathing organs cancer is illustrated. In conclusion the compliance of the radiation protection limits is a problem to be solved for underground workers but it does not exist outdoors.

KEY WORDS: *radon, uranium, uranium rock, radiation protection, breathing organs cancer.*

LE RADIAZIONI IONIZZANTI

La radioattività viene di solito associata ad un pericolo grave senza approfondire gli aspetti sia qualitativi che quantitativi che sono indispensabili per una valutazione ragionevole del problema. Infatti le radiazioni ionizzanti hanno caratteristiche molto diverse che comportano comportamenti altrettanto diversi.

In particolare le radiazioni **alfa** sono totalmente schermate da qualche centimetro di aria e da pochi centesimi di millimetro di roccia. Le radiazioni **beta** sono un po' più penetranti e ci vogliono poche decine di centimetri d'aria o pochi decimi di millimetro di roccia per bloccarle. Le radiazioni **gamma**, essendo onde elettromagnetiche al contrario delle precedenti che sono invece delle

particelle, non vengono mai assorbite totalmente, ma subiscono una riduzione notevole già ad una distanza, in aria, di alcune decine di metri dalla sorgente o di alcuni decimetri di roccia.

LE ROCCE URANIFERE

Queste rocce contengono quantità variabili di uranio a seconda del tipo di minerale. Le rocce della Val di Susa hanno concentrazioni di uranio dell'ordine di qualche parte per milione (ppm). Infatti le ricerche di minerali di uranio condotte in Italia intorno alla metà del secolo scorso avevano portato allo scavo di saggi che poi non avevano avuto seguito proprio per la concentrazione troppo bassa per consentirne un uso per scopi industriali.

Comunque l'Uranio-238 decade in: Radio-226 che decade in Radon-222 che decade a sua volta in diversi altri radionuclidi. I tempi di dimezzamento di questi radionuclidi sono riportate nella tab. 1.

Appare subito evidente che mentre i primi due decadono piuttosto lentamente, il radon si dimezza in pochi giorni. Questo significa che, in pratica, la quantità di uranio e di radio non diminuisce di fatto sulla scala dei tempi umani, mentre il radon nel giro di una settimana si riduce circa ad un quarto della concentrazione iniziale.

Mentre l'uranio ed il radio sono dei solidi, il radon è un gas, in particolare un gas nobile quindi chimicamente inerte, che pertanto può fuoriuscire dalla roccia e diffondersi nell'aria.

LE VIE DI RILASCIO DEL RADON

Il radon, prodotto dal decadimento del radio, può fuoriuscire dalla roccia soltanto se vi è una qualche via di comunicazione che gli consente il passaggio all'atmosfera. Quindi soltanto quello rilasciato nelle fratture della roccia o alle superfici esposte può giungere direttamente dalla roccia all'atmosfera. Appare subito evidente come questa via di propagazione sia poco importante.

Se la rete di fratture, faglie e altre discontinuità è molto sviluppata la superficie di rilascio può diventare abbastanza estesa e, conseguentemente, il rilascio di radon può essere maggiore.

Tuttavia la via di propagazione più importante del radon è costituita dal trasporto nell'acqua che percola nella massa rocciosa. Infatti il radon è abbastanza solubile in acqua e, quindi, questa può raccogliere quantità notevoli trasportandolo anche a distanze non piccole. Il limite spaziale dipende dalla velocità del flusso d'acqua in quanto il

(*) Strada Bottino 2, Fraz. Tuffo - 14023 Cocconato (Asti), e-mail: arrigocigna@tiscali.it

TABELLA 1

Radionuclide	Tempo di dimezzamento
Uranio 238	$4,5 \times 10^9$ anni
Radio 226	1600 anni
Radon 222	3,8 giorni

TABELLA 2

Radionuclide	Tempo di dimezzamento
Polonio 218	26,8 minuti
Piombo 214	3,11 minuti
Bismuto 214	19,8 minuti
Polonio 214	$1,6 \times 10^{-4}$ sec
Piombo 210	22,3 anni
Bismuto 210	5,01 giorni
Piombo 210	138 giorni
Piombo 206	(stabile)

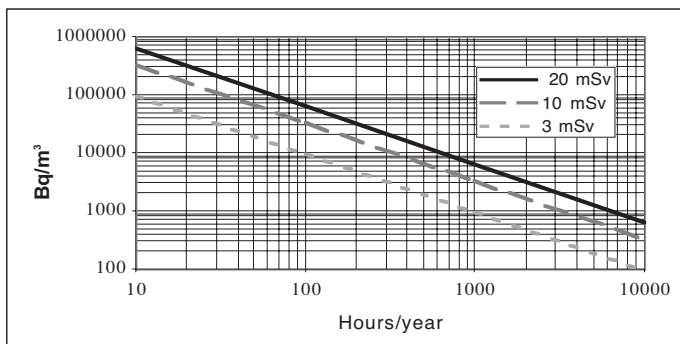


Fig. 1 - Tempi di permanenza in un ambiente in funzione della concentrazione di radon, per assicurare il rispetto di tre limiti di dose. - *Time to be spent in an environment to comply with three values of dose limit, in function of the radon concentration.*

TABELLA 3

Concentrazione media «indoor» di radon in alcune province (1982-1988) (SCIOCCHETTI, 1988)
 - *Indoor radon concentration in some provinces (1982-1988)*
 (SCIOCCHETTI, 1988)

Provincia	Bq/m ³	Provincia	Bq/m ³
Viterbo	96,8	Pavia	93,5
Ferrara	72,6	Cagliari	65,4
Roma	58,3	Napoli	42,8
Milano	38,5	Bergamo	33,3
Pisa	27,9	Pescara	23,4
Matera	22,5	Aosta	21,4
Catanzaro	19,3	La Spezia	18,4
Bari	18,2	Udine	17,9
Vicenza	17,6	Vercelli	16,5
Genova	15,3	Torino	13,5
Bologna	12,4	Livorno	10,0

radon decade, come si è visto, con un tempo di dimezzamento di 3,8 giorni.

Per esempio se l'acqua ricca di radon impiegasse 10 volte questo tempo (cioè 38 giorni) la concentrazione iniziale del radon si ridurrebbe di un fattore 1000.

Una volta che l'acqua, ricca di radon disciolto, fuoriesce dalle fratture o dai condotti, e venendo a contatto con l'atmosfera rilascia il radon.

I FIGLI DEL RADON

Com'è stato detto in precedenza il radon è un gas nobile e quindi, come tale, non dà origine a composti chimici quando è a contatto con gli organismi. D'altra parte essendo un emettitore alfa, queste particelle hanno uno scarsissimo potere penetrante, per cui la dose all'organismo può essere rilasciata soltanto per una contaminazione interna.

Il radon, però, decade a sua volta in una serie di successori fino ad arrivare ad un isotopo stabile del piombo. Nella tab. 2 sono riportati i principali radionuclidi di questa catena.

Sono proprio questi prodotti di decadimento a rilasciare una dose all'organismo in quanto essi sono dei solidi con una buona tendenza ad aderire a qualsiasi superficie. In questo modo questi radionuclidi, già presenti in atmosfera, aderiscono alle pareti degli alveoli polmonari quando vengono inalati con la respirazione. Possono così entrare in circolo nei diversi organi irraggiando poi le cellule dal loro interno.

LA LEGGE SULLA RADIOPROTEZIONE

Il Decreto Legislativo 26 Maggio 2000, n. 241, attua una direttiva EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti. Questo decreto contiene in particolare delle disposizioni che si applicano alle attività lavorative in presenza di sorgenti naturali di radiazioni con esposizione non trascurabile dal punto di vista della radioprotezione. Queste sono: tunnel, sottovie, catacombe, grotte e ambienti sotterranei in genere.

Il decreto fissa così il limite di 500 Bq/m³ per il radon in atmosfera. Nel caso in cui questo valore della concentrazione venisse superato i lavoratori sono sottoposti a controlli dosimetrici in modo che la loro dose efficace non superi i 3 mSv/anno. Il rispetto dei limiti sopra citati viene assicurato con la ventilazione degli ambienti sotterranei o con una limitazione del tempo di permanenza nell'ambiente stesso. In fig. 1 sono indicati i tempi di permanenza massimi in funzione della concentrazione del radon che assicurano il rispetto di tre limiti di dose, rispettivamente, di 3, 10 e 20 mSv.

LA CONCENTRAZIONE MEDIA «INDOOR» IN ALCUNE PROVINCE

La concentrazione del radon all'aperto è generalmente molto bassa e si aggira su qualche Bq/m³. In ambienti chiusi, invece può aumentare considerevolmente in quanto il radon viene rilasciato sia dal sottosuolo che dai materiali da costruzione.

Negli anni scorsi sono state fatte diverse campagne di studio per determinare i valori medi della concentrazione di radon nelle abitazioni in Italia. Nella tab. 3 sono riportati ottenuti da un'indagine degli anni '80.

Come si può notare questi valori medi variano di un ordine di grandezza, il che significa che la variabilità

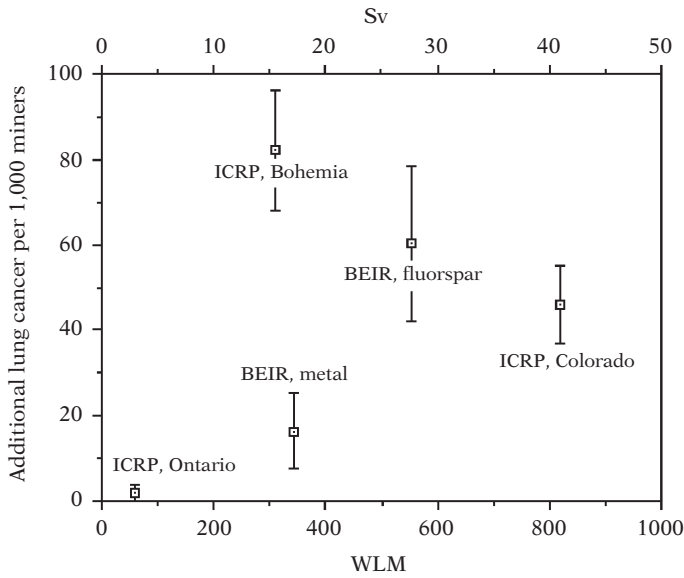


Fig. 2 - Numero di tumori addizionali per 1000 minatori (limite di conf. 95%) in funzione della dose accumulata espressa in Sv o WLM. (da: BEIR, 1972 e ICRP 1987).
 - Additional lung cancer per 1,000 miners (95% confidence limits) vs. the mean cumulated exposure in WLM or Sv. From data by BEIR-I, 1972 and ICRP 50, 1987).

locale può essere ben maggiore raggiungendo anche due o tre ordini di grandezza.

LA MORTALITÀ DA TUMORI NELL'APPARATO RESPIRATORIO

L'insorgenza di tumori all'apparato respiratorio è stata studiata per i minatori che hanno lavorato in miniere di uranio. In fig. 2 sono riportati alcuni incrementi del numero di tumori in funzione della dose da radon per alcune miniere.

Come si può notare vi è una notevole dispersione dei punti sperimentali a causa di fattori locali che influiscono massicciamente sulla correlazione. Si tratta comunque di valori di dose piuttosto elevati e ben lontani da quelli che si riscontrano normalmente nelle abitazioni.

Per quanto riguarda queste ultime, l'esistenza di un'eventuale correlazione con la mortalità da tumori nell'apparato respiratorio era stata ricercata (CIGNA, 1989) utilizzando i dati originali delle concentrazioni medie indoor prima indicate, e la mortalità da tumori calcolata da CAMNASIO & FACCHINI (1985). Nelle figg. 3 e 4 sono riportati i risultati di tale ricerca.

Risulta del tutto evidente la mancanza di qualsiasi correlazione tra le due grandezze. Tale assenza di correlazione è stata peraltro confermata da estese ricerche di COHEN (1997) svolte su più della metà delle contee degli USA comprendendo oltre il 90% dell'intera popolazione.

L'assenza di correlazione tra la concentrazione di radon, per i valori normalmente riscontrati all'interno delle abitazioni, con l'insorgenza di tumori all'apparato respiratorio mostra come gli effetti sanitari ipotizzati per le basse dosi secondo il criterio prudenziale di una correlazione dose-effetti lineare senza soglia (la cosiddetta «LNT hypothesis», Linear No Threshold) siano con tutta evidenza sovrastimati.

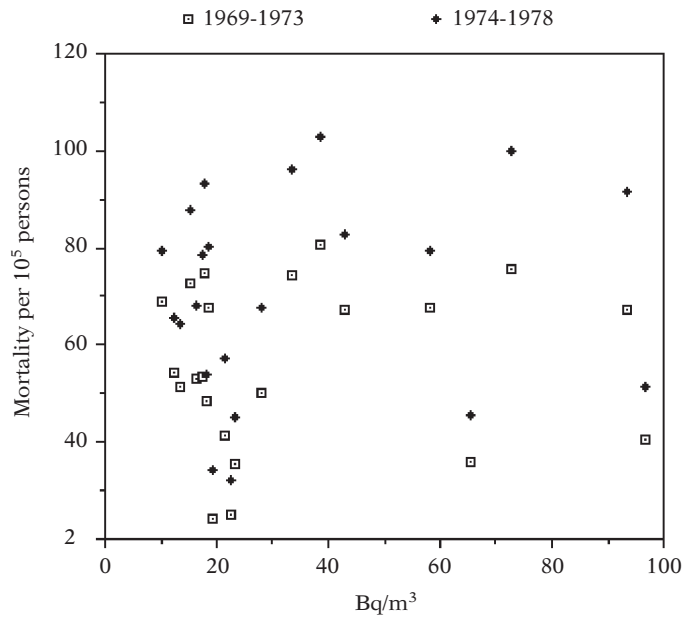


Fig. 3 - Mortalità da cancro all'apparato respiratorio in Italia (uomini) (CIGNA, 1989).
 - Male mortality for trachea, bronchus and lung cancer for some Italian districts against the indoor radon concentration (CIGNA, 1989).

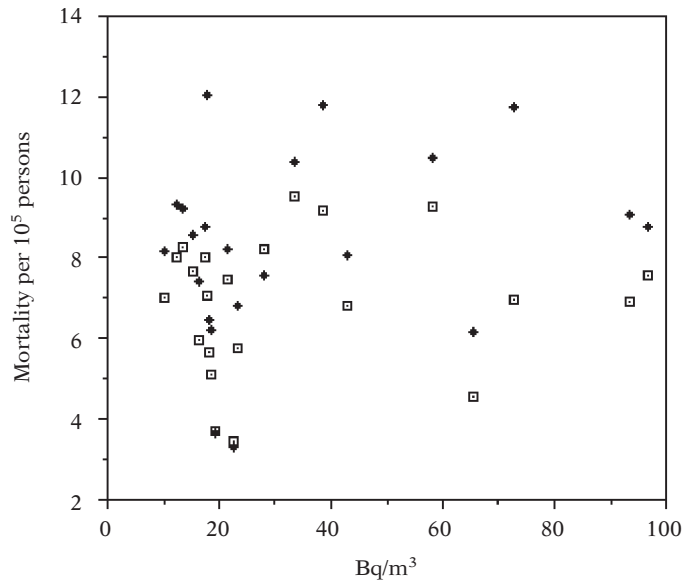


Fig. 4 - Mortalità da cancro all'apparato respiratorio in Italia (donne) (CIGNA, 1989).
 - Female mortality for trachea, bronchus and lung cancer for some Italian districts against the indoor radon concentration (CIGNA, 1989).

IL RADON EMANATO DALLE ROCCE DELLA VAL DI SUSIA

Nel corso delle indagini svolte recentemente in relazione agli studi preliminari sulla TAV, sono stati raccolti molti campioni dalle di perforazioni. Questi campioni («carote» nel gergo tecnico) sono custodite in depositi (carototeche) per ulteriori studi. La concentrazione media del radon in questi ambienti nel periodo Febbraio-Maggio 2005 è risultata essere minore di 19 Bq/m³ cioè pari a quelle più basse riscontrate nelle province italiane.

Ciò conferma i valori piuttosto bassi di concentrazione di radon che ci si può aspettare nel corso dello scavo delle gallerie.

CONCLUSIONE

Si è visto che la dose da radiazioni ionizzanti sia dovuta essenzialmente al radon rilasciato dal decadimento del radio presente nella roccia. La concentrazione del radon dipende ovviamente dalla concentrazione del radio e dai contributi delle diverse vie di propagazione. In galleria si provvede a mantenere tale concentrazione entro i limiti prescritti dalla legge mediante ventilazione. Pertanto il rispetto dei limiti di dose efficace alle persone è un problema che va risolto opportunamente per i lavoratori in galleria.

Il radon rilasciato dagli inerti estratti dallo scavo in galleria, si diluisce in aria e si disperde rapidamente nell'atmosfera senza dare origine a fenomeni di accumulo. In questo modo la concentrazione del radon scende a qualche Bq/m³.

Per questo motivo all'esterno non si raggiungono mai valori tali da dover mettere in atto provvedimenti di ra-

dioprotezione. Non si dimentichi a questo proposito l'assenza di correlazione tra bassi valori di concentrazione di radon ed effetti sanitari alla popolazione.

BIBLIOGRAFIA

- BEIR I. (1972) - *The effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiation*. National Academy of Sciences. National Research Council, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations. National Academy Press, Washington, D.C.
- CAMNASIO M. & FACCHINI U. (1985) - *Mortalità per tumori nelle province italiane*. Vol. 1°: quinquennio 1969-1973; Vol. 2°: quinquennio 1974-1978. Rapporto Ist. Fis. Gen. Appl. Univ. Milano.
- CIGNA A.A. (1989) - *Some remarks on the significance of low doses*. Radiation Protection: Advances in Yugoslavia and Italy. Proc. of a Symp. AIRP-YRPA, Udine, June 1988. ENEA, Roma, Serie Simposi: 239-247. Anche come: Rapporto ENEA RT-PAS-89-29.
- COHEN B. (1997) - *Lung cancer rate vs. mean radon level in U.S. counties of various characteristics*. Health Phys., **72** (1), 114-119.
- ICRP (1987) - *Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters*. Publication 50, Annals of the ICRP, **17** (1), Pergamon Press.
- SCIOCCHETTI G. (1988) - Comunicazione personale.