

## Presenza di materiali pericolosi: uranio e radon

Massimo Zucchetti<sup>1</sup>

In questo articolo vogliamo occuparci di alcuni problemi di radioprotezione relativi alla realizzazione dell'alta velocità, connessi in particolare con il passaggio del traforo in formazioni geologiche con presenza di minerale d'uranio, in Valle di Susa e nelle valli vicine. Qui, la ricerca di giacimenti minerali uraniferi iniziò già alla fine degli anni Cinquanta- primi anni sessanta<sup>2</sup>. Negli anni settanta, la zona fu oggetto di ricerca da parte dell'Agip per le sue potenziali caratteristiche uranifere<sup>3</sup>. Studi più recenti sono quelli svolti dall'ARPA di Ivrea (Agenzia Regionale Protezione Ambiente), effettuati su tutti i siti a rischio della Val di Susa e nei vari cantieri dell'AEM, nel 1997. Le misurazioni effettuate hanno riscontrato una concentrazione di attività nelle rocce che – sebbene assai contenuta – può essere comunque rilevante ai fini radioprotezionistici per il caso in esame – come si dimostrerà, concentrazione più elevata di quella di attività in molte rocce non uranifere.

Il Radon e i suoi figli - generati dalla serie dell'Uranio 238 - sono responsabili per circa 1.2 mSv/anno di fondo naturale, ed in particolare per circa il 75% dell'irraggiamento interno e per circa il 50% di quello totale, che risulta essere di circa 2.4 mSv/anno<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> Professore ordinario, Protezione dalle Radiazioni, Politecnico di Torino.

<sup>2</sup> Si veda ad esempio:

[1] G. Borello, “*Permesso di ricerca Rocca d'Ambin per minerali di uranio e torio in alcuni comuni della Valsusa*”, Diverse Relazioni per Somiren SpA. e Agip SpA Attività Minerarie. S.Donato Milanese (MI) 1959/1960.

[2] Sergio Lorenzoni, “*Studio geo-petrografico del versante italiano del Massiccio d'Ambin*”. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Centro Nazionale per lo Studio Geologico e Petrografico, Società Cooperativa Tipografica, Padova, 1965, in particolare: pp.79-80. <http://www.legambientevalsusa.it/Images/uranio-amianto/cnr65.jpg>

[3] Stefano Zucchetti, *Studio Geo-minerario delle zone radioattive nel deposito di Traversella, (Torino)*, L'Industria Mineraria, anno XI, 2, 1960, pp.887-909.

[4] Stefano Zucchetti, *Uranium-Bearing Bodies in the Ore Deposits of Travesella (Italy)*, Economic Geology, vol. 56, n.8 (1961) pp. 1469-1471.

[5] Stefano Zucchetti, *Primi risultati ottenuti nella studio della mineralizzazione radioattiva del deposito di Traversella (Torino)*. Rendiconti della Società Mineralogica Italiana, anno XVII (1961) pp.599-604.

[6] Stefano Zucchetti, *Su una zona uranifera con allanite nel deposito di Traversella (Torino)*. Rendiconti della Società Mineralogica Italiana, anno XVIII (1962) pp. 3-10.

<sup>3</sup> Emilio Pacchiarotti, “*Relazione Geomineraria e Programma dei lavori relativi al permesso di ricerca per minerali di uranio e di torio denominato Rocca d'Ambin*”, AGIP S.p.a., S. Donato Milanese, 15 aprile 1977.

<sup>4</sup> C. Polvani, *Elementi di radioprotezione*, ENEA, Roma, 1987.

I gas radioattivi liberati durante il decadimento delle famiglie dell'Uranio, dell'Attinio e del Torio (Radon – 219, Radon – 220, Radon – 222) vengono per l'appunto introdotti nell'organismo principalmente per inalazione. Il decadimento dell'  $^{238}\text{U}$  è responsabile della produzione, tramite il passaggio da alcuni prodotti intermedi di cui l'ultimo è il radio, che decade  $\alpha$ , dell'isotopo  $^{222}\text{Rn}$ ; l' $^{235}\text{U}$  dà origine a  $^{220}\text{Rn}$  e  $^{232}\text{Th}$  dà origine a  $^{220}\text{Rn}$ . Il maggior contributo della dose alla popolazione è dato dal  $^{222}\text{Rn}$  avendo gli altri isotopi un bassissimo tempo di dimezzamento. Il Radon produce a sua volta isotopi metallici radioattivi, di cui i più importanti sono:  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Bi}$ ,  $^{210}\text{Po}$ , la cui reattività chimica li porta a legarsi con il pulviscolo atmosferico che, una volta inalato dall'uomo, si fissa alle mucose polmonari. I delicati tessuti si trovano allora in immediato contatto con gli isotopi radioattivi emettitori di particelle  $\alpha$ , il cui irradiazione risulta pericoloso. Essi perciò, depositati sulle superfici dell'apparato respiratorio, particolarmente nell'area tracheobronchiale, causano assorbimento di radiazioni.

L'esposizione alle radiazioni ionizzanti è fonte di rischio per gli esseri viventi. Esso è proporzionale alla dose assorbita, ma è anche strettamente legato al tipo di radiazione incidente e alla radiosensibilità dei vari organi e tessuti irradiati. La pericolosità della radiazione, intesa come potenzialità di indurre un danno ai tessuti biologici è infatti differente a seconda della tipologia di radiazione incidente. Gli effetti delle radiazioni sull'uomo possono essere classificati come effetti di tipo immediato o ritardato. Per i primi esiste una soglia, al di sopra della quale si manifesta l'effetto ed è definita una funzione dose-gravità. Per i secondi, legati ad esposizioni a dosi inferiori alle soglie richieste per gli effetti immediati, non è definibile una soglia di esposizione, hanno però caratteristica di causare un aumento alla probabilità di comparsa del danno, e non alla sua entità. Sono questi gli effetti cui è legata l'inalazione di radon e dei suoi prodotti di decadimento, per i quali il rischio connesso è appunto lo sviluppo di danni ritardati, nella fattispecie, l'insorgenza di neoplasie a carico dell'apparato respiratorio.

In questa parte del lavoro ci si interessa appunto al rischio da Radon per inalazione in ambienti chiusi<sup>5</sup>. Come citato, l'assunzione per inalazione o ingestione di radon, essendo un

---

<sup>5</sup> I rischi da inquinamento indoor da gas radon sono da imputare principalmente ai prodotti di decadimento che, essendo metalli pesanti, tendono a legarsi al corpuscolo aereo; per questo motivo si fa spesso differenza tra rischi per fumatori e per non fumatori. Infatti il particolato aspirato durante il fumo si lega con particelle attive ed irradia i polmoni provocando dei danni biologici.

radionuclide, aumenta la probabilità di insorgenza di alcune patologie, quali, ad esempio, certe forme di neoplasia (tumore) e di mutazioni genetiche<sup>6</sup>.

Alla luce di quanto detto, nasce la necessità di stimare la possibile concentrazione di radon all'interno del tunnel di cui si prevede la costruzione, al fine di verificare che le dosi assorbite dagli individui durante la permanenza nel tunnel si mantengano al di sotto dei livelli di azione fissati dai decreti legislativi di riferimento. Prima necessità è allora la conoscenza del dato di concentrazione d'uranio nelle rocce, o quanto meno del suo valore massimo. Il progetto della realizzazione in una zona caratterizzata da minerale d'uranio di un doppio tunnel della lunghezza di 52 Km rende necessaria una campagna di misurazione e rilevazione delle concentrazioni di Uranio mediante carotaggi a profondità e distanze adeguate, per potere valutare l'effettiva dose in cui potrebbero incorrere gli utenti dell'opera in esame. A questa andrebbe aggiunta una valutazione dei meccanismi di trasporto del Radon (e progenitori) attraverso le acque sotterranee.

Del rischio radiologico a cui sono esposti i lavoratori bisogna tenere conto con attenzione<sup>7</sup>: anche se venisse confermata una presenza considerevole di gas radon nelle gallerie, essa non costituirebbe di per sé una prova della presenza nelle immediate vicinanze di grossi quantitativi di uranio, perché, come ricordato, il radon può compiere tragitti non trascurabili a partire dal luogo in cui è stato prodotto e raggiungere quindi concentrazioni elevate in zone dove è scarsa la ventilazione. Così come anche la presenza di concentrazioni modeste di uranio nelle rocce non porta a escludere elevate concentrazioni di radon nei locali, radon che può essere stato prodotto altrove e successivamente trasportato. Sebbene i lavoratori dei cantieri di un tunnel convenzionale (e non di una miniera d'uranio) possano a prima vista non sembrare, esposti a particolare rischio radiologico legato alla presenza di minerali di Uranio, il radon può costituire un effettivo pericolo, in base alle osservazioni fatte sulla sua mobilità e in assenza di accorgimenti atti ad evitarne l'accumulo.

I valori riportati dalle varie misurazioni di radioattività in vari siti della zona non sono tali da poter essere trascurati in linea di principio, in quanto, sebbene alcuni valori rilevati

---

<sup>6</sup> Esperimenti su animali compiuti dal 1951 dimostrarono la potenziale carcinogenità del radon per i polmoni delle specie testate. Rilevamenti epidemiologici tra i minatori di uranio, dalla metà degli anni sessanta, hanno infine confermato questo potenziale sull'uomo; l'Organizzazione Mondiale per la Salute ne diede conferma nel 1988. Dal 1967 il Congresso Federale per la Ricerca degli Stati Uniti ha proposto delle raccomandazioni per controllare i rischi correlati alle radiazioni in miniera. La legislazione italiana, nelle sue più recenti prescrizioni, dedica ampio spazio alla tutela dei lavoratori da rischio dovuto ad inalazione di Radon.

<sup>7</sup> Per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori a concentrazione di attività di radon si applica per legge il fattore convenzionale di conversione  $3 \cdot 10^{-9}$  Sv di dose efficace per unità di esposizione espressa in Bq h m<sup>3</sup> di dose efficace.

siano bassi, il tipo di attività costruttiva che si prevede abbia luogo può causare esposizioni non trascurabili, specie per quanto riguarda i lavoratori addetti alla costruzione dell'opera. Alla luce di quanto stabilito dai decreti 230/95 e 241/2000<sup>8</sup>, particolare attenzione va posta nei confronti dei lavoratori.

Va garantito il rispetto dei limiti d'azione posti di:

- 500 Bq/m<sup>3</sup>;
- 3 mSv/y;

Il Decreto legislativo 26/05/2000 n° 241 (pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 31/08/2000), è integrazione del precedente Decreto Legislativo n° 230 del 17/03/1995 in materia di radiazioni ionizzanti. Il decreto in questione ha recepito la direttiva 96/29 Euratom del 13/05/1996 in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti. Al Capo III bis il decreto disciplina, ai fini della sicurezza dei lavoratori e, dove occorra, della popolazione, le attività lavorative nelle quali sono presenti sorgenti naturali di radiazioni (quali, appunto, il radon):

*a) attività lavorative durante le quali i lavoratori e, eventualmente, persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in particolari luoghi di lavoro quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei;*

Obiettivo di questa parte del lavoro è proprio il calcolo della dose impegnata da un individuo presente a vario titolo nella galleria indicata, attraverso delle valutazioni parametriche, in modo da tenere conto del variare di tutte le grandezze che possono influenzarne il risultato finale. Per ottenere questi risultati utilizzerà un codice di calcolo fornito dal DOE americano, RESRAD<sup>9</sup>.

Si è deciso di analizzare più nel dettaglio un caso specifico, caratterizzato dai valori di:

- spessore delle fondamenta pari a 20 cm;

---

<sup>8</sup> Per quanto riguarda il radon il campo di applicazione della normativa si limita solamente ai locali adibiti ad attività lavorative e rimangono escluse le abitazioni civili chiarendo espressamente il fatto che una collaboratrice domestica non è equiparata a lavoratore dipendente.

<sup>9</sup> Questa, le precedenti versioni, i manuali d'uso e gli altri codici RESRAD sono disponibili all'indirizzo <http://web.ead.anl.gov/resrad>. Il codice permette di procedere a valutazioni parametriche che evidenzino l'importanza, in particolare, di ventilazione e concentrazione di radionuclidi, al fine di mantenere le dosi all'uomo al di sotto dei limiti scelti. L'uso del programma prevede che la caratterizzazione del sito contaminato avvenga attraverso l'inserimento di valori numerici per numerosi parametri (porosità del terreno, permeabilità, spessore ed estensione dello strato contaminato, ecc...). Il calcolo della dose tiene conto delle diverse vie d'esposizione. Per l'esposizione al radon vengono considerati dei parametri di inalazione tra cui i più importanti sono la durata dell'esposizione e il tempo per cui si rimane all'interno della struttura considerata per il calcolo. Per quest'ultima bisogna inserire le dimensioni e la profondità dal livello del suolo.

- concentrazione di attività di Uranio pari a 0.0265 Bq/g.

Questi valori paiono verosimili, in particolare il valore di concentrazione si riferisce alle misurazioni condotte dall'AEM durante i sopralluoghi all'interno di una galleria di servizio, posta poco distante da Venaus e dall'abitato di Exilles<sup>10</sup>. Si tratta di un valore estremamente contenuto, se si pensa che la media mondiale di concentrazione di U nelle rocce è stimata essere 0.025 Bq/g.

In corrispondenza di questi valori, la quantità di dose assorbita a causa della permanenza all'interno del tunnel supera la soglia d'intervento in assenza di inadeguata ventilazione<sup>11</sup>, arrivando in particolare ad un valore di dose efficace equivalente di circa 197 mSv/y, assolutamente non realistico, data l'assenza totale di ventilazione. L'abbattimento della dose sotto i due valori critici è assicurato dai valori di ricambio d'aria indicati in tabella:

soglia	3 mSv/y	1 mSv/y
<i>Air exchange</i> necessario (1/h)	0.374	0.868

*Tabella.*

*Valori di air exchange sufficienti ad abbattere la dose sotto i valori soglia.*

Questi risultati devono essere commentati alla luce di ulteriori considerazioni.

- Il lavoro – visto l'argomento trattato – ha dovuto addentrarsi in questioni tecniche di carattere molto specialistico e che suonano sicuramente ostiche ai non iniziati. Tuttavia, sono state volutamente riportate anche queste parti, necessarie per arrivare alle conclusioni; ciò anche per dimostrare – casomai ve ne fosse il bisogno – la fondatezza delle tesi sostenute e il non trascurabile fatto che anche in assenza di grandi mezzi finanziari – sed cum grano salis – si può giungere ai risultati scientifici necessari allo scopo.

<sup>10</sup> Lettera dell'ARPA Piemonte, Dipartimento Subprovinciale di Ivrea, a Legambiente, su "Risultati analisi campione di roccia", a firma Mauro Magnoni e Giampaolo Ribaldi Ivrea, 9.10.1997, rif. 1372/IR 93, prot. n.3065. Reperibile al sito: <http://www.legambientevalsusa.it/Images/uranio-amianto/arpa.jpg>. ARPA Piemonte, Dipartimento Subprovinciale di Ivrea, "Relazione tecnica sul problema della radioattività in Val di Susa". Relazione n. 193/IR (1998); trasmessa al Prefetto di Torino, alla Regione Piemonte e all'ARPA Piemonte Dip. Grandi Rischi, con lettera dell'ARPA Piemonte, Dipartimento Subprovinciale di Ivrea, a firma Giampaolo Ribaldi del 19.2.1998, rif. IR/49, prot. 1798.

<sup>11</sup> Come citato, il calcolo è condotto riferendosi sempre ad uno scenario che prevede un orario di 1500 ore lavorative l'anno, per un totale di 11400 m<sup>3</sup>/y inalati, massa inspirata per ogni inalazione 0,0001 g/m<sup>3</sup>, frazione di tempo passata al chiuso sulla zona contaminata 0,17 e considerando che la durata dell'esposizione sia di un solo anno.

- I risultati cui si giunge sono d'interesse perché danno un'indicazione dell'ordine di grandezza delle dosi ricevute dal gruppo critico, che risulta essere costituito dai lavoratori addetti allo scavo del tunnel.
- Il problema del rischio da radon è sottolineato dalla normativa vigente; anche in presenza di piccole concentrazioni di precursori del gas (cioè di uranio), negli ambienti sotterranei si possono avere dosi non trascurabili: infatti, i livelli di azione posti dal D.Lgs. 241/2000 sono stringenti, e anche in ambienti nei quali non si abbia presenza diretta di minerali di uranio, essi possono risultare difficili da rispettare. In presenza di quantità piccole di minerale di Uranio, il problema relativo alla presenza del gas viene accentuato. Particolare attenzione va posta nei confronti della possibile dose cui incorrono i lavoratori: va garantito il rispetto dei limiti d'azione che sono posti a  $500 \text{ Bq/m}^3$  (concentrazione di Radon in aria del tunnel) oppure  $3 \text{ mSv/y}$  (dose da radiazione per i lavoratori addetti)
- Si è cercato di evitare l'utilizzo di dati non confermati o apparentemente esagerati, sia sulle concentrazioni dell'elemento che sugli effetti del radon sulla salute, attenendosi invece prudentemente – per le prime - a misurazioni di concentrazione effettuate da parti terze in tempi non sospetti, come ad esempio quelle AEM per la galleria di Venaus.
- I risultati ottenuti smentiscono i timori più gravi, evidenziando come vi siano mezzi a disposizione per ridurre il rischio da radon negli scenari considerati: basta ovviamente esserne consapevoli e porli in essere affrontandone il costo.
- D'altra parte, gli stessi risultati mettono in evidenza come il rischio da esposizione da radon nell'ambiente sotterraneo considerato non sia trascurabile: abbiamo a che fare con una pratica di rilevanza radioprotezionistica, secondo la Legge vigente.
- Vi sono in sostanza situazioni probabili nelle quali la presenza di Radon nel tunnel può superare le concentrazioni stabilite dalla Legge come livello di azione, o, in altre parole, nelle quali l'esposizione dei lavoratori possa risultare superiore al livello di azione.
- Ad esempio: concentrazioni molto basse di Uranio (pari a circa  $26 \text{ Bq/kg}$ , tali da far definire la roccia in questione di trascurabile radioattività) provocano concentrazioni di Radon nel tunnel tali che – per non superare il limite di dose per la popolazione o lavoratori non esposti stabilito dalla Legge – sarebbe necessario ricambiare almeno ogni ora circa l'intero contenuto di aria del tunnel.

- E' appena il caso di evidenziare come queste evenienze (lavoratori soggetti a rischio da radiazioni ionizzanti, e quindi da classificare come professionalmente esposti), o anche i mezzi atti ad evitarle (bonifica della galleria con ricambi forzati di aria, limitazione della permanenza, etc.) provocherebbero difficoltà nella gestione del rischio connesso e una grande lievitazione dei costi di gestione dell'opera.
- Queste valutazioni – come è pratica normale degli Studi di Impatto Ambientale - vanno effettuate prima di intraprendere qualunque azione di scavo, oltretutto in quanto si è evidenziato come proprio i lavoratori addetti all'opera siano la categoria più esposta al rischio.