



RADIAZIONI IONIZZANTI

La radioattività è una componente naturale dell'ambiente a cui tutti gli esseri viventi sono esposti; la contaminazione radioattiva, invece, è l'immissione nell'ambiente di sostanze radioattive artificiali utilizzate dall'uomo.

Grazie al monitoraggio sistematico della radioattività ambientale è possibile affermare che in Lombardia i livelli di radiocontaminazione dovuti alla radioattività artificiale non sono sostanzialmente significativi; per la radioattività naturale è attualmente in corso una campagna di rilevamento del radon finalizzata alla valutazione dei livelli di questo gas, quale principale fonte di esposizione alle radiazioni ionizzanti naturali negli ambienti confinati.

Il termine *radiazione* viene abitualmente usato per descrivere fenomeni apparentemente assai diversi ma connessi con la propagazione di energia nello spazio quali, ad esempio, l'emissione di luce da una lampada, di calore da una fiamma, di particelle da una sorgente radioattiva. *Le radiazioni ionizzanti* sono dotate di energia sufficientemente elevata da modificare la configurazione elettronica della materia che attraversano, ovvero da ionizzare gli atomi che incontrano sul loro percorso. La capacità di ionizzare e di penetrare all'interno della materia dipende dall'energia e dal tipo di radiazione nonché dal materiale col quale avviene l'interazione. Nel caso dei tessuti biologici tale interazione può portare ad un danneggiamento delle cellule. Spesso il danno viene riparato dai normali meccanismi di difesa dell'organismo, ma in alcuni casi le cellule possono risultare compromesse con il risultato che si possono avere effetti sanitari sugli individui esposti. La radioattività è una componente naturale dell'ambiente cui tutti gli esseri viventi sono da sempre costantemente esposti; solo recentemente, in particolare con lo sviluppo delle nuove tecnologie degli ultimi 60-70 anni, alla radioattività naturale si è aggiunta la radioattività artificiale. Tra le diverse fonti di radiazioni ionizzanti, quella che contribuisce maggiormente è la radioattività naturale (*fondo naturale di radiazioni*), di origine extraterrestre e terrestre. La prima è costituita dai raggi cosmici, provenienti sia dal profondo spazio interstellare che dal sole; la componente di origine terrestre è presente nelle rocce, nei minerali e nelle acque fin dalla formazione della crosta terrestre ed è fortemente variabile da luogo a luogo in dipendenza della conformazione geologica delle diverse aree; ne consegue che anche alcuni materiali da costruzione possono essere *sorgenti di radioattività* (granito, pietra pomice, tufo, ecc.). E' questa la componente che contribuisce maggiormente alla radioattività ambientale in particolare con il Radon, uno dei principali inquinanti indoor per il quale è già stata condotta una prima indagine su scala nazionale e sono attualmente in corso ulteriori indagini finalizzate all'individuazione delle *Radon prone areas* ovvero zone a più elevata probabilità di alta concentrazione.

La contaminazione radioattiva, ovvero l'immissione nell'ambiente di sostanze radioattive artifi-

ciali, può avere diverse origini connesse con i diversi utilizzi da parte dell'uomo dei materiali radioattivi quali quelli in medicina per la diagnostica o per la terapia, quelli in campo industriale o nella ricerca, quelli in agrobiologia, in archeologia, in geologia, nella prospezione mineraria o in campo militare.

Nel territorio italiano il rischio di contaminazione derivato dall'uso del nucleare per la produzione di energia elettrica è ristretto ad eventuali incidenti che possono avvenire in centrali all'estero in quanto, a seguito dell'incidente di Chernobyl e del risultato referendario del 1987, il settore energetico nucleare in Italia ha avuto un arresto; tutte le centrali nucleari italiane - fra le quali quelle di Caorso e Trino Vercellese, contigue al territorio lombardo - sono state infatti dismesse ed i rifiuti radioattivi sono in fase di smaltimento in condizioni di massima sicurezza.

Possibile contaminazione radioattiva può essere derivata dalla sperimentazione in atmosfera di ordigni nucleari, avvenuta fra gli anni '40 e gli anni '80 con picchi attorno agli anni '60, per la ricaduta di *radioisotopi* sia a emivita breve che lunga.

L'uso di sorgenti radioattive nelle tecnologie industriali e mediche genera, infine, due tipologie di problematiche: una connessa con il trasporto, la dismissione e lo smaltimento delle sorgenti sigillate e l'altra connessa con le sorgenti non sigillate quali i rifiuti radioattivi a bassa attività, allo stato solido o liquido (gli scarichi ospedalieri controllati, le deiezioni dei pazienti sottoposti ad indagine con sostanze radioattive, ecc.). L'interazione delle radiazioni ionizzanti con il materiale biologico può portare ad effetti certi, chiamati *deterministici*, che si verificano al di sopra di determinate soglie di esposizione molto elevate quali quelle che si possono avere in seguito ad incidenti di rilevante entità e portano a lesioni gravi ad organi e tessuti. Gli effetti correlati a valori di esposizione che si possono verificare nella vita comune sono invece detti *stocastici*, ovvero non certi ma con una certa probabilità di verificarsi. Gli effetti si distinguono inoltre in *somatici*, ovvero che interessano l'individuo esposto, e *genetici*, ovvero che ricadono eventualmente sulla discendenza dell'individuo esposto.

16.1 RADIOATTIVITÀ ARTIFICIALE

Il processo di controllo sistematico della radioattività ambientale di origine antropica si è consolidato dopo l'incidente nucleare di Chernobyl del 1986. In Lombardia è oggi attiva una rete di monitoraggio il cui scopo è quello di evidenziare eventuali stati di contaminazione derivati da una non corretta gestione delle sostanze radioattive da parte delle strutture autorizzate, o da incidenti e rilasci incontrollati verificatisi anche a notevole distanza dal sito di campionamento. Le principali matrici sottoposte a controllo sono l'aria, le ricadute umide e secche (*fall-out*), le acque superficiali e ad uso potabile, il terreno e gli alimenti.

La radiocontaminazione dell'atmosfera è il primo segnale della dispersione nell'ambiente di radionuclidi artificiali, come avviene in caso di esplosioni nucleari in atmosfera e di rilevanti incidenti presso centrali nucleari; per questo motivo riveste particolare importanza il monitoraggio dello stato di radiocontaminazione del particolato atmosferico e delle ricadute umide e secche (*fall-out*) che consente una tempestiva conoscenza di un eventuale fenomeno in atto e permette di procedere all'attuazione dei necessari provvedimenti.

Il monitoraggio giornaliero del particolato atmosferico (PTS) e dei gas in atmosfera ha lo scopo di evidenziare possibili eventi anomali in corso: il suo significato è pertanto essenzialmente quello di fungere da sistema d'allarme in tempo quasi reale. Attraverso questa rete, ad esempio, sono state rilevate concentrazioni anomale in atmosfera di ^{137}Cs ; l'indagine che ne è seguita ha consentito di individuare quale fonte di contaminazione la fusione di sorgenti radioattive in acciaierie.

Proprio per poter disporre di campioni da analizzare in caso di emergenza conclamata ed ottenere un quadro della distribuzione geografica della contaminazione, nell'ambito del sistema regionale delle emergenze radiologiche è stato individuato un punto di campionamento in continuo del particolato atmosferico per ogni provincia lombarda.

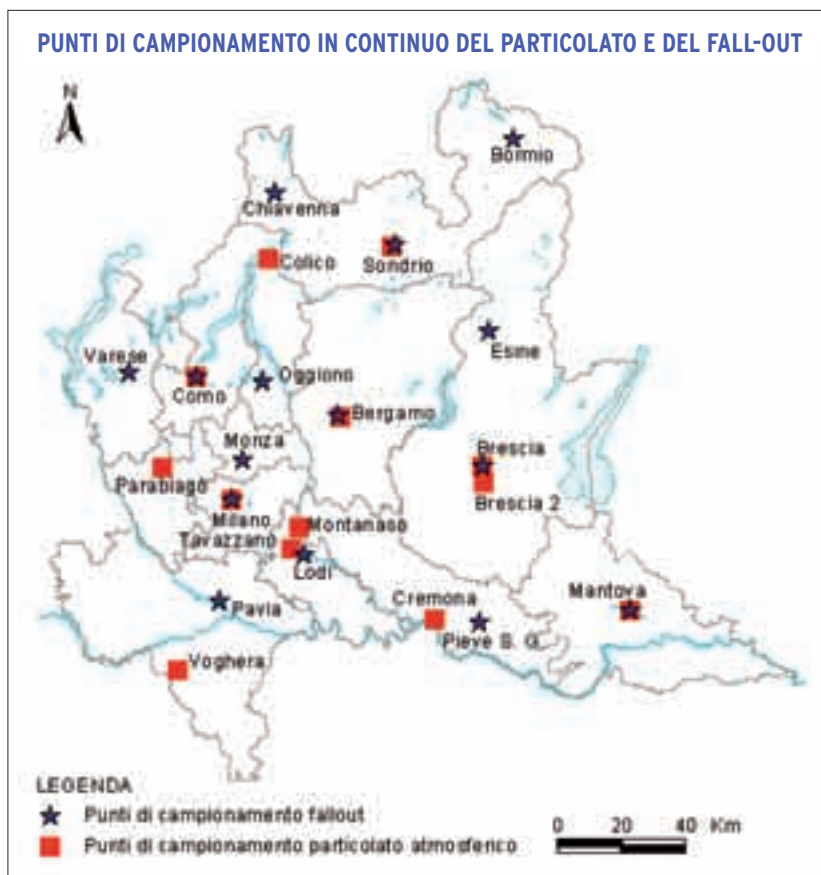
Il monitoraggio della deposizione umida e secca



Fonte: OMS

Figura 1

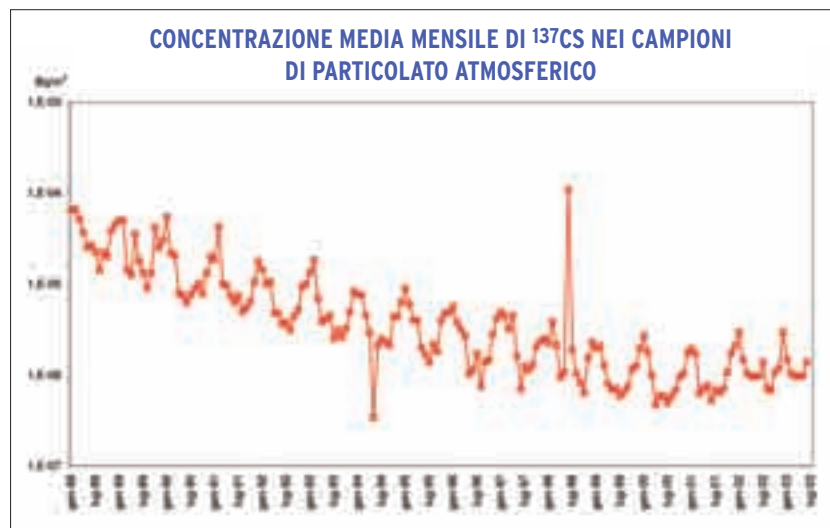
L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) stima che il contributo maggiore alla radioattività media totale sia dato dalla radioattività naturale (Radon Indoor, Radiazione gamma terrestre e raggi cosmici). Questa infatti costituisce il 71% del totale. Il contributo in assoluto maggiore è fornito dal Radon, che rappresenta il 43% della radioattività totale a cui la popolazione mondiale è esposta e il 61% della radiazione naturale.



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 2

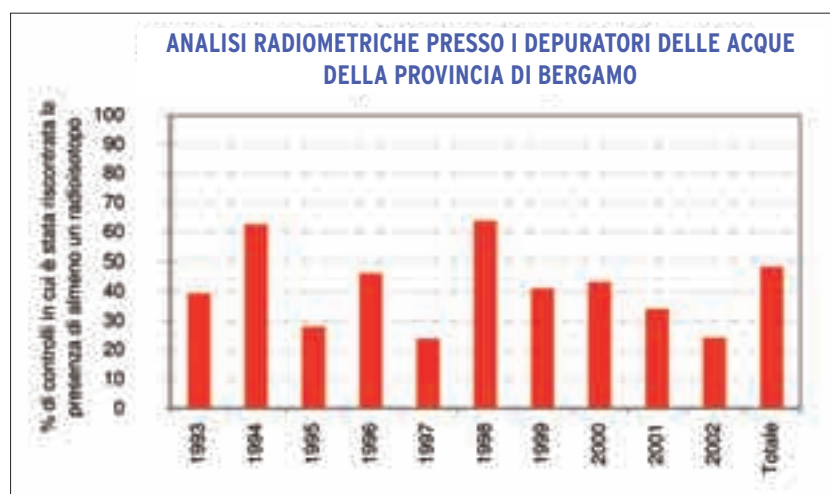
Nel maggio 1986, in seguito all'incidente nucleare di Chernobyl, furono evidenziati nel fall-out più di 15 radionuclidi artificiali, in maggior parte a emivita breve. Il periodo di emivita è il periodo di tempo entro il quale un radionuclide dimezza la sua radioattività; esso può variare da pochi minuti a milioni di anni a seconda del radioisotopo.



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 3

Le misure della concentrazione media mensile di ¹³⁷Cs in aria dal 1988 ad oggi mostrano una decrescita di tipo esponenziale sovrapposta ad una marcata periodicità, con massimi raggiunti durante il periodo invernale e minimi nei mesi estivi (andamento stagionale tipico di altri inquinanti atmosferici convenzionali), verosimilmente dovuto alle condizioni meteorologiche tipiche dei differenti periodi stagionali (stabilità atmosferica, spessore dello strato di rimescolamento, ecc.) che influenzano i fenomeni di dispersione ambientale.



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 4

In Lombardia vengono effettuate periodicamente analisi radiometriche sulle acque sottoposte a depurazione. In provincia di Bergamo, a titolo di esempio, vengono controllati oltre 60 impianti. In figura è rappresentata la percentuale di controlli in cui è stata riscontrata la presenza di almeno un radioisotopo. I radionuclidi rilevati in ingresso ai depuratori sono quelli provenienti dall'utilizzo sanitario (¹³¹I, ^{99m}Tc, ¹¹¹In, ⁶⁷Ga), in genere in concentrazioni comprese fra 0,1 e 10 Bq/l. In uscita, dopo il processo di depurazione ed il decadimento fisico, scompaiono i radioisotopi a emivita più breve e vengono molto ridotti i rimanenti, quindi la contaminazione delle acque superficiali risulta assente o in ogni caso trascurabile.

al suolo, altrimenti detta *fall-out*, è caratterizzato da elevata sensibilità e fornisce informazioni integrate nel tempo.

Con tale sistema è possibile rilevare eventi di effetto su ampia scala, quali esplosioni nucleari in atmosfera anche in aree molto lontane; tali misure, effettuate mensilmente, mostrano ad esempio che il contributo relativo alle esplosioni nucleari in atmosfera a scopo militare avvenute negli anni '50 e '60 è attualmente estremamente piccolo, mentre è ancora apprezzabile quello conseguente all'incidente di Chernobyl. Le concentrazioni di radionuclidi da contaminazione sono caratterizzate da un continuo decremento negli anni, a testimonianza del fatto che non ci sono state recenti rilevanti immissioni di particolato radioattivo in atmosfera.

I corpi idrici superficiali, e in misura minore le acque profonde, possono essere direttamente o indirettamente interessati dal fenomeno della contaminazione radioattiva. Conoscere il comportamento dei contaminanti immessi nei corpi idrici è importante per valutare sia il destino dei radionuclidi negli ecosistemi sia il rischio a cui può essere sottoposta la popolazione attraverso la catena alimentare.

Poiché la contaminazione delle acque sotterranee avviene generalmente attraverso l'infiltrazione delle acque meteoriche contaminate nel terreno fino a raggiungere la falda, è poco probabile che si riscontrino contaminazioni significative grazie all'azione protettiva di filtro operata dal terreno soprastante le falde.

La contaminazione delle acque superficiali può avvenire invece sia tramite ricaduta atmosferica diretta, sia a causa del dilavamento di terreno contaminato, sia per immissione diretta di reflui radioattivi provenienti da attività umane a carattere locale (impieghi sanitari ed industriali).

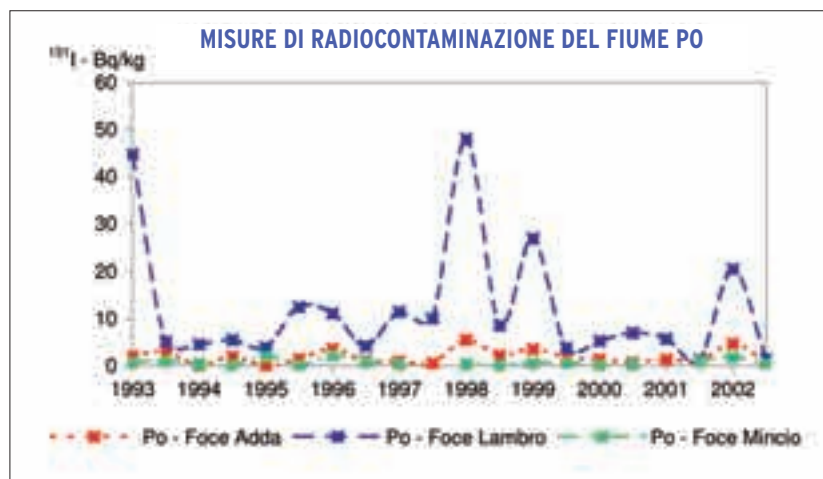
Il controllo sistematico della radioattività presente nelle acque superficiali in Lombardia è attivo dal 1992 e mostra che la rilevanza dell'immissione ambientale di inquinanti radioattivi è poco significativa, sia per i quantitativi in gioco che per le caratteristiche dei radionuclidi immessi, generalmente caratterizzati da emivita breve.

I meccanismi che regolano il destino degli isotopi radioattivi negli ambienti acquatici è piuttosto

sto differente a seconda che si tratti di sistemi fluviali o lacustri; questi ultimi, infatti, essendo caratterizzati da un minor ricambio della massa d'acqua, fanno registrare maggiori accumuli di radiocontaminanti sia nei sedimenti che lungo le catene alimentari.

Per quanto riguarda il monitoraggio dei fiumi, oltre all'acqua, da alcuni anni viene analizzato il detrito minerale organico (DMO): tale matrice ambientale presenta caratteristiche di lento accumulo dei radionuclidi ed è costituita dal deposito del materiale trascinato dalla corrente; a causa del tempo necessario per la deposizione del materiale, tale metodo non è adatto al monitoraggio della contaminazione di radionuclidi con emivita inferiore a qualche giorno. L'analisi del DMO, ad esempio, ha consentito di rilevare l'andamento delle tracce di ^{137}Cs lungo l'asta del Po dagli anni successivi all'incidente di Chernobyl e tracce di ^{131}I in concentrazioni più elevate in corrispondenza di fiumi che raccolgono le acque reflue di grossi centri urbani nei quali l'utilizzo di ^{131}I a scopi sanitari è maggiore. Dal 1988 vengono eseguiti controlli periodici delle acque potabili delle principali città lombarde con lo scopo sia di verificare eventuale contaminazione che di misurare i livelli di radioattività naturale. Tali controlli non hanno mai rilevato la presenza di radionuclidi artificiali, se si eccettuano tracce sporadiche di ^{137}Cs nei primi anni dopo l'incidente di Chernobyl. Poiché le acque potabili più sensibili rispetto a possibili eventi di incidente radioattivo sono quelle le cui reti sono alimentate da corpi idrici superficiali, è stato predisposto un complesso protocollo analitico per valutare i livelli di radiocontaminazione alle prese di captazione e nei comuni asserviti.

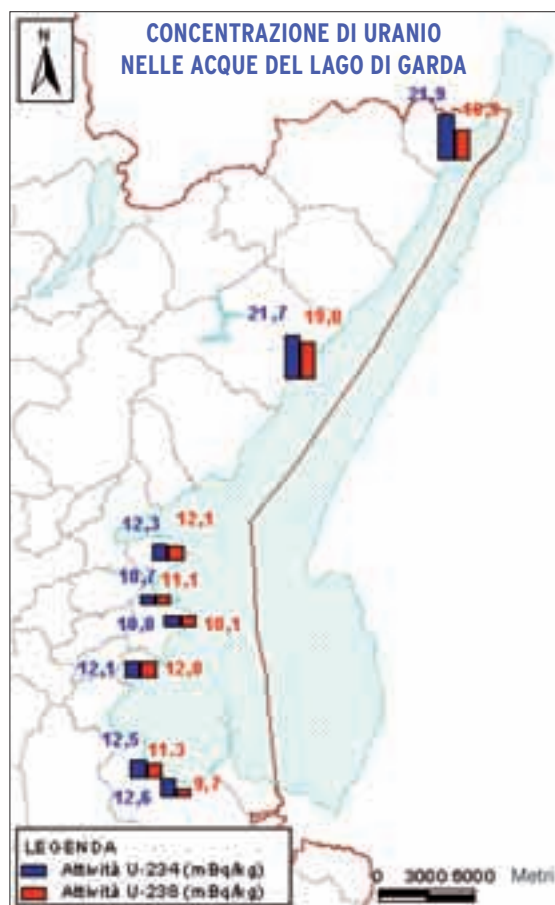
Il monitoraggio radiometrico dei laghi viene solitamente effettuato analizzando la fauna ittica, posta al termine della catena alimentare. Un'attività di monitoraggio particolare riguarda il lago di Garda e deriva dalle ipotesi di contaminazione radioattiva determinata dallo sgancio di ordigni bellici nel corso dei conflitti in Kosovo. L'indagine, avviata nel 1999 e tuttora in corso, è volta ad individuare l'eventuale presenza di concentrazioni anomale di uranio impoverito (DU = depleted uranium). L'uranio è naturalmente ed ubiquitariamente presente nelle rocce, nei suoli,



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 5

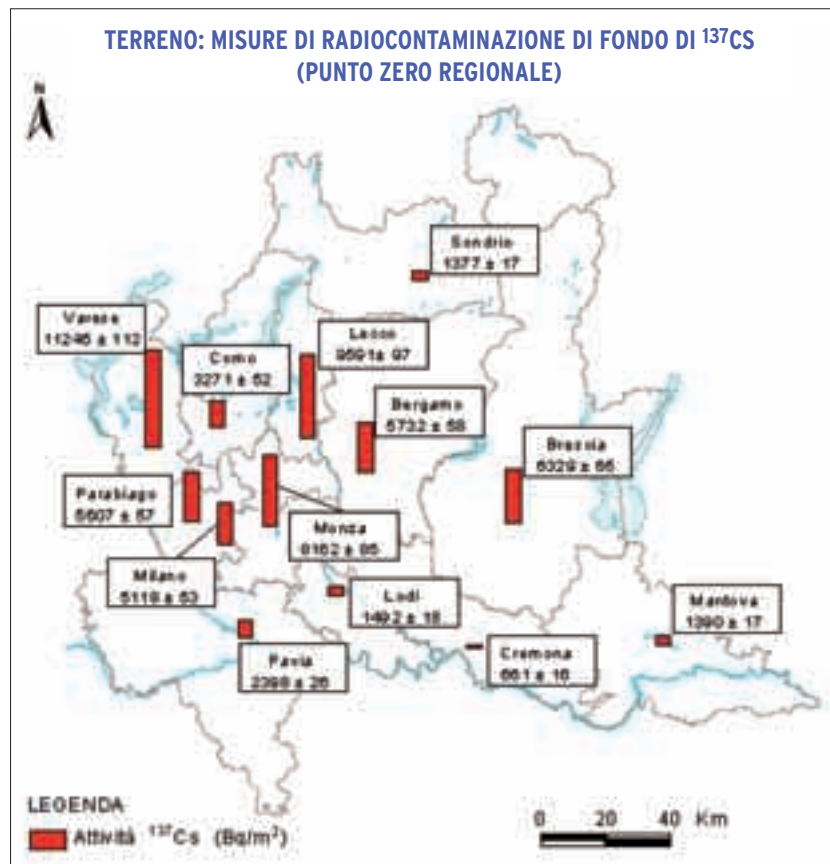
Mediante le analisi radiometriche del detrito minerale organico (DMO) vengono sorvegliati alcuni corsi d'acqua lombardi, in particolare Lambro, Adda, Serio, Oglio e Po. La concentrazione di ^{131}I nel fiume Po a valle della immissione del fiume Lambro presenta forti oscillazioni nel tempo probabilmente dovute all'intensità dell'uso del territorio drenato da tale corso d'acqua. Le concentrazioni attualmente rilevate sono comunque di scarsa entità. Dalle analisi effettuate nei diversi corsi d'acqua si registra abitualmente presenza di ^{131}I ed occasionalmente di altri radioisotopi attribuibili agli impieghi a scopo sanitario; tracce di ^{137}Cs e, nei primi anni dopo Chernobyl, di ^{134}Cs attribuibili essenzialmente all'incidente nella centrale ucraina.



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 6

Le misure di attività di ^{238}U e ^{234}U nelle acque di balneazione e nelle acque destinate alla potabilizzazione non evidenziano valori che si discostino dalle concentrazioni di uranio normalmente riscontrabili nello stesso tipo di matrice. Analoghi risultati sono stati ottenuti per le acque della sponda orientale veneta.



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 7

Allo scopo di avere dei valori di riferimento di radiocontaminazione, da confrontare con eventuali situazioni di emergenza dovuta ad incidenti, sono stati analizzati campioni di terreno prelevati nelle differenti province della Lombardia. I valori indicati in figura corrispondono alla concentrazione misurata nel terreno nello spessore di 5 cm.

VALORI DI DEPOSIZIONE TOTALE DI ¹³⁷CS E ⁹⁰SR MISURATI NEL 1996

		¹³⁷ Cs (Bq/m ²)	⁹⁰ Sr (Bq/m ²)
Ballabio	Montagna	25.680	3.260
Valbrona		39.580	3.000
Carenno		19.010	2.140
Cantù	Collina	11.690	2.290
Montevecchia		12.050	680
Besana Brianza		8.330	440
Magenta	Pianura	15.050	370
Trucazzano		319.460	510

Fonte: ARPA Lombardia

Tabella 1

Valori di deposizione totale di ¹³⁷Cs e ⁹⁰Sr misurati nel 1996, 10 anni dopo l'incidente di Chernobyl. Tali valori sono stati ottenuti sommando il contenuto di radionuclidi di diverse sezioni di suolo da 0 a 40 cm di profondità.

nelle acque dolci e di mare, negli organismi viventi vegetali ed animali ed in genere in tutte le matrici ambientali in quantità variabili da luogo a luogo. Una eventuale contaminazione dovuta ad attività antropiche può essere individuata a partire da misure quantitative degli isotopi dell'uranio, e dai rapporti fra i diversi isotopi; in particolare, la presenza di rilevanti quantità di Uranio impoverito è individuata dal rapporto fra ²³⁴U e ²³⁸U. I risultati sino ad ora acquisiti con il monitoraggio del lago di Garda - realizzato mediante analisi su acque, sedimenti e pesci - non evidenziano apporti di uranio di origine antropica.

Dopo l'acqua, il suolo è tra i primi comparti ambientali interessati da fenomeni di ricaduta dei radionuclidi.

Il monitoraggio della radiocontaminazione del terreno permette non solo di valutare l'entità dei fenomeni di deposizione, ma fornisce anche indicazioni circa l'esposizione della popolazione. La radiocontaminazione del suolo può avvenire secondo modalità dirette o indirette e in modo più o meno circoscritto a seconda degli eventi scatenanti; questi possono essere ricondotti a due categorie principali:

- rilascio accidentale da insediamenti produttivi (es. ospedali, industrie, istituti di ricerca): la contaminazione avviene in modo diretto e coinvolge tendenzialmente una porzione di territorio circoscritta
- incidente con rilascio in atmosfera di pulviscolo radioattivo (es. esplosione nucleare): la contaminazione avviene in modo indiretto, tramite fall-out, e può coinvolgere porzioni anche molto grandi di territorio.

I radionuclidi, una volta depositati al suolo, seguono diverse vie di dispersione quali la migrazione lungo il profilo verticale del terreno o l'assorbimento da parte dell'apparato radicale delle piante. Gli elementi radioattivi assorbiti dalla vegetazione possono essere successivamente asportati con il raccolto e in parte ritornare al suolo attraverso le deiezioni degli animali alimentati con vegetali contaminati.

In Lombardia, per costruire la mappa delle ricadute radioattive derivate dall'incidente di Chernobyl nel periodo successivo alla fase acuta di fall-out, sono state individuate quelle località ove le precipitazioni meteoriche erano

state particolarmente abbondanti nei giorni successivi all'evento. Come prevedibile, i risultati delle analisi hanno mostrato una notevole variabilità geografica dei valori di contaminazione riscontrata nel terreno.

Attualmente la radioattività artificiale presente nei suoli della Lombardia è imputabile per lo più all'incidente di Chernobyl; essa è dovuta a prodotti di fissione a emivita lunga, come il ^{137}Cs e lo ^{90}Sr (emivita di circa 30 anni).

Nell'ambito del sistema regionale delle emergenze radiologiche, e per poter disporre di misure radiometriche relative a campioni di terreno confrontabili, si è recentemente provveduto ad effettuare una mappatura dell'attuale situazione di radiocontaminazione del suolo dell'intera Lombardia. L'indagine ha confermato l'esistenza dei valori di ^{137}Cs più elevati nella zona centrale della Lombardia, dove la ricaduta dovuta all'incidente di Chernobyl è stata maggiore; i valori misurati non danno comunque luogo a esposizione interna ed esterna significativa.

Il piano di monitoraggio della radioattività nelle matrici alimentari viene attuato in Lombardia sulla base della dieta tipo, campionando i diversi alimenti con frequenza di prelievo e misura diverse a seconda del tipo di alimento.

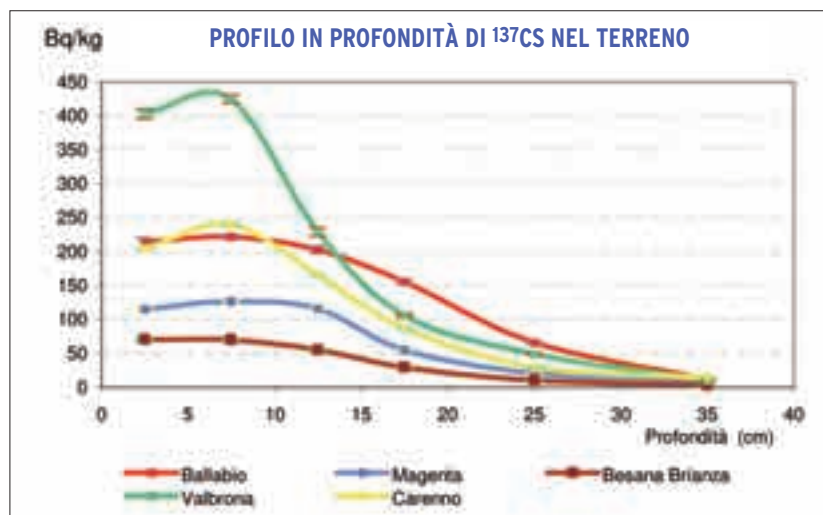
I campionamenti vengono effettuati:

- alla produzione: mediante l'individuazione dei centri di produzione di matrici alimentari (sia per quanto riguarda le materie prime che i prodotti derivati) rilevanti su scala regionale e/o nazionale;

- al consumo: mediante l'individuazione dei centri di commercializzazione che trattano quantità significative di merci e/o a cui afferisce un bacino d'utenza ampio; tali centri possono coincidere con i mercati ortofrutticoli o i macelli, oppure con i centri di grande distribuzione.

Inoltre, in caso di emergenza, è prevista la possibilità di effettuare campionamenti presso località che dovessero risultare particolarmente colpite dalle ricadute radioattive, onde monitorare le produzioni ortofrutticole locali.

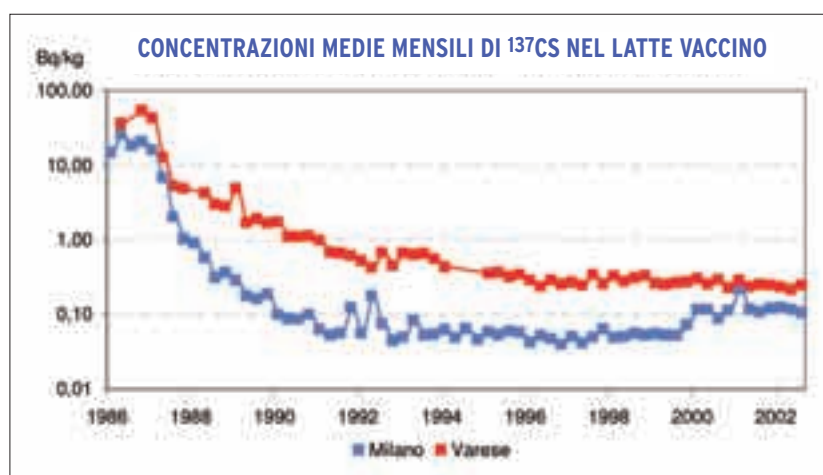
Le concentrazioni dei radioisotopi rilevate negli alimenti vengono confrontate con i limiti del regolamento CEE (Regolamento Euratom n. 3954/87 e s.m.i). In caso di superamento dei suddetti limiti, come si è verificato dopo l'incidente di Chernobyl, vengono adottati i provvedi-



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 8

Il profilo in profondità nel terreno della concentrazione di ^{137}Cs in diversi siti della Lombardia indica come, nella maggior parte dei casi, la concentrazione mostri un massimo fra 5 e 10 cm. Il 50% del radiocesio è contenuto nei primi 10 o 15 cm e l'80% è contenuto nei primi 20 cm.



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 9

Le centrali del latte di Milano e Varese sono rappresentative rispettivamente della realtà produttiva della fascia della pianura padana e della fascia prealpina. L'evoluzione nel tempo della radiocontaminazione derivata dall'incidente di Chernobyl è analoga: una marcata contaminazione iniziale dovuta ad intense ricadute che hanno interessato i primi giorni di maggio 1986 il nord Italia. La marcata differenza fra Milano e Varese è dovuta ad una importante diversificazione nelle modalità di approvvigionamento dei componenti principali dell'alimentazione bovina. La concentrazione di ^{137}Cs nei campioni di fieno della zona prealpina è di circa 10 volte maggiore di quella misurata nei campioni della zona padana a causa del fatto che il fieno prealpino proviene da prato stabile ovvero caratterizzato da maggiori tempi di residenza, maggiore apparato radicale e diverso fattore di uptake dal terreno, dal quale assorbe anche il ^{137}Cs .

I ROTTAMI METALLICI

Una delle possibili origini di contaminazione ambientale è la fusione accidentale di rottami metallici casualmente o illegalmente contenenti sorgenti radioattive dismesse.

In Italia vengono importati materiali metallici per il riciclaggio per un ammontare di circa 7 milioni di tonnellate all'anno: attraverso misure radiometriche effettuate dal '94 al '96 all'esterno dei contenitori per il trasporto ferroviario, stradale o marittimo, è stato rilevato che l'1% circa dei carichi risulta contaminato da materiale radioattivo. Secondo la normativa vigente, il controllo radiometrico va effettuato sui rottami metallici e sui materiali metallici di risulta; allo stesso obbligo sono tenuti i soggetti che esercitano attività di raccolta, deposito e commercio. Tali controlli hanno portato ad una riduzione dei ritrovamenti di materiali radioattivi.

Dal 1990, anno in cui si è verificato il primo incidente in Lombardia e che ha coinvolto le province di Brescia e Varese, si sono registrati episodi di radiocontaminazione di diverso livello di gravità solo nella provincia di Brescia. L'attività di vigilanza sul territorio è attuata con campagne di monitoraggio concentrate principalmente nella province di Brescia, Como e Cremona e campagne di monitoraggio alle frontiere di Brennero ('95 e '96) e Ponte Chiasso (indagini ancora in corso). Nella provincia di Brescia, infatti, sono attualmente presenti alcune centinaia di impianti di fusione, raccolta e recupero di metalli ferrosi e non ferrosi e 14 acciaierie, con un consumo di alcune decine di milioni di tonnellate di rottami metallici all'anno.

TIPO DI MATERIALE	QUANTITÀ	ISOTOPO RADIOATTIVO	ATTIVITÀ TOTALE STIMATA (MBQ)
Sorgenti radioattive	77	²²⁶ Ra, ¹³⁷ Cs, ⁸⁵ Kr, ²⁴¹ Am, ⁹⁰ Sr, ⁶⁰ Co	2265
Parafulmini radioattivi	44	²²⁶ Ra, ²⁴¹ Am	494
Rivelatori di Fumo	51	²²⁶ Ra, ²⁴¹ Am	38
Dispositivi per il trattamento delle acque con Radio	13	²²⁶ Ra	25
Quadranti luminescenti	829	²²⁶ Ra	25
Oggetti contaminati di vario tipo	423	⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs, ²²⁶ Ra, ²³² Th	250
Totale	1437		3097

Tabella 2

Fonte: ARPA Lombardia

Tipologie e quantitativi di materiali radioattivi o contaminati ritrovati in carichi di rottami dal maggio 1997 al dicembre 2002, in provincia di Brescia.

PERIODO	LOCALITÀ	N. CARICHI CONTROLLATI	N. CARICHI RESPINTI
20/05/93 ÷ 5/9/93	Brescia	5721	40
6/9/93 ÷ 19/6/94	Brennero	3238	14
19/6/94 ÷ 31/12/95	Brescia	1126	6
1993	Como	2100	n.d.
1994	Como	1835	n.d.

Tabella 3

Fonte: ARPA Lombardia

Controlli alla frontiera su carichi di rottami metallici di provenienza straniera negli anni '93 - '95.

menti necessari ad impedire la commercializzazione degli alimenti risultati contaminati.

Particolare attenzione viene posta al controllo del latte in quanto rappresenta una componente importante nell'alimentazione umana (in particolare per i bambini) ed è un valido indicatore della radiocontaminazione ambientale a causa dello stretto legame con l'alimentazione animale. La rete di monitoraggio radiometrico prende in considerazione esclusivamente il latte vaccino poiché esso rappresenta una quota molto rilevante della produzione, importazione e consumo di latte in Lombardia; i campionamenti vengono effettuati nelle principali centrali del latte della regione secondo un piano di monitoraggio della radiocontaminazione avviato nel 1986. Il latte scelto è quello commercializzato come latte vaccino fresco intero pastorizzato poiché è interamente prodotto da aziende agricole ubicate in zone prossime alla centrale di commercializzazione.

Il Cesio radioattivo ricaduto al suolo nel maggio '86 si presentava in due forme isotopiche: ^{134}Cs (emivita di circa 2 anni) e ^{137}Cs (30 anni). Il ^{134}Cs nel latte è stato rilevabile fino a 5 anni dopo l'incidente; attualmente sono ancora invece rilevabili minime tracce di ^{137}Cs .

16.2 RADIOATTIVITA' NATURALE

La fonte principale d'esposizione della popolazione alle radiazioni ionizzanti naturali è costituita dal radon, potenzialmente presente negli ambienti chiusi e interrati o seminterrati (radon indoor).

Il radon è un gas radioattivo naturale derivato dall'uranio, incolore e inodore, che proviene dal sottosuolo. L'uranio è ubiquitario sulla Terra, specialmente nelle zone rocciose e montagnose: le principali fonti di immissione di radon nell'ambiente sono quindi il suolo, alcuni materiali da costruzione e, in qualche caso, l'acqua.

Il radon si diffonde facilmente anche attraverso le rocce e, una volta raggiunta la superficie, si disperde; all'interno degli edifici esso può concentrarsi in particolare nelle cantine e nei locali seminterrati, soprattutto se mal ventilati. Normalmente si hanno concentrazioni di radon maggiori ai piani bassi dell'abitazione poiché la

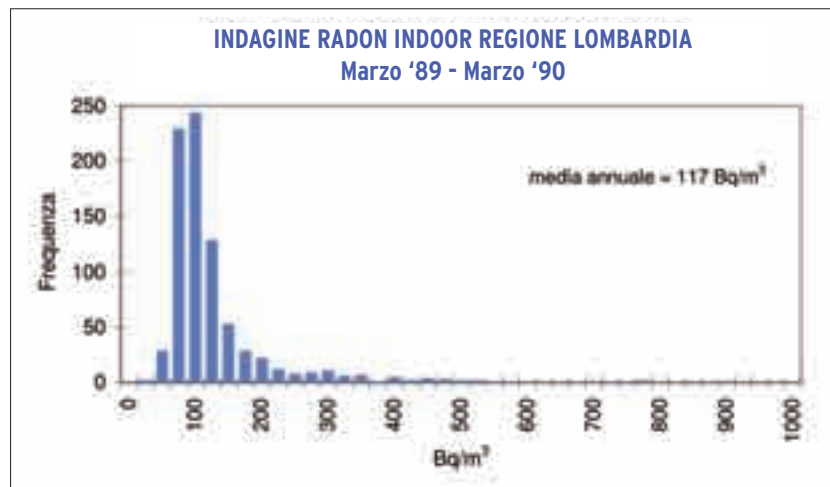
sorgente principale di tale gas è il terreno, ma concentrazioni apprezzabili possono essere misurate anche ai piani medio-alti per la presenza di sorgenti di radon all'interno dei materiali da costruzione, come granito, pietra pomice o tufo vulcanico.

Il radon e gli altri elementi radioattivi che da esso derivano, si fissano alla polvere presente abitualmente nell'aria che viene respirata e possono depositarsi nei bronchi e nei polmoni, fungendo da sorgenti emmissive interne.

La valutazione del rischio radon non è semplice ed è ancora oggi oggetto di vivaci dibattiti, soprattutto per le sue implicazioni in termini di politica sanitaria. Lo IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro) e l'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) classificano il radon come cancerogeno, ma permangono rilevanti incertezze su alcuni aspetti della caratterizzazione del rischio per la popolazione esposta, in particolare riguardo al rischio specifico per i non fumatori rispetto agli effetti sinergici tra radon e fumo di sigaretta (sia attivo che passivo). L'effetto sanitario connesso all'esposizione al radon è l'aumento di rischio di tumore polmonare nei fumatori.

L'esposizione della popolazione a questo genere di inquinanti aeriformi è particolarmente significativa negli ambienti confinati, come le residenze ed i luoghi di lavoro, poiché la maggior parte delle persone vi trascorre oltre l'80% del proprio tempo. I ricambi d'aria all'interno degli edifici, i materiali e le tecnologie edilizie impiegate influenzano considerevolmente la concentrazione degli inquinanti negli ambienti confinati; l'esposizione al radon negli edifici può pertanto essere minimizzata aumentando la ventilazione negli ambienti chiusi e limitando la permanenza delle persone nei locali in cui la concentrazione di radon risulti più elevata. In via preventiva, inoltre, si può intervenire sulle caratteristiche costruttive dell'edificio.

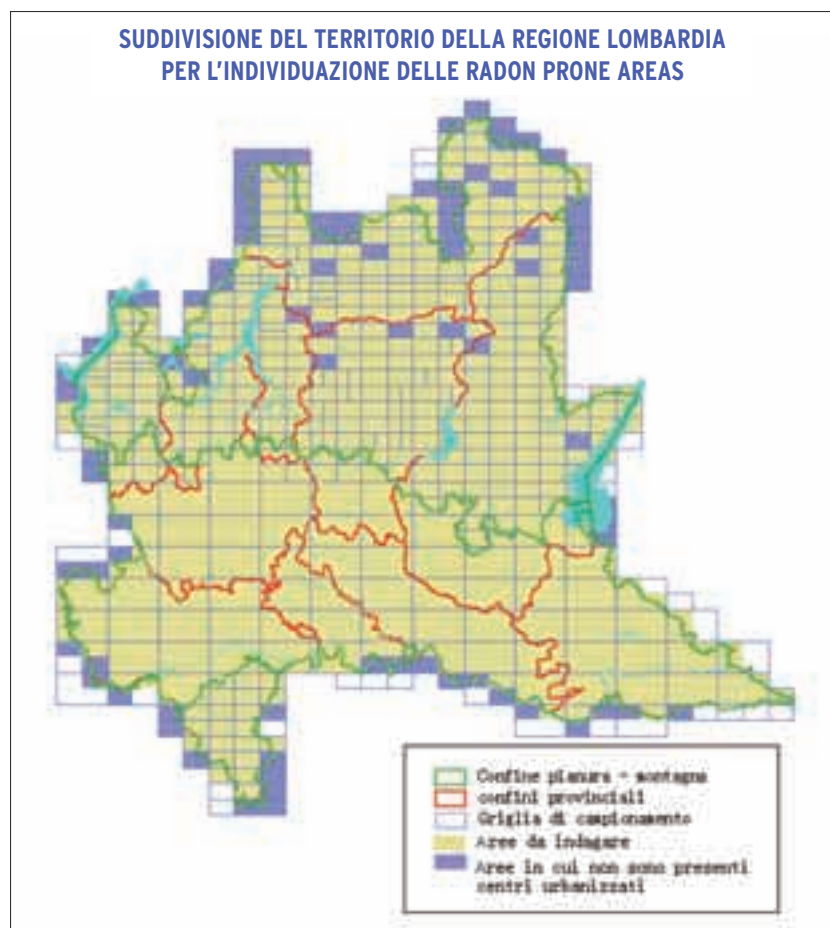
Le informazioni attualmente disponibili per la Lombardia derivano dall'*Indagine Nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni*, promossa da ENEA/Disp (attuale APAT) ed Istituto Superiore di Sanità, effettuata negli anni '90 su un campione rappresentativo costituito da circa 5.300 abitazioni distribuite su tutto il territorio nazionale. L'indagine ha misurato le concentra-



Fonte: APAT

Figura 10

La campagna nazionale di misura del radon indoor, che si è svolta tra il 1989 e il 1991, ha interessato in Lombardia circa 800 abitazioni collocate in 33 comuni, di cui quattro con più di 100.000 abitanti (Milano, Brescia, Monza e Bergamo). La concentrazione media annuale in Lombardia è risultata pari a 117 Bq/m³, di poco superiore alla media nazionale (75 Bq/m³)



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 11

Per l'individuazione delle aree ad elevata probabilità di alta concentrazione di radon (radon prone areas) il territorio della regione è stato suddiviso in aree in ciascuna delle quali sono stati individuati circa 10 punti di indagine, per un totale di circa 4.000 siti.

zioni di radon nelle abitazioni ma la valutazione circa l'effettiva esposizione della popolazione è estremamente complessa; la campagna di misura ha permesso quindi una valutazione di massima dell'esposizione al radon per la popolazione italiana, ma non è stata sufficientemente dettagliata per definirne la distribuzione geografica. Dal punto di vista normativo, l'esposizione al radon è inserita tra le problematiche connesse all'inquinamento dell'aria indoor nella Strategia d'azione ambientale per lo Sviluppo Sostenibile in Italia ed il recente D.L.vo n. 241/2000 richiede che le Regioni, entro il 2005, provvedano all'individuazione delle aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon sul proprio territorio (le cosiddette *radon prone areas*). La Regione Lombardia ha recentemente avviato un piano di attività finalizzato all'individuazione di tali aree, piano che vede il territorio regionale suddiviso in aree secondo una griglia a maglie di dimensione variabile in funzione delle caratteristiche geologiche e morfologiche del suolo. L'indagine viene svolta posizionando nel locale di interesse un piccolo campionario di plastica contenente materiale sensibile al radon ed i locali degli edifici in cui si eseguono le misure sono rispondenti a caratteristiche prestabilite (tipologia edilizia, destinazione d'uso, piano, ecc.) in modo da permettere la confrontabilità dei risultati.

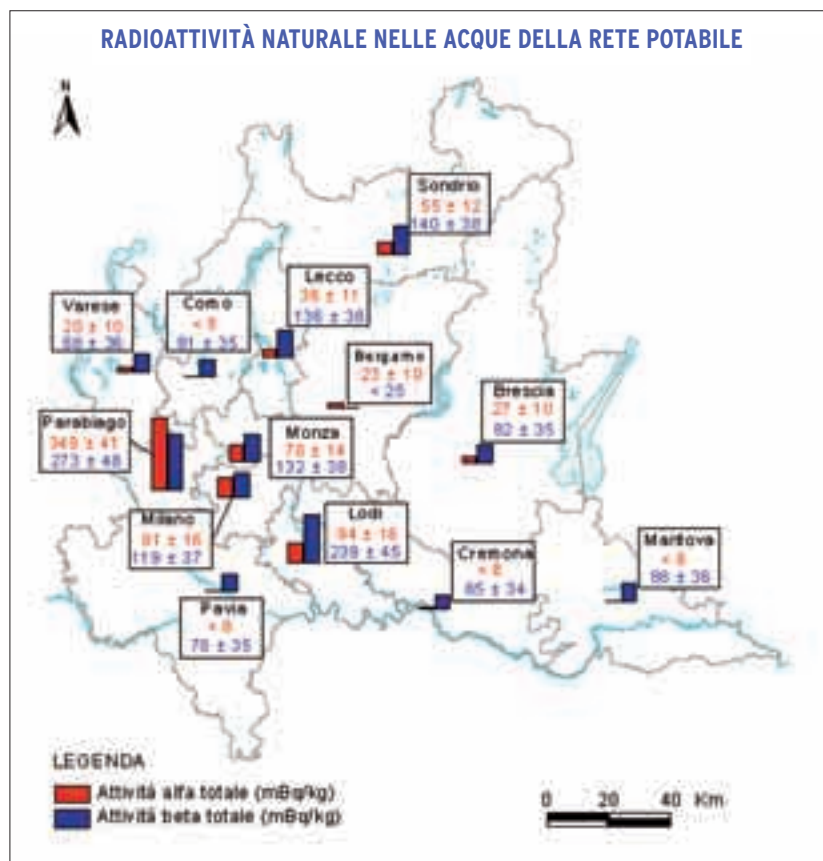
La normativa europea in materia, non ancora recepita a livello nazionale, fissa i valori di concentrazione al di sopra dei quali raccomandare (o imporre) di effettuare azioni per ridurre la concentrazione di radon. Tali livelli sono:

- 400 Bq/m³ per le abitazioni già esistenti, raccomandando altresì che l'adozione di provvedimenti correttivi avvenga con una urgenza proporzionale al superamento di tale valore;
- 200 Bq/m³ per le abitazioni di futura edificazione, da garantire utilizzando opportune tecniche preventive.

Una recente normativa nazionale considera per la prima volta il contenuto della radioattività nelle acque potabili; mediante una campagna regionale effettuata recentemente sono state infatti monitorate le acque di rete: i principali elementi che contribuiscono alla radioattività naturale nelle acque potabili sono uranio, torio, radio e potassio. Ne è risultato che il contenuto

di radioattività naturale nelle acque potabili è molto variabile da zona a zona e comunque ben al di sotto dei valori limite indicati dalle norme nazionali ed internazionali; ciò ha portato ad ipotizzare una prima suddivisione approssimativa del territorio regionale in tre macro aree, in dipendenza dal substrato roccioso. In nessun caso sono stati superati i valori di riferimento previsti dalla legge.

La normativa italiana sulle acque destinate al consumo umano non comprende invece le acque imbottigliate, sebbene il consumo di tali acque sia in continua espansione. L'Italia è infatti il maggior consumatore mondiale ed in Lombardia vengono consumati 0,53 l/giorno pro-capite. L'analisi di 21 marchi di acque imbottigliate prodotte in Lombardia ha mostrato che la radioattività maggiore è presente nelle categorie di acque minerali a residuo fisso superiore a 500 mg/l; tranne poche eccezioni, le acque imbottigliate lombarde presentano comunque contenuti di radioattività ben al di sotto dei valori indicati dalle norme per le acque di rete.



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 12

All'attività alfa totale contribuiscono per lo più gli isotopi dell'Uranio; all'attività beta totale contribuisce significativamente il ^{40}K ; il contributo del ^{226}Ra è significativo in alcuni casi, soprattutto in acque delle valli alpine e prealpine a causa della presenza di rocce specifiche.

NORM

Un caso particolare di esposizione a radionuclidi naturali deriva dalle attività lavorative che utilizzano NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials), termine che indica quei materiali, materie prime, prodotti di lavorazione o rifiuti, caratterizzati da un contenuto di radioattività naturale non trascurabile, ma non considerati per le loro proprietà fissili.

La normativa italiana vigente sottopone a specifiche disposizioni le attività lavorative che utilizzano, ad esempio, minerali fosfatici, sabbie zirconifere, torio o terre rare.

In generale queste attività lavorative implicano una possibile esposizione dei lavoratori alle radiazioni ionizzanti (irradiazione esterna e contaminazione interna) e vengono tenute sotto controllo anche allo scopo di minimizzare l'impatto sull'ambiente evitando quindi la possibile contaminazione del suolo, delle acque superficiali e delle acque di falda dovuta ad un non corretto stoccaggio dei materiali e dei residui di lavorazione.

Per quanto riguarda la lavorazione dei minerali fosfatici, in Italia esistono tre impianti di una certa rilevanza di cui uno in Lombardia, in provincia di Cremona.

Per quanto concerne la lavorazione delle sabbie zirconifere, importate soprattutto dall'Australia e dal Sud Africa, l'utilizzo è concentrato soprattutto nell'industria della ceramica. Per quanto riguarda la sola produzione di refrattari, al 1996 erano presenti 132 imprese in Italia, di cui 33 in Lombardia. Rientrano tra attività con presenza di NORM anche quelle legate all'estrazione di gas e petrolio, gestite in Italia da numerose compagnie petrolifere; ENI ad esempio conta circa 7.000 pozzi differenziati nei 4 distretti operativi in cui è suddiviso il territorio nazionale: Crema, Ravenna, Ortona, Gela.

GLOSSARIO

Radiazioni: particolari forme di energia o di materia che si propagano nello spazio.

Radiazioni ionizzanti: particolari radiazioni ad alta energia in grado di distruggere la neutralità degli atomi e di renderli elettricamente carichi.

Radioattività: proprietà di alcune sostanze di emettere radiazioni sia in modo naturale che indotto.

Isotopi: nuclei che hanno lo stesso numero di protoni, ma diverso numero di neutroni.

Nuclide: specie atomica caratterizzata dal numero di protoni e neutroni (numero di massa), dal numero di protoni (numero atomico) e dallo stato energetico.

Isotopo radioattivo, radioisotopo, radionuclide: nuclei che emettono radiazioni ionizzanti.

Attività: numero di trasformazioni nucleari spontanee nell'unità di tempo in una data quantità di materiale radioattivo.

Decadimento radioattivo: trasformazione spontanea di una particella instabile in un'altra, con emissione di altre particelle e di radiazioni. Il tempo e le modalità con cui avviene questo processo è caratteristico di ogni radioisotopo e può variare moltissimo da uno all'altro. Il tempo in cui i nuclei di un certo isotopo radioattivo si riducono alla metà, si definisce come **tempo di dimezzamento fisico (o emivita)**.

Radioattività alfa: nuclei radioattivi che emettono una particella alfa, ovvero una particella costituita da due protoni più due neutroni. Le radiazioni alfa per loro natura sono poco penetranti.

Radioattività beta: nuclei che emettono radiazione beta, ovvero radiazione costituita da un elettrone. Le radiazioni beta sono più penetranti di quelle alfa, ma vengono comunque bloccate da spessori di vari materiali.

Radioattività gamma: la radiazione gamma è un'onda elettromagnetica costituita da fotoni. Essa è più penetrante delle radiazioni alfa e beta.

Fissione: scissione di un nucleo pesante per effetto dell'interazione con neutroni lenti o veloci, in due o più frammenti aventi la massa dello stesso ordine di grandezza. La fissione è accompagnata da emissione di neutroni e raggi gamma.

Gas nobili: sostanze che, per la struttura dei propri atomi, sono particolarmente stabili e poco attive dal punto di vista chimico. Oltre al radon, sono gas nobili l'elio, il neon, l'argon, il cripton e lo xenon.

Centrale nucleare di potenza: impianto industriale dotato di un reattore nucleare avente per scopo la produzione di energia termoelettrica.

Ciclo del combustibile: l'insieme delle fasi di fabbricazione, utilizzazione, ritrattamento e rifabbricazione del combustibile, nonché smaltimento dei rifiuti radioattivi.

Combustibile nucleare: materiale contenente sostanze fissili destinato all'utilizzo in un reattore nucleare

Contaminazione radioattiva: contaminazione di una matrice, di una superficie di un ambiente di vita o di lavoro o di un individuo, prodotta da sostanze radioattive.

Fall-out: ricaduta di materiale radioattivo.

Dose: grandezza radioprotezionistica che misura la quantità di radioattività ricevuta o assorbita dalla materia.

Dose assorbita: energia assorbita per unità di massa. L'unità di misura è il gray (Gy).

Dose equivalente: dose assorbita media in un determinato tessuto o organo del corpo umano, opportunamente ponderata in base al tipo ed alla qualità della radiazione; l'unità di dose equivalente è il sievert (Sv).

Dose efficace: somma delle dosi equivalenti nei diversi organi o tessuti del corpo umano opportunamente ponderati a seconda dei danni relativi ai vari organi interessati.

Esposizione: qualsiasi esposizione di persone a radiazioni ionizzanti. Si distingue in esposizione esterna (prodotta da sorgenti situate al di fuori dell'organismo) ed esposizione interna (prodotta da sorgenti introdotte nell'organismo ad esempio tramite l'alimentazione).

Matrice: qualsiasi sostanza o materiale che può essere contaminato da materie radioattive: comprendono matrici ambientali ed alimenti.

Uranio impoverito (Depleted Uranium DU): uranio con concentrazioni ridotte degli isotopi ^{235}U e ^{234}U . E' un prodotto di scarto del processo di arricchimento che viene effettuato sull'uranio allo scopo di utilizzarlo nei reattori nucleari o nelle armi nucleari.

RIFERIMENTI NORMATIVI

La normativa internazionale di radioprotezione è supportata dall'operato dell'International Committee for Radiological Protection (ICRP) che emette raccomandazioni in tema di radioprotezione.

Con l'emanazione del Dlgs n.230/95 e con l'emanazione dei Decreti Legislativi 241/00 e 257/01, la legislazione italiana si è allineata ai più aggiornati indirizzi in materia di radioprotezione. Nel Dlgs 230/95 e s.m.i. sono affermati in modo esplicito e completo i principi generali di radioprotezione raccomandati dall'ICRP con la pubblicazione n.60 del 1990: giustificazione, ottimizzazione e rispetto dei limiti. Per quanto riguarda le materie radioattive, gli allegati alla normativa citata prevedono che la soglia in termini di attività totale e quella in termini di concentrazione debbano essere entrambe superate affinché la sorgente radioattiva sia soggetta al decreto. La disciplina generale stabilita nel documento prevede i diversi regimi autorizzativi per gli impianti nucleari e per tutti gli altri impianti; per questi ultimi esiste un nulla osta di categoria A, rilasciato dal Ministero dell'Industria, mentre per installazioni di maggiore entità un nulla osta di categoria B, rilasciato in sede locale dall'autorità competente; nell'atto autorizzativo sia per la categoria A che B sono indicate le modalità dell'eventuale allontanamento o smaltimento nell'ambiente di rifiuti radioattivi.

Per i rifiuti radioattivi inoltre è prevista un'autorizzazione per l'attività di raccolta per conto terzi, punto nevralgico per una corretta gestione dei rifiuti stessi.

Il D.L.vo n.230 prevede inoltre che il controllo della radioattività ambientale sia esercitato dal Ministero dell'Ambiente e che il controllo della radioattività degli alimenti e bevande sia esercitato dal Ministero della Sanità. Il complesso dei controlli è articolato in Reti di Sorveglianza Regionale e Nazionale.

Per quanto riguarda le situazioni di emergenza, il DL.vo 230/95 prevede l'elaborazione di piani specifici per far fronte agli incidenti che possono avvenire in impianti nucleari, anche esteri, in aree portuali interessate al traffico di naviglio a propulsione nucleare, in attività di trasporto di sorgenti radioattive o per altri eventi quali la caduta di satelliti che contengano sorgenti. Una sezione del decreto è dedicata all'attuazione della direttiva che prevede le modalità con cui la popolazione potenzialmente interessata da un'eventuale emergenza e quella effettivamente coinvolta da un'emergenza radiologica, debbano ricevere le necessarie informazioni.

Di notevole interesse è pure la disposizione che introduce l'obbligo, per quanti commerciano o fondono rottami o altri materiali metallici di risulta, di effettuare un controllo radiometrico sui rottami stessi.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E DI APPROFONDIMENTO

- APAT. *Raccolta preliminare di dati sulle fonti di pressione ambientale relative ai NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials)*. CTN AGF-T-RAP-00-05. 2000.
- APAT. *Rassegna di indicatori ed indici per il rumore, le radiazioni non ionizzanti e la radioattività ambientale*. RTI CTN_AGF 4/2000.
- Anversa, A.; Margini, C.; Romanelli, M.; Rusconi, R.; Sacchi, B.; Sgorbati, G. *Il controllo della radioattività ambientale in Lombardia dopo l'incidente di Chernobyl. 1986-1996*. Regione Lombardia, Settore Sanità, Servizio Igiene Pubblica.
- ARPA Lombardia. *Giornata di studio "Acque superficiali e sotterranee e radioattività"*. Milano, 15 ottobre 2002.
- Azzellino, A.; Bellinzona, S.; Forte, M.; Gallini, R.; Rusconi, R.; Sgorbati, G. *Assessment of drinking water radioactivity content by liquid scintillation counting: set up of high sensitivity and emergency procedures*. 47° Conferenza annuale IAEA; International conference on isotopic and nuclear analytical techniques for health and environment. IAEA-CN-103-070. Vienna, 15-19 settembre 2003.
- Bochicchio, F.; Campos; Venuti, G.; Nuccetelli, C.; Piermattei, S.; Risica, S.; Tommasino, L.; Torri, G. *Results of the representative Italian national survey on radon indoors*. Health Physics 71(5): 743-750; 1996.
- Bochicchio, F.; Campos; Venuti, G.; Nuccetelli, C.; Piermattei, S.; Risica, S.; Tommasino, L.; Torri, G. *Results of the National Survey on radon indoors in all the 21 Italian Regions*. Proc. workshop "Radon in the Living Environment". Athens 19-23 April 1999: 997-1006. 1999.
- Forte, M.; Parazzoli, D.; Rusconi, R.; Sgorbati, G. *La radiocontaminazione degli alimenti e dell'ambiente in Lombardia dal 1986 ad oggi: valutazioni ed interpretazioni*. Istituto lombardo Accademia di scienze e lettere - Rendiconti - Scienze Chimiche e fisiche, Geologiche, Biologiche e Mediche- Vol. 131 (1997) - fasc. 1 e 2. Milano, 1999.
- Forte M. et Al. *Natural Radionuclides Measurements in Drinking Water by Liquid Scintillation Counting. Methods and Results*. 9th International Symposium on Environmental Radiochemical Analysis (Proc. Symp. Maidstone, Kent, 2002).
- Forte M. et Al. *Natural Radionuclides Monitoring in Lombardia Drinking Water by Liquid Scintillation Technique - Towards an Harmonisation of Radiation protection in Europe*. (Proc. Symp. Firenze, 2002).
- Forte, M.; Gianforma, G.; Margini, C.; Rusconi R.; Sgorbati, G. *Rilevazione delle concentrazioni di uranio-238 e radio-226 in acque destinate al consumo umano in Lombardia*. ASL Milano Città, 1998.
- Forte, M.; Rusconi R.; Bellinzona, S.; Sgorbati G. *¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr concentration in Lombardia soils: measurements and migration profile analysis*.
- Gianforma, G.; Sgorbati, G. *Campagna Nazionale Radon e Gamma Indoor*. Regione Lombardia, U.O. Fisica e T.A. P.M.I.P. U.S.S.L. 75/III Sezione Radioprotezione. Campagna Nazionale Radon e Gamma Indoor. 1991.
- ISTISAN, Rapporto 00/16. *Council Directive 98/83/CE on the quality of water intended for human consumption: calculation of derived activity concentrations*.
- Rusconi, R.; Sgorbati, G. *Sorgenti naturali presenti nei rottami metallici: conseguenze e soluzioni"*. Brescia, 1998.