

RADIAZIONI IONIZZANTI



6

Radiazioni ionizzanti





Radiazioni ionizzanti

Nicola Adamo, Maria Rosaria Della Rocca, Agostino Migliaccio

SCHEDE TEMATICHE

Radon-Prone Areas

Domenico Guida, Michele Guida, Albina Cuomo (Università degli Studi di Salerno, Facoltà di Ingegneria)

Generalità

La radioattività, o decadimento radioattivo, è un fenomeno fisico naturale presente da sempre nell'Universo e consiste, in via esemplificativa, nell'emissione, da parte di nuclei atomici instabili, di radiazioni ionizzanti (alfa, beta, gamma) per raggiungere uno stato fisico di maggiore stabilità energetica.

Gli elementi radioattivi sono definiti anche "radionuclidi" proprio a sottolineare che il fenomeno della radioattività riguarda esclusivamente i nuclei degli atomi della materia e che nessun intervento di tipo chimico è in grado di interferire con essa.

La radioattività è caratterizzata oltre che dalla natura delle radiazioni emesse e dal conseguente meccanismo di interazione con la materia (che influenza le modalità di rilascio di energia e la capacità di penetrazione nella materia stessa), mediante due grandezze fisiche:

- l'attività di un campione di materiale radioattivo rappresenta il numero di decadimenti che hanno luogo nell'unità di tempo e si misura nel Sistema Internazionale in Becquerel (Bq), uguale a un decadimento al secondo
- l'emivita o tempo di dimezzamento rappresenta il periodo medio necessario perché decada la metà degli atomi di un campione puro di un isotopo radioattivo e si misura in secondi.

I radionuclidi sono generalmente classificati in funzione della "causa" che li ha prodotti e, pertanto, avremo:

- radionuclidi artificiali
- radionuclidi naturali.

I radionuclidi artificiali derivano, quale prodotto diretto o indiretto, dall'impiego di alcuni materiali a seguito di particolari processi nucleari da parte dell'uomo: si tratta di radioisotopi generalmente non presenti in natura o almeno non in quantità apprezzabili.

Il loro impiego è quanto mai vasto e le relative tecnologie di utilizzazione sono suddivise in due gruppi:

- tecnologie a scopo pacifico
- tecnologie per uso militare.

I radionuclidi naturali sono diffusamente presenti nell'ambiente, con diverse concentrazioni, nelle matrici suolo, acqua, aria, vegetali e organismi animali.

Fra gli isotopi radioattivi normalmente presenti in natura occorre menzionare le famiglie dell'Uranio (costituita da 18 radionuclidi), del Torio (costituita da 12 radionuclidi) e dell'Attinio (costituita da 16 radionuclidi), nonché i radionuclidi Carbonio-14, Trizio, Potassio-40, Berillio-7 e Rubidio-87.

Particolare attenzione deve essere prestata a quei materiali che presentano un elevato contenuto di radioattività naturale (concentrazione di radionuclidi naturali superiore a quella media della crosta terrestre) denominati *NORM* (Naturally Occurring Radioactive Materials) utilizzati in alcune attività lavorative e ai *TENORM* (Technological Enhanced Natural Occurring Radioactive Materials), radionuclidi naturali incrementati da attività tecnologiche, che costituiscono spesso una delle principali sorgenti di esposizione della popolazione.

L'aspetto fondamentale della problematica delle radiazioni ionizzanti (radioattività) è rappresentato dalla esposizione dell'uomo a sorgenti radioattive (aspetti sanitari).

Il concetto utilizzato per esprimere il rischio derivante dall'esposizione è quello di "dose efficace", che tiene conto della quantità di radiazione, del tipo ($\gamma, \alpha, \beta, X, n$) e della diversa radiosensibilità di organi e tessuti. La dose efficace si misura in Sievert (Sv). Il limite di dose consentito per personale esposto, impegnato in attività lavorative, è di 100 mSv su 5 anni consecutivi, mentre per i cittadini l'esposizione do-

vuta a radionuclidi artificiali è fissata in 1 mSv/anno.

Per studi statistici ed epidemiologici si fa riferimento, invece, alla "dose collettiva" espressa in Sievert/uomo, che si ottiene calcolando la media su tutte le dosi individuali assunte dalle persone del gruppo di popolazione considerato.

L'esposizione del corpo umano alle radiazioni emesse da sorgenti radioattive (naturali o artificiali) può avvenire:

- in seguito alla permanenza in un campo di radiazione γ, β, X, n e si parla allora di esposizione esterna
- per ingestione o inalazione di radioisotopi, con conseguente deposito in organi e tessuti e, in questo caso, si parla di esposizione o contaminazione interna.

Per la valutazione della dose indivi-

duale, dato che l'esposizione può protrarsi nel tempo, si utilizza il concetto di "dose impegnata", ovvero la dose ricevuta da un organo o da un tessuto in un determinato periodo di tempo.

Generalmente gli organi e i tessuti più colpiti sono quelli caratterizzati dalle cellule a rapida proliferazione come, per esempio, quelle del midollo delle ossa piatte che hanno una funzione emopoietica.

Il danno derivante da questa esposizione può essere di tipo somatico o genetico, a seconda che venga colpito l'individuo irradiato o la sua progenie, mentre si parla di danni di tipo stocastico o deterministico, nel caso in cui la dose ricevuta sia tale da provocare un danno con probabilità inferiore o uguale all'unità.

Tabella 6.1
Radioattività: normativa di riferimento

D.Lgs. n. 230/1995, modificato dal D.Lgs. n. 241/2000 e n. 257/2001	Attuazione della Direttiva 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti.
D.Lgs. n. 52/2007	Attuazione della Direttiva 2003/122/Euratom sul controllo delle sorgenti radioattive sigillate ad alta attività e delle sorgenti orfane.
Legge Regionale n. 32/2003	Disciplina all'impiego di sorgenti di radiazioni ionizzanti.
Raccomandazione 90/143/Euratom	Raccomandazione della Commissione del 21 febbraio 1990 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al Radon in ambienti chiusi.
Raccomandazione 200/473/Euratom	Raccomandazione della Commissione dell'8 giugno 2000 sull'applicazione dell'articolo 36 del trattato Euratom riguardante il controllo del grado di radioattività ambientale allo scopo di determinare l'esposizione dell'insieme della popolazione.

Strutture autorizzate all'impiego di radioisotopi

Numerose sono le tipologie di attività che vedono l'utilizzo di sorgenti radioattive, dalle applicazioni in medicina per la diagnostica o per la terapia alle applicazioni in campo industriale, nella ricerca, in agrobiologia, in archeologia, in geologia, nella prospezione mineraria o in campo militare.

La normativa di riferimento, il D.Lgs. n. 230/1995, prevede che, al di sopra di soglie prefissate, le strutture debbano ottenere un nulla osta all'impiego di sorgenti di radiazioni.

Il nulla osta è richiesto, in particola-

re, per la somministrazione esterna o interna di materie radioattive a fini di diagnosi, terapia o ricerca medica o veterinaria.

L'impiego di sorgenti di radiazioni è classificato in due categorie differenti, una di tipo A e l'altra di tipo B. La differenza fra le due categorie è connessa alla quantità dei vari isotopi radioattivi che gli impianti sono autorizzati a utilizzare: la categoria A riguarda quantità almeno mille volte più elevate di quelle della categoria B.

In osservanza delle citate disposizioni,

pervengono ad Arpac numerose comunicazioni di detenzione di sorgenti di radiazioni ionizzanti da parte di enti pubblici e privati professionisti, che vengono regolarmente registrate e inserite in un archivio informatizzato, la cui sintesi trova attuazione in un report annuale regionale delle comunicazioni di detenzione di sorgenti di radiazioni ionizzanti, in ottemperanza anche alle disposizioni del D.Lgs. n. 241/2000 che impone il censimento regionale delle sorgenti radioattive. Allo stesso modo pervengono e vengono registrate le comunicazioni di variazione d'uso, le comunicazioni di cessazione di attività e qualsiasi altra comunicazione che interessi le sorgenti di emissione di radiazioni ionizzanti e le apparecchiature radiologiche.

Inoltre, ai fini dell'assolvimento degli obblighi di cui all'articolo 27 del D.Lgs. n. 230/1995, per il rilascio del nulla osta preventivo all'utilizzo di sorgenti di radiazioni ionizzanti e alla luce della ripartizione di competenze a livello nazionale e regionale di cui all'articolo 29, la Regione Campania, nelle more dell'emanazione di un'apposita normativa regionale, ha emesso, con delibera n. 1782 del 16 maggio 2003, le "Linee guida per il rilascio di nulla osta

di categoria B, per le attività comportanti esposizioni alle radiazioni ionizzanti a scopo medico", individuando apposite commissioni presso le Aziende sanitarie locali competenti per territorio, di cui devono far parte un componente designato da Arpac e un suo supplente. Le stesse commissioni esprimono parere consultivo in merito alle istanze per il rilascio di nulla osta di categoria A.

Vengono richiesti dalle Prefetture competenti per territorio pareri in merito al rilascio di nulla osta all'utilizzo di sorgenti di radiazioni ionizzanti a scopo non medico.

In Campania la maggior parte dei detentori di sorgenti radioattive è in ambito sanitario, anche per il consistente apporto dato dai dentisti. Di conseguenza gli apparecchi sono per la maggior parte costituiti da endorali (anche se tutt'altro trascurabile risulta la diffusione di apparecchiature utilizzate per l'industria, la ricerca, i controlli in campo veterinario).

Negli anni 2000-2008 sono pervenute ad Arpac circa 800 comunicazioni l'anno, regolarmente registrate e catalogate. I risultati si possono riassumere nella lettura delle figure 6.1, 6.2 e 6.3.

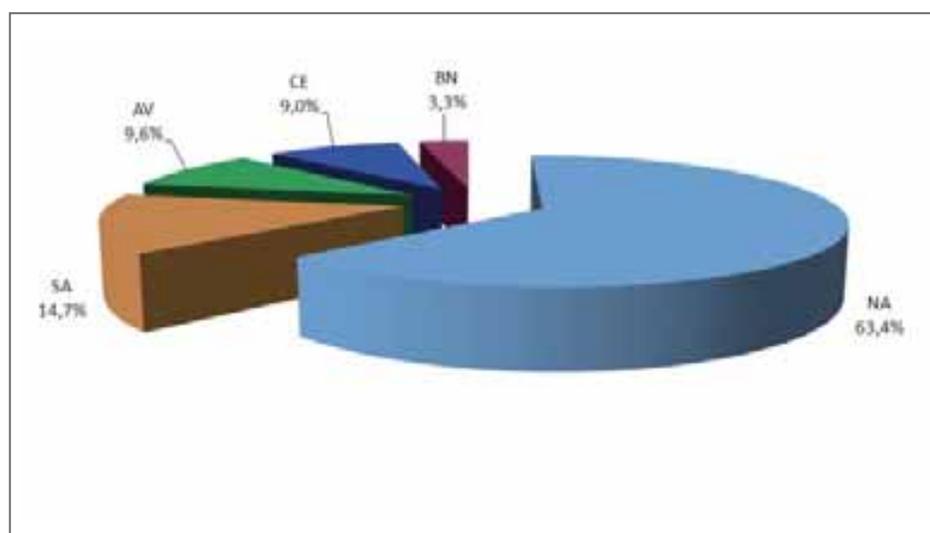


Figura 6.1
Dichiarazioni di detenzione di sorgenti radioattive pervenute per provincia, anni 2000-2008

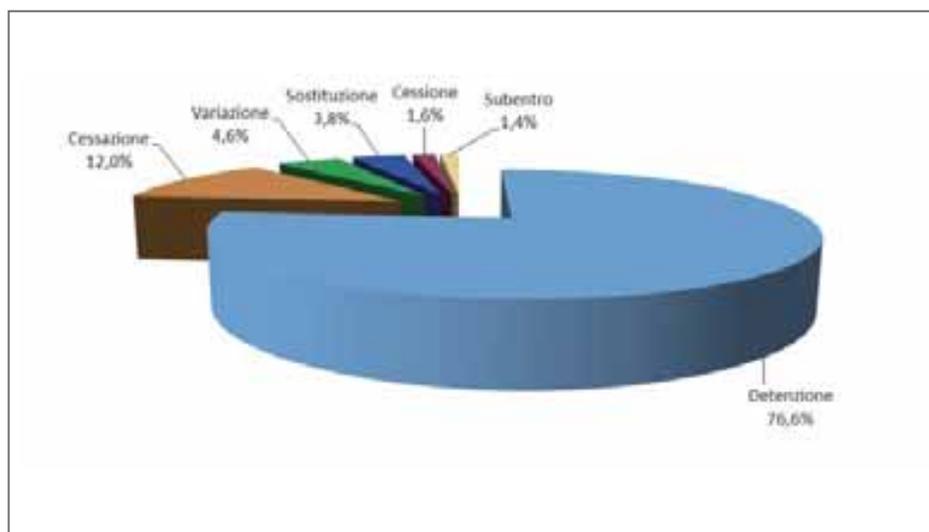


Figura 6.2
Dichiarazioni pervenute per tipo di comunicazione, anni 2000-2008

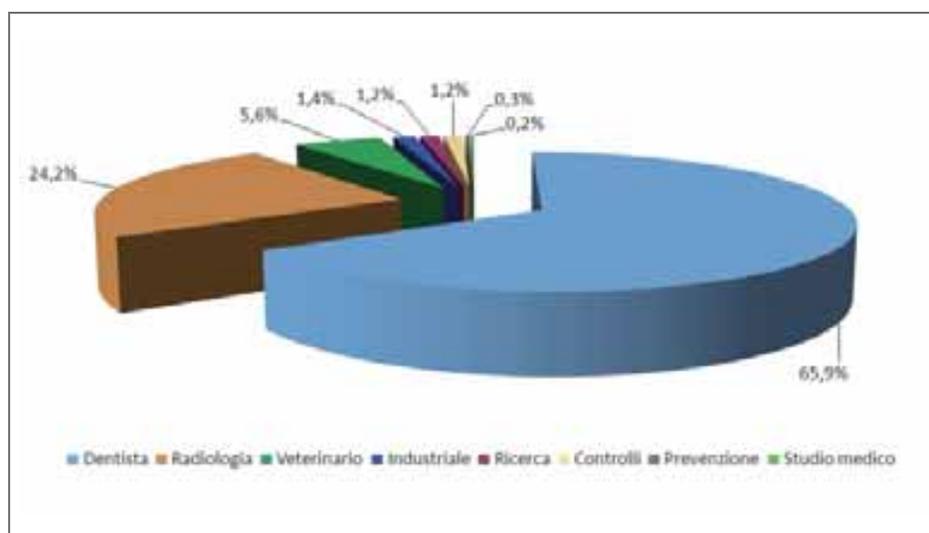


Figura 6.3
Comunicazioni pervenute per tipo di attività, anni 2000-2008

Quantità di rifiuti radioattivi detenuti

I rifiuti radioattivi sono classificati, ai fini delle tecniche/metodologie di smaltimento, dalla Guida tecnica n. 26 dell'Apat (oggi Ispra), che costituisce la norma operativa di riferimento per la materia in questione.

Secondo tale documento, vengono suddivisi in tre categorie alle quali corrispondono differenti tecniche di gestione dei rifiuti radioattivi: i parametri fisici considerati ai fini della classificazione in esame sono la concentrazione di attività e il tempo di decadimento dei radionuclidi considerati come ri-

fiuto.

In tabella 6.2 sono indicate le tre categorie di rifiuti radioattivi individuate dalla Guida tecnica n. 26 con le definizioni in base ai parametri fisici dei radionuclidi, gli esempi delle varie tipologie e le tecniche previste per lo smaltimento.

Sono tipicamente appartenenti alla prima categoria i rifiuti provenienti da attività mediche (diagnostiche o terapeutiche) che possono, generalmente, essere smaltiti come rifiuti speciali una volta che siano decaduti.

Categoria	Definizione	Esempi di tipologie	Smaltimento
Prima	Rifiuti la cui radioattività decade in tempi dell'ordine di mesi o al massimo di qualche anno	Rifiuti da impieghi medici o di ricerca, con T1/2 pari ad alcuni mesi (I125, I131, P32)	Come i rifiuti convenzionali
Seconda	Rifiuti che decadono in tempi dell'ordine delle centinaia di anni a livelli di radioattività di alcune centinaia di Bq/g, e che contengono radionuclidi a lunghissima vita media a livelli di attività inferiori a 370 Bq/g nel prodotto condizionato	Rifiuti da reattori di ricerca e di potenza; rifiuti da centri di ricerca; rifiuti da decontaminazione e smantellamento di impianti (Co60, Cs137, Sr90, Ni63)	In superficie o a bassa profondità con strutture ingegneristiche
Terza	Rifiuti che decadono in tempi dell'ordine delle migliaia di anni a livelli di radioattività di alcune centinaia di Bq/g, e che contengono radionuclidi a lunghissima vita media a livelli di attività superiori a 3.700 Bq/g nel prodotto condizionato	Rifiuti prodotti dal riprocessamento del combustibile; rifiuti contenenti transuranici da attività di ricerca (Am241, Pu, U, Np237, Tc99)	In formazioni geologiche a grande profondità

Tabella 6.2

Classificazione dei rifiuti radioattivi secondo la Guida tecnica n. 26 dell'Apat (Ispra)

I rifiuti di seconda e terza categoria sono, invece, generalmente conseguenti alle attività effettuate negli impianti nucleari - anche in fase di *decommissioning*¹ - o a seguito del *riprocessamento*² del combustibile nucleare e che, a seconda delle concentrazioni di attività e dei tempi di decadimento dei radionuclidi interessati possono essere smaltiti in depositi superficiali o in depositi costituiti da formazioni geologiche profonde dopo opportune fasi di condizionamento al fine di ridurre i possibili impatti sulla salubrità dell'ambiente e sulla salute della popolazione.

In Italia pur non essendo presenti, allo stato attuale, impianti nucleari in funzione, sono ancora prodotti rifiuti radioattivi generati inevitabilmente dalle attività umane che impiegano sorgenti di radioattività (uso pacifico dell'ener-

gia nucleare).

Infatti, accanto alle attività di produzione energetica mediante l'utilizzo del nucleare - le centrali nucleari presenti in Italia, oggi gestite dalla Sogin nella fase di *decommissioning*, producono ancora rifiuti radioattivi a seguito dello smaltimento di materiali contaminati o attivati degli impianti - devono essere presi in considerazione i rifiuti derivanti dalle attività medicali, industriali e di ricerca.

L'Ispra, al fine di poter programmare e gestire al meglio lo smaltimento, ha predisposto un inventario di tutti i rifiuti radioattivi presenti sul territorio nazionale, suddividendo per regione le quantità, in termini di attività e volume, di rifiuti radioattivi, sorgenti dismesse e combustibile irraggiato come mostrato in tabella 6.3.

(1) È la fase di smantellamento degli impianti nucleari che comporta oltre ad atti e decisioni amministrative anche una serie di interventi tecnici. Include ogni tipo di opera per la risoluzione della radioattività e la progressiva demolizione dell'impianto

(2) È una tecnica di trattamento del combustibile irraggiato usato nei reattori nucleari che consiste nella separazione dei suoi elementi costituenti: i prodotti della fissione dell'uranio, cioè i rifiuti veri e propri, l'uranio fissile residuo che può essere utilizzato ancora nelle centrali nucleari e il plutonio

Regione	Rifiuti radioattivi		Sorgenti dismesse	Combustibile irraggiato	Totale	
	Attività (GBq)	Volume (m ³)	Attività (GBq)	Attività (TBq)	Attività (TBq)	%
Piemonte	4.606.126	4.473	4.430	272.321	276.932	18,13
Lombardia	53.243	3.245	130.223	3.689	3.872	0,25
Emilia Romagna	1.773	4.091	150	1.240.057	1.240.059	81,18
Toscana	14.503	350	419.000	0	434	0,03
Lazio	50.540	7.974	684.388	4	739	0,05
Campania	425.040	2.840	nd	nd	425	0,03
Basilicata	362.326	3.171	22	4.690	5.052	0,33
Molise	46	86	0,3	nd	0,04	3,0E ⁻⁰⁶
Puglia	238	1.140	1	nd	0,24	2,0E ⁻⁰⁵
Sicilia	0,4	0,2	nd	nd	0,001	2,0E ⁻⁰⁸
Totale	5.513.836	27.371	1.238.213	1.520.761	1.527.513	

Tabella 6.3

Rifiuti radioattivi, sorgenti dismesse e combustibile irraggiato: riepilogo per regione (Fonte: Ispra, dati al dicembre 2007)

Secondo le stime di Ispra, i cui dati sono aggiornati al dicembre 2007, il totale di attività relativa ai materiali di origine elettrica (centrali nucleari Sogin), oppure provenienti dalla ricerca in campo energetico (compresi gli impianti destinati al riprocessamento del combustibile nucleare) o ancora di origine medica o industriale, ammonta a 1.527.513 TBq.

Dalla tabella si può osservare che in Campania, nonostante sul territorio sia localizzato uno dei quattro impianti costruiti per la produzione di energia da processi nucleari (la centrale del Garigliano, ora in fase di *decommissioning*), non è presente alcun contributo

all'attività di radioattività detenuta da combustibile irraggiato.

La quantità di rifiuti radioattivi detenuti è stimata in circa 2840 m³ (circa il 10% del totale nazionale) per un totale di attività di 425.040 GBq.

Il problema dello smaltimento dei rifiuti radioattivi, in particolare quelli appartenenti alla seconda e terza categoria, non è stato ancora risolto in Italia, dato che sono disseminati sul territorio nazionale diversi depositi temporanei che dovranno successivamente essere trasferiti nel deposito geologico nazionale, ancora in fase di individuazione.

Concentrazione di attività di Radon-222 in acque superficiali e sotterranee

Il Radon-222 (²²²Rn), di seguito denominato per brevità Radon, è un elemento radioattivo naturale, caratterizzato da un'emivita, ovvero un tempo di dimezzamento, di circa 4 giorni. Esso possiede numerosi altri isotopi (ben 26), dei quali solo due sono riscontrabili in natura, il Toron (²²⁰Rn) e l'Attinon (²¹⁹Rn). Il Radon discende dal Radio-226 (²²⁶Ra, con emivita pari a 1600 anni), attraverso la catena di decadimento dell'Uranio-238 (²³⁸U), che è uno dei radioisotopi naturali più diffusi nella crosta terrestre e che costituisce il radionuclide capostipite della serie isotopica, con emivita di 4,5 miliardi di anni.

Differentemente dagli altri radioisotopi della serie dell'²³⁸U, il Radon è l'unico elemento a essere gassoso in condizioni normali. Lo stesso, inoltre, risulta instabile, decadendo in una "progenie a vita breve" allo stato solido, come il Polonio-218 (²¹⁸Po) e il Polonio-214 (²¹⁴Po), entrambi di notevole interesse per la radioprotezione. Dal punto di vista chimico, il Radon appartiene all'VIII gruppo della Tavola Periodica

ed è quindi un gas nobile, incolore, inodore, insapore e quasi inerte; a differenza degli altri gas nobili, però, risulta essere più pesante, caratterizzato dal punto di fusione più elevato e da pressione e temperatura critiche maggiori. Esso è moderatamente solubile in acqua, caratteristica che dipende fortemente dalla temperatura; a una minore temperatura corrisponde una maggiore solubilità: per questo motivo può essere assorbito dai flussi idrici sotterranei che percolano attraverso suoli contenenti Radon e, quindi, veicolato anche a grandi distanze dai luoghi di produzione. A una temperatura di 20 °C, il valore del suo coefficiente di solubilità in acqua è 0,25: ciò significa che il Radon "preferisce" distribuirsi in aria piuttosto che in acqua con un rapporto di concentrazione aria/acqua di 4 a 1. Per tale motivo, il Radon fuoriesce con facilità dall'acqua quando vi si fa gorgogliare dell'aria, oppure, semplicemente, quando la si agita con vigore. Ciò fa sì che, anche nel caso di acque sorgive, la maggior parte del Radon si volatilizzi molto velocemente.

Al contrario, esso è molto solubile nei liquidi organici, come nell'olio di oliva, dove il coefficiente di solubilità è pari a 29,0 a 18°C.

Il Radon interviene indirettamente come indicatore delle falde sotterranee che alimentano pozzi e sorgenti sfruttati per fini idropotabili.

Il diverso contenuto in concentrazione di Radon fra acque sotterranee e superficiali consente, infatti, di rilevare la presenza di immissione in alveo da acque sotterranee anche in assenza di incrementi di portata, nonché di calcolare altri parametri idrodinamici, quali i tempi di residenza.

L'indicatore interviene, infine, nella caratterizzazione delle acque costiere, laddove sono presenti sorgenti costiere e sottomarine di grande portata (>1 m³/s) collegate sotterraneamente ai corpi idrici superficiali, apportatori di nutrienti ma anche di potenziali inquinanti.

Il protocollo di misura adottato prevede, per le acque superficiali, misurazioni effettuate sia in continuo - con strumentazione elettronica portatile di tipo attiva, basata su spettrometria alfa - e sia con campagne periodiche di prelievo campioni aventi volume calibrato, esaminati, successivamente in laboratorio, con spettrometria alfa. Per le acque sotterranee, le misurazioni sono effettuate su campioni di volume calibrato prelevati sul campo ed esaminati in laboratorio, sia con strumentazione elettronica, di tipologia attiva, basata su spettrometria alfa e sia con tecniche di tipologia passiva, mediante dosimetri a elettretti. Anche le misurazioni sulle acque marine e costiere sono effettuate in continuo con strumentazione elettronica portatile, di tipo attiva a spettrometria alfa. L'unità di misura adottata è il Becquerel per litro (Bq/l), mentre la periodici-

tà delle misure è mensile, con prelievi anche quindicinali in tratti campione e con afflussi meteorici intensi.

L'analisi del contenuto in termini di concentrazione di attività del Radon-222 nelle acque superficiali e il monitoraggio dei valori relativi e della loro variabilità nello spazio e nel tempo costituiscono un formidabile strumento di indagine conoscitiva per la comprensione della interazione fra acque sotterranee e fiume, contribuendo, in questo modo, alla definizione della fascia iporeica e, quindi, della interconnessione degli ecosistemi. Questo tipo di monitoraggio risulta ancor più efficace se integrato con quello chimico-fisico e biologico, in quanto contribuisce all'acquisizione del quadro complessivo della radioattività naturale come agente fisico nelle acque. I limiti di questo tipo di monitoraggio, pur nella semplicità ed economicità di acquisizione, consistono nella validazione scientifica dei dati rilevati, nonché nella loro corretta elaborazione e interpretazione in situazioni ambientali complesse.

La fase attuale, di calibrazione e validazione delle metodologie e degli approcci, consente di estendere l'applicazione dei modelli di interazione falda-fiume alle altre situazioni sensibili della Campania. Sono attualmente in corso attività nel Vallo di Diano, Bussento, Calore Salernitano, Valle del Sele, Picentini, Solofrana-Sarno, Sabato e Ofanto.

Le risultanze preliminari del monitoraggio hanno consentito di rilevare numerosi tratti fluviali in cui si riscontrano interferenze, positive o negative, fra acque sotterranee e acque superficiali, valutandone la loro variabilità spaziale e temporale connesse al regime di ricarica delle falde.

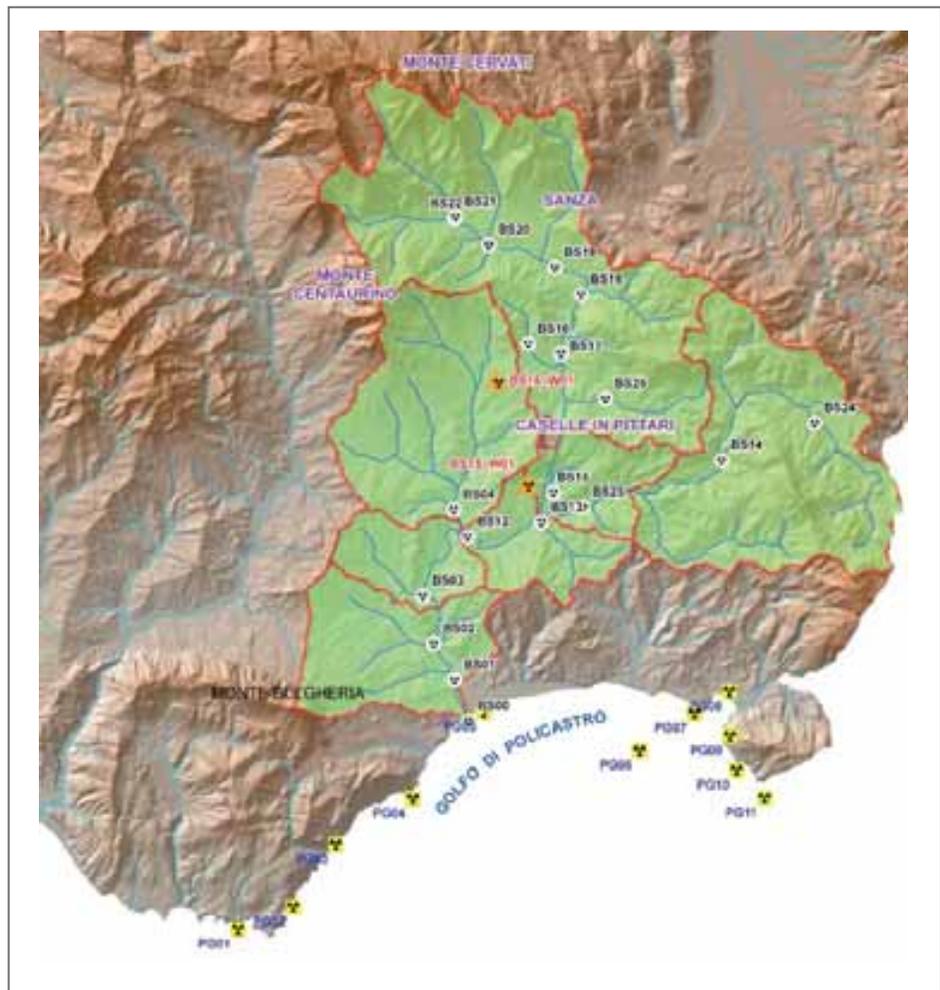


Figura 6.4
Carta delle stazioni di monitoraggio Radon-222 in alveo del fiume Bussento

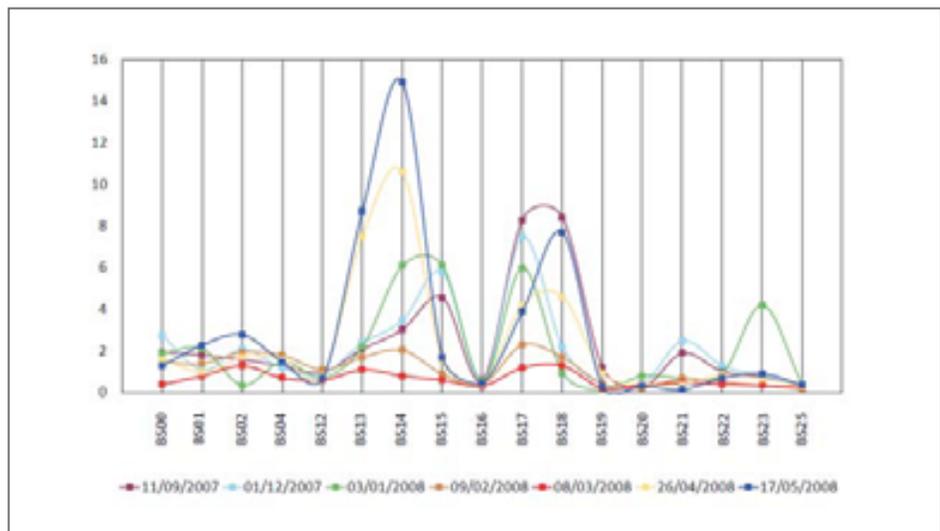


Figura 6.5
Radon-222: distribuzione dei valori di concentrazione (Bq/l) in alveo del fiume Bussento

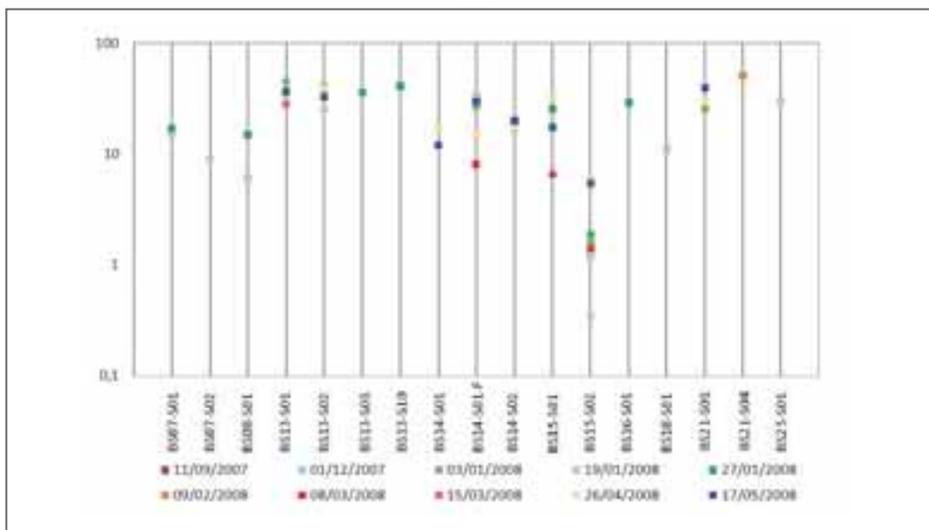


Figura 6.6
Distribuzione dei valori di concentrazione di Radon-222 (Bq/l) nelle acque sorgive in alveo del fiume Busento

SCHEDA TEMATICA

Radon-Prone Areas

Le *Radon-Prone Areas* rappresentano le "Aree a diversa suscettibilità di esalazione di Radon dal suolo". La valutazione delle *Radon-Prone Areas* su area vasta di livello regionale è stata realizzata sulla base di:

- analisi geologica aggiornata di sintesi regionale e definizione dei Sistemi litologici significativi alla scala di analisi utilizzata (figura 6.7)
- ricerca sui riferimenti bibliografici contenenti correlazioni "geology-based" e applicazione al contesto geologico campano
- redazione GIS-based della Carta delle *Radon-Prone Areas* di livello regionale (figura 6.8).

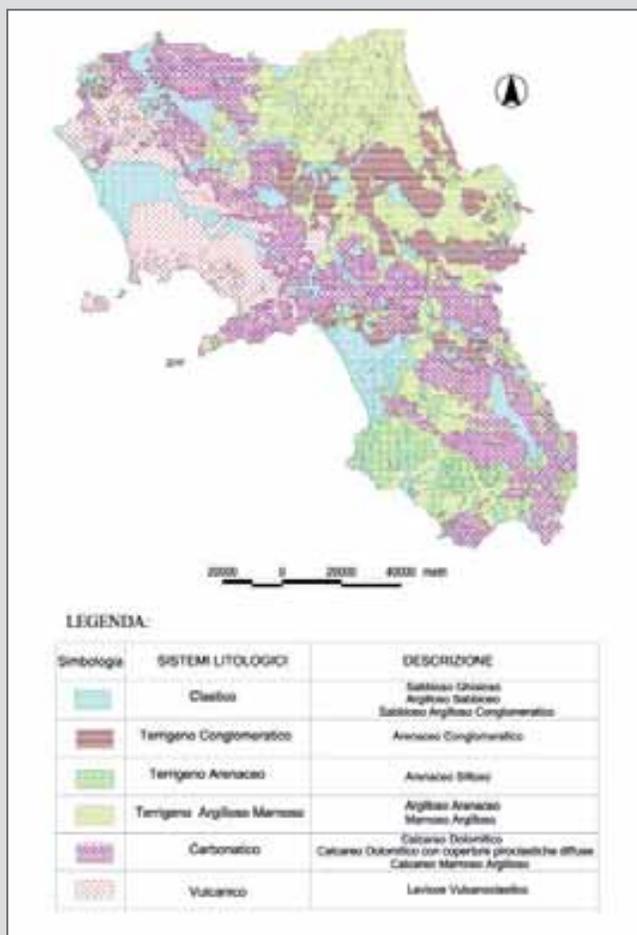


Figura 6.7
Carta dei sistemi litologici della regione Campania

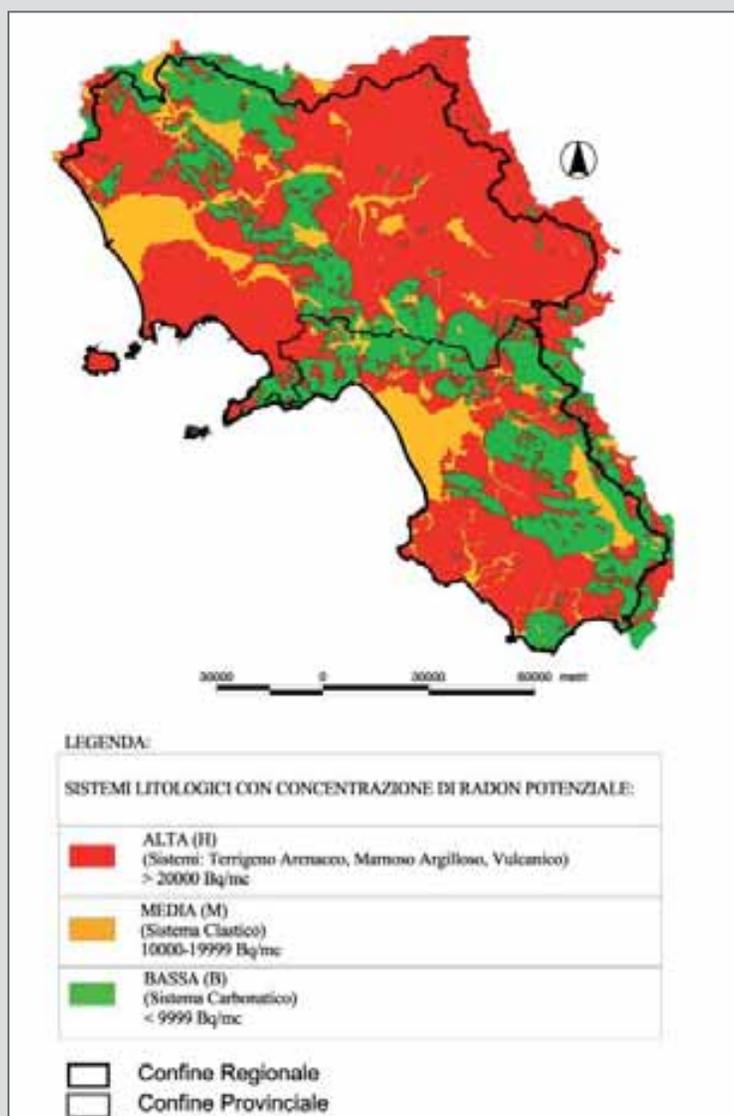


Figura 6.8
Carta preliminare delle *Radon-prone areas* di livello regionale

La procedura adottata a livello regionale, essendo stata elaborata esclusivamente su base bibliografica, non costituisce uno strumento operativo, ma solo orientativo, consentendo di avere a disposizione un quadro di riferimento regionale per i successivi approfondimenti in termini di *Radon-Prone Areas*.

Essa ha consentito di realizzare una preliminare carta delle *Radon-Prone Areas*, sempre di livello regionale, ma a scala di territorio provinciale campione. La provincia campione prescelta, per le maggiori conoscenze geologiche e la disponibilità di numerosi dati rilevati di *Radon soil-gas*, è quella di Salerno.

I fattori geologici che possono incrementare la probabilità che un'area potrebbe avere livelli di Radon superiori alla media sono:

- presenza di rocce ricche di Uranio
- suoli molto permeabili
- suoli ben drenati e spesso asciutti
- suoli con fratture nei periodi secchi
- sito localizzato su crinale o versante
- suoli sottili e *bedrock* sub-affiorante
- substrato roccioso fratturato
- presenza di condotti carsici
- registrazioni anomale di Radon *indoor*.

La procedura generale per la redazione della *Radon potential map* è mostrata in figura 6.9 e si basa sulla nota metodologia del *Factor Rating* in ambiente GIS-Raster. A ciascun fattore di *Radon Potential* corrisponde una carta in formato raster con *pixel* 20x20 metri e a ciascuna classe viene attribuito un valore proporzionale al suo contributo specifico. I fattori vengono progressivamente combinati per ricavare, in sequenza, cartografie tematiche derivate e, con successive combinazioni, la carta finale di sintesi (figura 6.10).

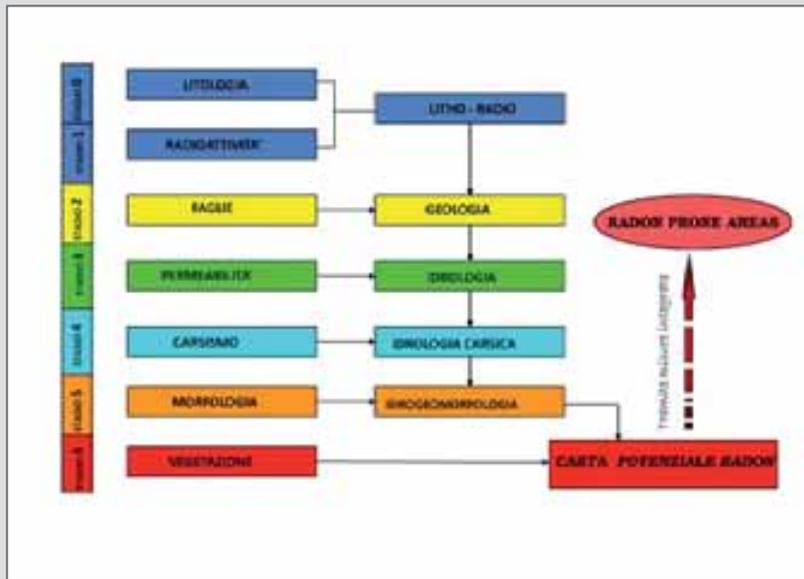


Figura 6.9
Diagramma di flusso della metodologia applicata

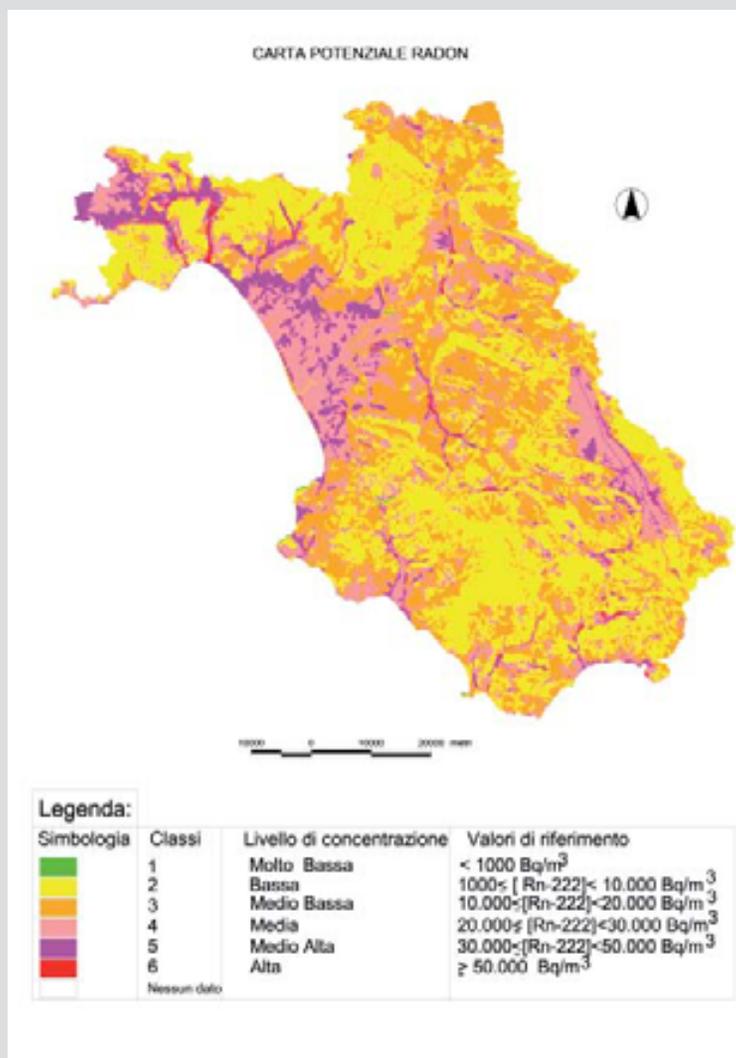


Figura 6.10
Carta delle Radon-prone areas

Concentrazione di attività di radionuclidi artificiali e naturali in matrici alimentari

L'ingestione di cibo rappresenta una delle due principali vie di contaminazione interna. La misura della concentrazione di attività in matrici alimentari consente di valutare l'esposizione interna e la dose annuale assorbita dalla popolazione o gruppi di essa.

L'articolo 104 del D.Lgs. n. 230/1995 e smi individua le reti nazionali e regionali di sorveglianza della radioattività ambientale come strumento per il controllo della radioattività nell'ambiente, negli alimenti e nelle acque potabili - destinati al consumo animale e umano - e per la stima dell'esposizione alle radiazioni ionizzanti della popolazione.

Nella regione Campania non risulta ancora istituita la rete regionale di sorveglianza prevista dall'articolo 104 del già citato decreto; Arpac ha comunque ottenuto un finanziamento a valere sui fondi dell'asse 1 del POR 2000-2006 per la realizzazione di una "Rete unica

regionale di sorveglianza della radioattività".

La misura delle concentrazioni di attività di radionuclidi artificiali e naturali nelle matrici alimentari ha, come finalità essenziale, quella di valutare la dose collettiva annuale per ingestione, un parametro sanitario di competenza esclusiva del Ministero della Salute (articolo 104 del D.Lgs. n. 230/1995).

I campionamenti alimentari sono, di norma, effettuati dalle Asl competenti per territorio sulla base di programmi congiunti con l'Assessorato regionale alla sanità e il Centro regionale per la radioattività (Crr) Arpac.

Tutte le analisi sono state effettuate in spettrometria gamma ad alta risoluzione (con rivelatori al Germanio iperpuro) presso il Crr Arpac sito a Salerno. Per la misura della concentrazione di attività in matrici alimentari viene utilizzato il Bq/Kg.

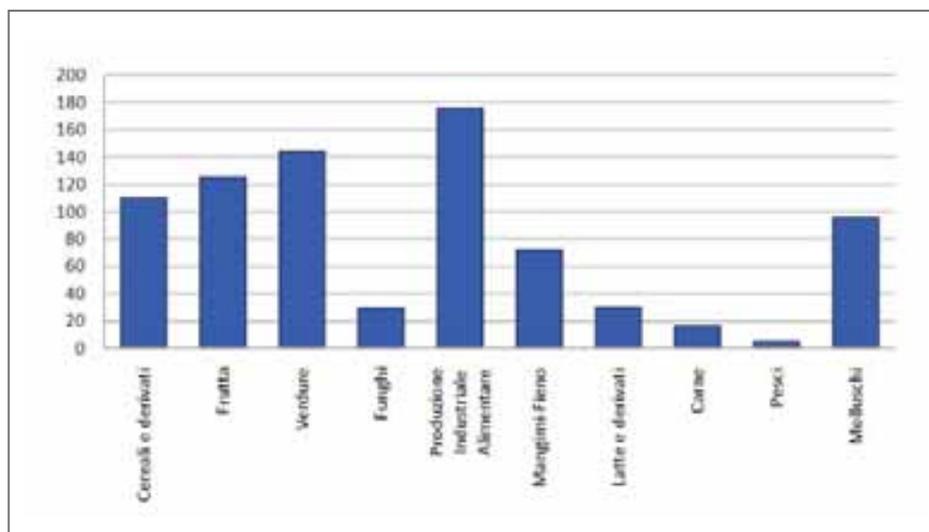


Figura 6.11
Numero di campioni prelevati per ogni matrice alimentare, anni 2005-2008

La figura 6.11 mostra il numero di campioni prelevati per ciascuna matrice alimentare; la figura 6.12 evidenzia i contributi, ottenuti accorpando le Asl competenti per le singole province campane, a detti prelievi nel periodo 2005-2008.

Per tutte le matrici elencate sono state effettuate analisi di spettrometria gamma ad alta risoluzione con rivelatore al germanio iperpuro, volte alla identificazione di radionuclidi naturali e artificiali e alla determinazione della concentrazione delle relative attività (in Bq/Kg).

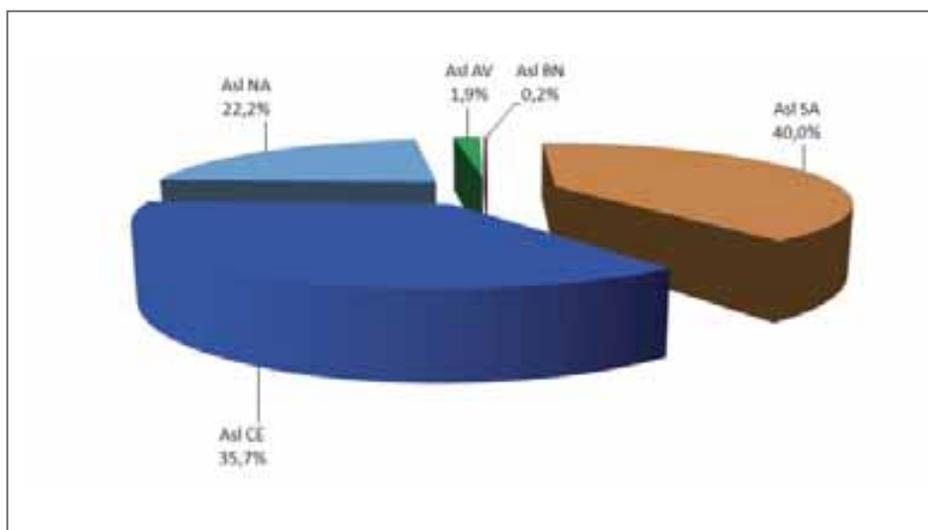


Figura 6.12
Campioni di alimenti indagati per Asl di competenza, anni 2005-2008

SITUAZIONE	Asl AV	Asl BN	Asl CE	Asl NA	Asl SA
Cereali e derivati	0,20	-	0,25	0,28	0,27
Frutta	1,30	-	0,60	0,71	0,57
Verdure	-	-	0,31	0,30	0,46
Funghi	2,40	-	15,34	0,32	4,78
Prodotti industria alimentare	3,90	0,20	3,46	7,89	0,32
Mangimi-Fieno	0,04	-	-	0,35	0,28
Latte e derivati	-	-	0,25	0,32	0,11
Carne	-	-	-	0,28	0,2
Pesci	0,46	-	-	-	-
Molluschi	-	-	0,19	0,11	0,16

Tabella 6.4
Concentrazione media di attività di Cs-137 (Bq/Kg)

SITUAZIONE	Asl AV	Asl BN	Asl CE	Asl NA	Asl SA
Cereali e derivati	-	-	48	110	85
Frutta	213	-	98	258	159
Verdure	-	-	160	106	282
Funghi	115	-	624	130	135
Prodotti industria alimentare	194	9,5	50	38	76
Mangimi-Fieno	351	-	-	251	220
Latte e derivati	-	-	40	34	59
Carne	-	-	-	92	96
Pesci	145	-	-	-	-
Molluschi	-	-	43	43	49

Tabella 6.5
Concentrazione media di attività di K-40 (Bq/Kg)

Le tabelle 6.4 e 6.5 mostrano i valori medi delle concentrazioni di attività di due dei radionuclidi di riferimento ottenuti su campioni prelevati nel periodo 2005-2008 e specificamente Cesio -137 (artificiale) e Potassio-40 (naturale).

Analogamente, le tabelle 6.6 e 6.7 riportano i valori massimi di concentrazione per i due radionuclidi di riferimento su campioni prelevati nello

stesso periodo.

I valori di contaminazione misurati dovuti a radionuclidi artificiali (ad esempio Cesio-137) sono appena rilevabili nella maggioranza delle matrici esaminate.

In particolare, la concentrazione di attività relativa all'isotopo del Cesio-134 - di provenienza esclusiva dall'evento incidentale di Chernobyl - è da considerarsi oramai al di sotto delle soglie

di rilevazione strumentali. Restano comunque confermati, in poche matrici, valori ancora significativi di Cesio-137.

Numero, tipologia e provenienza delle matrici risultano non rappresentative né aggregabili ai fini della valutazione della dose.

Tabella 6.6
Concentrazione massima di attività di Cs-137 (Bq/Kg)

SITUAZIONE	Asl AV	Asl BN	Asl CE	Asl NA	Asl SA
Cereali e derivati	0,20	-	1,0	0,9	0,3
Frutta	3,40	-	20,0	2,0	3,0
Verdure	-	-	1,0	0,4	2,0
Funghi	5,00	-	59,0	0,6	76,0
Prodotti industria alimentare	3,90	0,3	186,0	202,0	1,6
Mangimi-Fieno	0,04	-	-	1,2	1,6
Latte e derivati	-	-	0,3	1,0	0,2
Carne	-	-	-	0,4	0,5
Pesci	0,80	-	-	-	-
Molluschi	-	-	0,3	0,3	0,6

Tabella 6.7
Concentrazione massima di attività di K-40 (Bq/Kg)

SITUAZIONE	Asl AV	Asl BN	Asl CE	Asl NA	Asl SA
Cereali e derivati	-	-	156	215	107
Frutta	336	-	330	1.000	520
Verdure	-	-	790	125	1.411
Funghi	187	-	1.055	511	2.280
Prodotti industria alimentare	194	12	300	179	426
Mangimi-Fieno	351	-	-	1.295	918
Latte e derivati	-	-	82	72	528
Carne	-	-	-	133	169
Pesci	175	-	-	-	-
Molluschi	-	-	94	109	178

Concentrazione di attività di radionuclidi nelle acque potabili

Il consumo delle acque potabili costituisce un mezzo di introduzione di radionuclidi artificiali e naturali all'interno dell'organismo umano. Pertanto la misura della concentrazione di attività nelle acque potabili consente di stimare uno dei contributi alla esposizione interna alle radiazioni ionizzanti e la dose annuale assorbita dalla popolazione o gruppi di essa.

In base a un programma pluriennale congiunto tra l'Assessorato regionale alla sanità e il Crr Arpac, le Aziende sanitarie locali sono state incaricate di effettuare una prima fase di prelievi di acque potabili presso le sorgenti idri-

che di approvvigionamento, al fine di ottenere un'indicazione delle concentrazioni di Radon e di alfa-beta totali relativa alle acque nei punti sorgivi.

Tale monitoraggio, effettuato nel biennio 2004-2005, è stato implementato con fine esclusivamente conoscitivo e costituisce la base per la programmazione successiva.

Come per gli alimenti, il campionamento delle acque destinate al consumo umano è di competenza delle diverse Asl territoriali, mentre l'attività di controllo resta di competenza del Ministero della salute.

La figura 6.13 evidenzia il contributo

delle singole Aziende sanitarie locali ai campionamenti nell'intervallo temporale 2005-2008; i campioni di acque potabili pervenuti nel 2007 e 2008 sono stati prelevati esclusivamente dalla Asl Salerno 2.

Le misure effettuate su tali campioni sono le seguenti:

- concentrazione di attività alfa totale (Bq/l)

- concentrazione di attività beta totale (Bq/l)
- concentrazione di attività di Radon (^{222}Rn) (Bq/l).

Le prime due sono state determinate mediante conteggio in scintillazione liquida con rivelatore Quantulus 1220, la terza con l'utilizzo di rivelatore Radon a camera di ionizzazione Alpha-guard.

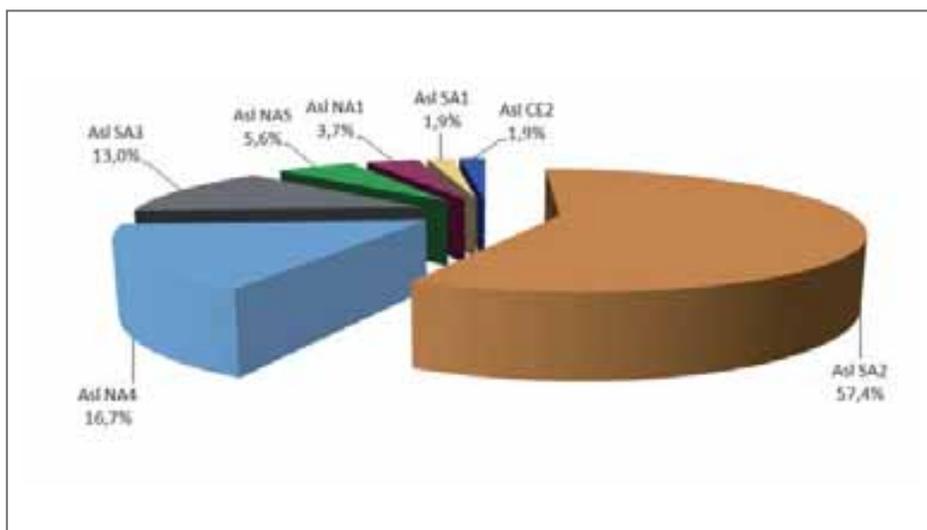


Figura 6.13
Campioni di acque potabili prelevate dalle Asl (Radon, Alfa totali, Beta totali), anni 2005-2008

N. campioni totali	78		
Media SA alfa,beta, Radon	0,05	0,93	11,91
Max SA alfa, beta, Radon	0,32	2,99	147,77
N. campioni alfa > 0,5	0	0%	
N. campioni beta > 1	31	29%	
N. campioni Radon > 100	2	3%	

Tabella 6.8
Analisi effettuate su campioni prelevati dalle Asl di Salerno (Bq/l)

N. campioni totali	78		
Media NA alfa, beta, Radon	0,17	6,86	17,35
Max NA alfa, beta, Radon	2,03	39,01	51,35
N. campioni alfa > 0,5	1	3,6%	
N. campioni beta > 1	27	96%	
N. campioni Radon > 100	0	0%	

Tabella 6.9
Analisi effettuate su campioni prelevati dalle Asl di Napoli (Bq/l)

N. campioni totali	2		
Media CE alfa, beta, Radon	0,05	3,05	22,24
Max CE alfa, beta, Radon	0,06	3,36	27,88
N. campioni alfa > 0,5	0	0%	
N. campioni beta > 1	2	100%	
N. campioni Radon > 100	0	0%	

Tabella 6.10
Analisi effettuate su campioni prelevati dalle Asl di Caserta (Bq/l)

Le tabelle 6.8, 6.9 e 6.10 mostrano rispettivamente valori medi, massimi e numero di sforamenti delle analisi effettuate su campioni prelevati dalle Asl di Salerno, di Napoli e di Caserta nel periodo 2005-2008.

È possibile osservare che la concentrazione di attività alfa totale è generalmente al di sotto di 0,5 Bq/l per la quasi totalità dei campioni analizzati, mentre per la concentrazione di attività beta totale, è frequentemente superato il valore di 1 Bq/l. Per quanto

riguarda la concentrazione di gas Radon, si osserva il superamento del valore di 100 Bq/l per solo due campioni analizzati.

Queste misure non rappresentano un risultato da confrontare con normative di riferimento, bensì la base conoscitiva su cui programmare le azioni successive e conseguenti sia per l'implementazione delle metodiche di campionamento e misura sia per migliorare l'intero apparato organizzativo della campagna di indagine.