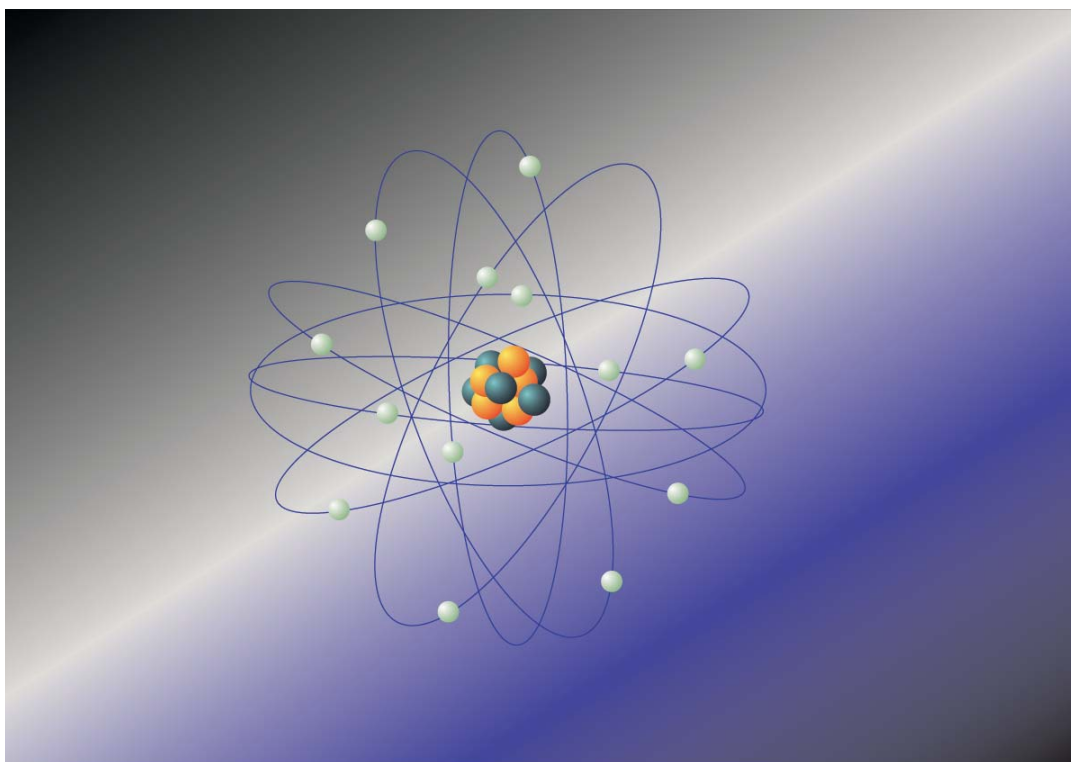


PARTE III



Radioattività

Autori: Nicola Adamo, Maria Rosaria Della Rocca, Domenico Guida, Michele Guida,
Raffaele Lino, Enrico Sicignano

CAPITOLO 7

INQUADRAMENTO NORMATIVO

7.1 Introduzione

La “radioattività” è un fenomeno fisico naturale da sempre presente nell’Universo e consiste, in via esemplificativa, nell’emissione, da parte dei nuclei instabili di alcuni elementi chimici, di radiazione ad alta energia (radiazione ionizzante), sia di tipo particellare (emissioni alfa e beta) che ondulatoria (emissione gamma) e nella loro conseguente trasformazione nucleare in elementi più stabili energeticamente. Questi elementi radioattivi sono definiti anche “radionuclidi” proprio a sottolineare che il fenomeno della radioattività riguarda esclusivamente i nuclei e che nessun intervento di tipo chimico è in grado di interferire con essa.

I radionuclidi sono generalmente classificati in funzione dell’origine che li ha prodotti e, pertanto, avremo:

- radionuclidi artificiali
- radionuclidi naturali (*Naturally Occurring Radioactive Materials* - NORM)
- radionuclidi naturali incrementati da attività tecnologiche (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials* - TENORM).

I radionuclidi artificiali derivano, quale prodotto diretto o indiretto, dall’utilizzazione antropica del fenomeno della radioattività. Il loro campo di impiego è quanto mai vasto ed è suddiviso, essenzialmente in due categorie, in funzione del livello informativo disponibile:

- tecnologie a scopo pacifico
- tecnologie per uso militare.

Nel primo gruppo ricadono le seguenti tipologie di utilizzo:

- produzione di energia elettrica da fissione nucleare (attualmente vietata in Italia)
- diagnostica, nel campo della medicina nucleare e terapeutica, con la radioterapia (esterna, endocavitaria, metabolica)
- controlli non distruttivi
- controlli nei processi produttivi per misure di livello, spessore, densità, umidità
- realizzazione di scritte e quadranti luminosi da fluorescenza radioindotta
- ricerca scientifica.

Il secondo gruppo include, certamente, gli impieghi nella produzione di armi e mu-

nizionamenti, ma anche la propulsione di navi e sottomarini mediante reattori nucleari.

Non sono noti, con la stessa chiarezza, altri usi militari come l'impiego nella realizzazione di corazzature a protezione dei carri armati o nelle leghe utilizzate nei motori aeronautici, etc.

I radionuclidi naturali (NORM) sono diffusamente presenti nell'ambiente, con diverse concentrazioni nel suolo, nell'acqua, nell'aria, nei vegetali e negli 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.

Il radionuclide naturale più importante, dal punto di vista dell'esposizione collettiva e del rischio associato, è il gas Radon, presente in natura sotto forma di tre isotopi:

- Radon-222, indicato brevemente con "Radon", figlio del Radio-226 ed appartenente alla famiglia dell'Uranio-238
- Radon-220, detto "Thoron", figlio del Radio-224 ed appartenente alla famiglia del Torio-232
- Radon-219, detto "Attinon", figlio del Radio-223 ed appartenente alla famiglia degli Attinidi (con capostipite l'Uranio-235).

Tra questi, attenzione particolare va riservata al Radon-222, in quanto, avendo una "emivita" (periodo durante il quale dimezza l'attività) di 3,8 giorni, è in grado di raggiungere concentrazioni molto elevate sia negli ambienti chiusi, di vita e di lavoro, che nelle acque potabili e, pertanto, quello più pericoloso dal punto di vista del rischio per i lavoratori e la popolazione. Di seguito, saranno esposti nella parte relativa al monitoraggio i risultati di diverse campagne di misura nelle acque superficiali e sotterranee, effettuate nel bacino campione, ed in quella relativa alla sperimentazione saranno esposti gli approcci utilizzati per la individuazione delle Aree a diversa Suscettibilità di Esalazione di Radon dal Suolo ("Radon-prone Areas").

I radionuclidi naturali incrementati da attività tecnologiche (TENORM) costituiscono spesso una delle principali sorgenti di esposizione della popolazione. A questa categoria appartengono, infatti, tutti quei materiali utilizzati nelle attività produttive che, pur non considerati radioattivi, contengono radionuclidi naturali che, per effetto dell'intervento tecnologico o di scelte produttive, vengono concentrati, incrementando così significativamente l'esposizione dei lavoratori e della popolazione attraverso:

- la produzione di residui con elevate concentrazioni di radionuclidi e conseguente contaminazione di suolo, aria, acqua ed alimenti per l'impiego di prodotti in cui i NORM hanno subito un processo di concentrazione
- la produzione di derivati da lavorazione di minerali che sono destinati all'impiego da parte di persone del pubblico e nei quali la presenza di radionuclidi è significativa ai fini dell'esposizione di queste.

Tipici TENORM sono:

- i fertilizzanti fosfatici

- le sabbie zirconifere per impieghi ceramici
- i residui di impianti di trattamento delle acque potabili
- i residui di impianti petroliferi o di gas naturale.

Per completare il quadro d'insieme della radioattività, passiamo a definire la "Misura della radioattività e delle radiazioni ionizzanti". L'attività di un radionuclide fornisce un'indicazione sulla frequenza media con la quale esso emette radiazioni ionizzanti e non è, in alcun modo, correlata al tipo di radiazione emessa ed alla loro energia. La misura dell'attività viene eseguita in funzione del tipo di particelle emesse durante il singolo processo di decadimento e, pertanto, occorre utilizzare rivelatori specifici per ognuna di queste. L'unità di misura internazionale dell'attività è il Becquerel (Bq) con i suoi multipli, che ha sostituito la misura in Curie (Ci), utilizzata fino all'entrata in vigore del D.Lgs. n. 230 del 17/03/1995. Il Becquerel ha il vantaggio di fornire con maggiore immediatezza il dato fisico, in quanto la sua unità rappresenta una disintegrazione nucleare al secondo.

La disciplina che si occupa della misura e della valutazione della quantità di energia rilasciata nell'unità di massa del materiale attraversato dalle radiazioni su indicate prende il nome di "dosimetria". Quando tali misure sono finalizzate alla valutazione del rischio sanitario conseguente all'esposizione del corpo umano e/o dei suoi organi, si parla di "Dosimetria Radioprotezionistica".

Un altro degli aspetti principali è rappresentato dalla "esposizione dell'uomo a sorgenti radioattive". Il concetto utilizzato per esprimere il rischio derivante dall'esposizione è quello della "dose efficace", che tiene conto della quantità di radiazione, del tipo (X , γ , β , α , 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 cinque anni consecutivi, mentre per i cittadini l'esposizione dovuta 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 X , γ , β , n e si parla allora di esposizione esterna
- per ingestione o inalazione di radioisotopi, con conseguente deposito in organi e tessuti e si parla, in questo caso, di esposizione o contaminazione interna.

Per la valutazione della dose individuale, 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).

L'assorbimento di radiazioni oltre certi limiti produce sempre effetti lesivi sull'organismo. Generalmente gli organi ed i tessuti più colpiti sono quelli caratterizzati da cellule a rapida proliferazione come, ad 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.

In tabella 7.1 sono riportati i valori medi delle dosi ricevute dalla popolazione italiana dovute al contributo delle diverse tipologie di sorgenti radioattive.

DOSI EFFICACI ANNUALI DA SORGENTI NATURALI PER INDIVIDUI ADULTI			
Sorgente	Tipo d'esposizione	Dose efficace (media mondiale) (mSv/anno)	Dose efficace (media italiana) (mSv/anno)
Raggi cosmici	Esterna	0,39	0,30
Radioisotopi cosmogenici	Interna (ingestione)	0,01	0,01
Radioisotopi primordiali	Esterna	0,46	0,58
	Interna (escluso Radon)	0,23	0,23
	Interna da Radon	1,30	2,00
Totale	Esterna, interna	2,40	3,10

Tabella 7.1 - Dosi efficaci annuali da sorgenti naturali, per individui adulti

Dai dati riportati in tabella si evince chiaramente che risulta estremamente rilevante il contributo medio annuo di esposizione alla radioattività ambientale dovuto al Radon il che comporta la necessità di adozione di approcci appropriati.

7.2 Normativa comunitaria

L'utilizzo di sostanze radioattive e la conseguente esposizione ad esse è stata oggetto di attento e continuo interesse, sia a livello internazionale che nazionale, dei legislatori che nel corso degli anni hanno prodotto direttive, regolamenti, leggi, trattati e convenzioni.

Le norme in materia di radioprotezione della popolazione dall'esposizione alla radioattività ambientale, ed in particolare al Radon vista la sua rilevanza sottolineata al paragrafo precedente, possono essere distinte, essenzialmente, in:

- provvedimenti finalizzati alla riduzione del rischio negli ambienti di lavoro
- provvedimenti diretti ad ottenere lo stesso risultato negli ambienti di vita.

Per brevità, in questa sede ci si limiterà ad elencare solo le principali e le più signi-

ficative.

Dalla sua istituzione nel 1957, la Comunità Europea per l'Energia Atomica, EURATOM, il cui trattato istitutivo è stato ratificato in termini esecutivi dal nostro Paese con la Legge n. 1203 del 14/10/1957, ha prodotto, in materia sia di sostanze radioattive (in particolare, in merito alla loro gestione, uso, impiego e trasporto, per scopi pacifici) che di radiazioni ionizzanti, una serie di innumerevoli Direttive e Raccomandazioni, tutte recepite dalla legislazione del nostro Paese, tra le quali quelle più rilevanti in termini di radioattività ambientale sono le seguenti:

- *Direttiva EURATOM n. 836 del 1980*
- *Direttiva EURATOM n. 466 del 1984*
- *Direttiva EURATOM n. 467 del 1984*
- *Direttiva EURATOM n. 618 del 1989*
- *Direttiva EURATOM n. 641 del 1990*
- *Direttiva EURATOM n. 3 del 1992*
- *Direttiva EURATOM n. 29 del 1996*

In particolare, in materia di esposizione della popolazione al Radon, meritano speciale attenzione e menzione due Raccomandazioni EURATOM.

La prima, la *Raccomandazione 1990/143/EURATOM*, mediante la quale la Comunità Europea, nell'intento di armonizzare, negli Stati Membri, gli standard di protezione dalle radiazioni ionizzanti naturali negli ambienti residenziali, soprattutto in relazione ai livelli di concentrazioni di Radon indoor, ha indicato due valori di riferimento:

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

Con la seconda, invece, la *Raccomandazione 2001/928/EURATOM*, l'Unione Europea si è preoccupata di approfondire e normare il tema relativo alla "tutela della popolazione contro l'esposizione al Radon nell'acqua potabile".

Al momento nessuna di queste Raccomandazioni è stata recepita dalla nostra legislazione nazionale, eccetto per la prima, una circolare della Regione Lombardia del 1991, che, con la deroga ex art. 8 del *DPR n. 303 del 19/03/1956*, accerta che nei luoghi chiusi e sotterranei devono essere effettuati dei controlli che rilevano la concentrazione di radon che non deve superare quella stabilita della raccomandazione 1990/143/CEE del 21/02/1990.

Per quanto riguarda le Direttive emanate dal Consiglio d'Europa e dalla Comunità Europea, meritano menzione la *Direttiva 1994/55/CE*, recepita dalla nostra legislazione, concernente il trasporto internazionale di merci pericolose su strada (ADR), in particolare quello di materiale radioattivo e quella *1989/106/CEE* che norma la radioattività dei prodotti da costruzione.

Risultano numerose e varie anche le Direttive, le Raccomandazioni e le Disposizioni emesse dagli organismi internazionali delle Nazioni Unite preposti alla vigilanza

sull'impiego pacifico dell'energia nucleare da parte dei Paesi firmatari, come ad esempio la Commissione delle Nazioni Unite sugli Effetti della Radiazione Atomica (United Nations Scientific Committee on the Effects of the Atomic Radiation (UNSCEAR)), la Commissione Internazionale sulla Protezione Radiologica (International Commission on Radiological Protection (ICRP)) e l'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA) di Vienna. In particolare, per quanto riguarda quest'ultima, tra le varie disposizioni, merita menzione il Documento INFCIRC/254 del febbraio 1978 concernente le direttive applicabili ai trasferimenti di materiali e tecnologie nucleari.

7.3 Normativa nazionale

Per quel che concerne la legislazione nazionale in materia di radioattività, si evidenzia che è stata sin dagli inizi improntata soprattutto alla regolamentazione dell'impiego pacifico dell'energia nucleare e di tutte quelle attività ad esso collegate ed ha avuto un intenso sviluppo dall'inizio degli anni '60 con l'entrata in vigore della Legge n. 1860 del 31/12/1962 e del successivo DPR n. 185 del 13/02/1964, a cui sono seguiti vari decreti applicativi.

L'entrata in vigore del D.Lgs. n. 230 del 17/03/1995 e le successive modificazioni introdotte con il D.Lgs. n. 241 del 26/05/2000 e il D.Lgs. n. 257 del 09/05/2001 come attuazione della Direttiva 1996/29/EURATOM (vedi paragrafo 7.2), ha determinato l'abrogazione, pressoché totale, del DPR n. 185 del 13/02/1964 e non della Legge n. 1860 del 31/12/1962 che continua a rappresentare uno dei principali riferimenti normativi per l'impiego pacifico dell'energia nucleare e dell'utilizzo della radioattività e delle sostanze radioattive. Il panorama normativo nazionale in termini cronologici può così essere sintetizzato, con particolare attenzione a quelle disposizioni di legge concernenti la tutela della popolazione e dei lavoratori dall'esposizione a radiazioni ionizzanti di origine naturale, come ad esempio il Radon:

- *Legge n. 1203 del 14/10/1957, "Ratifica ed esecuzione del Trattato istitutivo della Comunità Europea dell'Energia Atomica (EURATOM)".*
- *Legge n. 1860 del 31/12/1962, "Impiego pacifico dell'energia nucleare", modificata ed integrata dal DPR n. 1704 del 30/12/1965, dalla Legge n. 1008 del 19/12/1969, dal DPR n. 519 del 10/05/1975 e dal D.M. 20/03/1979 (G.U. n. 96 del 05/04/1979).*
- *Circolare n. 16/F del 21/04/1965 del Ministero Industria, Commercio e Artigianato, concernente la procedura per le autorizzazioni al trasporto stradale di materie radioattive e fissili speciali.*
- *Legge n. 704 del 07/04/1982, "Ratifica ed esecuzione della convenzione sulla protezione fisica dei materiali nucleari".*
- *D.M. 22/02/1990, "Allineamento delle norme nazionali a quelle internazionali ADR per il trasporto su strada di merci pericolose".*
- *D.M. TT/599/73/3 del 19/08/1985, "Parziale assoggettamento per le Ferrovie dello Stato ed i Vettori stradali all'obbligo della comunicazione preventiva dei*

trasporti effettuati ai Prefetti ed alle Aziende Ospedaliere”.

- *D.Lgs. n. 230 del 17/03/1995, “Legge quadro nazionale nell’impiego dell’energia nucleare”, che ha sostituito il DPR n. 185 del 13/02/1964 e decreti applicativi e concerne l’attuazione delle Direttive EURATOM 1980/836, 1984/467, 1984/466, 1989/618, 1990/641 e 1992/3 in materia di radiazioni ionizzanti, di cui al paragrafo 7.2. Tale decreto rappresenta, a livello nazionale, insieme alle sue integrazioni, ovvero il D.Lgs. n. 241 del 26/05/2000 e il D.Lgs. n. 187 del 26.05.2000, a cui si è aggiunto il D.Lgs n. 257 del 09/05/2001, la norma guida in materia di radioattività.*
- *D.M. 04/09/1996 del Ministero dei Trasporti e della Navigazione, “Attuazione della Direttiva 1994/55/CE del Consiglio dell’Unione Europea”, vedi paragrafo 7.2.*
- *Circolari n. 162 del 16/12/1996 e n. 31 del 04/04/1997 del Ministero dei Trasporti e della Navigazione, “Prescrizioni di sicurezza relative al trasporto nazionale ed internazionale su strada di materie radioattive (classe 7 di cui alla classifica contenuta degli allegati A e B del succitato D.M. 04/09/1996)”. La circolare recepisce le disposizioni tecniche internazionali del trasporto di merci pericolose (ADR) aggiornate.*
- *Circolare n. 244/F del 26/05/1997, “Disposizioni amministrative relative all’autorizzazione per la effettuazione dei trasporti stradali di materie radioattive e fissili speciali”.*
- *D.M. n. 162 del 16/12/1996, “Trasporto di grandi sorgenti radioattive e materiale fissile”.*
- *Decreti applicativi del D.Lgs. n. 230 del 17/03/1995.*
- *D.Lgs. n. 187 del 26.05.2000, “Tutela del Paziente radiologico”. È la prima norma nazionale che, su direttiva della Comunità Europea, sancisce diversi adempimenti da attuare da parte dell’esercente nell’uso delle radiazioni ionizzanti nel campo sanitario.*
- *D.Lgs. n. 241 del 26/05/2000, “Esposizione occupazionale alla radioattività naturale”, introduce un sistema regolatorio per l’esposizione occupazionale alla radioattività naturale, come previsto dal Titolo VII della Direttiva 1996/29/EURATOM, introducendo nel precedente D.Lgs. n. 230 del 17/03/1995 il Capo III-bis “Esposizione da attività lavorative con particolari sorgenti naturali di radiazioni”. Il Decreto si applica a quelle attività lavorative “. nelle quali la presenza di sorgenti di radiazioni naturali conduce ad un aumento significativo dell’esposizione dei lavoratori o di persone del pubblico che non può essere trascurato dal punto di vista della radioprotezione”. Le attività lavorative interessate sono distinte in 6 categorie, di cui 5 relative direttamente od indirettamente al Radon ed una alle attività lavorative su aerei, ed in particolare:*
 - a. *attività lavorative durante le quali i lavoratori e, se del caso, persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del Radon o del Thoron, o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in luoghi di lavoro quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro*

sotterranei

- b. attività lavorative durante le quali i lavoratori e, se del caso, persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del Radon o del Thoron, o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in luoghi di lavoro diversi da quelli di cui alla lettera a in zone ben individuate o con caratteristiche determinate
- c. attività lavorative implicanti l'uso o lo stoccaggio di materiali abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali e provocano un aumento significativo dell'esposizione dei lavoratori e, eventualmente, di persone del pubblico
- d. attività lavorative che comportano la produzione di residui abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali e provocano un aumento significativo dell'esposizione di persone del pubblico e, eventualmente, dei lavoratori
- e. attività lavorative in stabilimenti termali e attività estrattive non disciplinate dal capo IV.

Il decreto consta di 11 allegati, tra cui modalità di istanza autorizzativi di:

- pratiche radioattive e radiologiche
 - trasporto di materiale radioattivo
 - trasporti di rifiuti radioattivi nazionali
 - trasporti rifiuti radioattivi internazionali.
- *D.Lgs n. 257 del 09/05/2001, "Modifiche burocratiche e correzioni al D.Lgs. 241 del 26/05/2000".*
 - *D.Lgs. n. 52 del 05/02/2007, "Classificazione e definizione di grande sorgente radioattiva. Nuove disposizioni autorizzative per grandi sorgenti radioattive (obbligo assicurativo in caso di incidente nucleare o di smaltimento, integrazione autorizzazione prefettizia)".*

7.4 Normativa regionale

Per quanto attiene a normative di carattere regionale, ad oggi, non risulta alcuna emanazione. L'unico documento in materia è, infatti, rappresentato dalla *Circolare prot. 5509 del 31/08/1998 dell'Assessorato all'Ecologia e Tutela dell'Ambiente della Campania* avente ad oggetto il *"Ritrovamento di materiale radioattivo in rottami metallici"*, in cui viene affrontato, per la prima volta, a seguito di un incidente, il problema delle "sorgenti orfane" o "disperse". Con tale termine, oramai di uso corrente, si intende una sorgente che pone un rischio radiologico tale da richiedere un regime di controllo, ma ne è priva perché è stata abbandonata, perduta, nascosta, rubata o trasferita senza autorizzazione. Tale circolare, non essendo probabilmente lo strumento d'elezione, non ha raggiunto i risultati voluti ed il quadro attuale presenta ancora una frammentazione delle competenze.

CAPITOLO 8

INTERVENTI DELLA MISURA 1.1 P.O.R. CAMPANIA 2000 - 2006: “MONITORAGGIO DELLA RADIOATTIVITA' SUL TERRITORIO DELLA REGIONE CAMPANIA”

8.1 Sintesi del progetto

L'Asse 1 del POR Campania 2000-2006, “Risorse Naturali”, prevede come Misura 1.1 la “Realizzazione del Sistema Regionale di Monitoraggio Ambientale”, al fine di attuare il necessario controllo sullo stato ambientale del territorio regionale.

In tale ambito s'inserisce il progetto “Monitoraggio della Radioattività Ambientale”, che rappresenta una parte dell'intero sistema di monitoraggio regionale da attuare attraverso la suddetta Misura 1.1 che ha l'obiettivo di costruire una rete in grado di prevenire, intercettare e minimizzare i rischi originati da:

- incidenti nell'impiego di radionuclidi
- realtà naturali potenzialmente a rischio per la collettività
- sorgenti radioattive orfane
- incidenti non preventivabili a priori.

Il progetto del monitoraggio della radioattività sul territorio della regione Campania prevede un'implementazione organizzativa e tecnica del Centro di riferimento Regionale per il controllo della Radioattività (C.R.R.), l'istituzione dei Punti di Osservazione Territoriale (POT) e l'attivazione di una “Rete Unica Regionale di Sorveglianza della Radioattività”.

I laboratori regionali specialistici di controllo sono stati istituiti (uno per regione o provincia autonoma) sulla scorta della Circolare n. 2/1987 del Ministero della Sanità e costituiscono da una parte i nodi della Rete Nazionale per la sorveglianza della radioattività coordinata da APAT, dall'altra i centri di riferimento per la Rete Regionale.

L'attività del Centro è quella di elaborare i dati ed analizzare le informazioni che confluiscono costantemente dai nodi periferici, nonché coordinare ed indirizzare le attività periferiche e rendere disponibili i risultati delle attività. Presso il Centro, verrà, altresì, collocata la struttura necessaria per le attività amministrative di gestione.

I Punti di Osservazione Territoriale (POT) sono cinque, uno per provincia, costituiscono i nodi provinciali della rete, hanno un'attività di base su scala provinciale e funzioni di laboratorio specialistico a valenza regionale sulle seguenti tematiche:

- POT Avellino NORM e TENORM
- POT Benevento Misure dosimetriche
- POT Caserta Misure α e β
- POT Napoli Emergenze
- POT Salerno Misure γ e X

La Rete Unica Regionale di Sorveglianza della Radioattività ha il compito di avviare indagini analitiche su matrici ambientali, alimentari e su prodotti industriali in genere, al fine di rendere disponibili informazioni sull'andamento spazio-temporale della radioattività, sia sulla totalità del territorio regionale che su aree circoscritte, e sui i livelli di radioattività in alimenti e prodotti.

Le indagini riguardano i controlli sulle matrici alimentari ed acque potabili, la sorveglianza del territorio regionale con particolare attenzione ad alcuni punti critici quali l'eventuale presenza di sorgenti radioattive orfane, il monitoraggio del Radon, il monitoraggio delle attività produttive.

L'attività di campionamento è affidata al C.R.R. per le matrici ambientali e industriali ed alle AA.SS.LL. per le matrici alimentari e acque potabili.

Un'ulteriore attività, definita in progetto ed in linea con la normativa regionale, è quella relativa all'istituzione ed alla gestione di una banca dati, in cui saranno archiviate le procedure di indagine a carattere nazionale e internazionale per la ricerca di sorgenti orfane, le informazioni sulle sorgenti detenute in regione e regolarmente autorizzate, le informazioni sulla cessazione dell'impiego di sorgenti in regione e regolarmente smaltite, le notizie storiche ove possibile sulle sorgenti impiegate o orfane in Campania, ogni informazione accessibile riguardante rilasci di sostanze nucleari e radioattive nell'ambiente, i risultati dei controlli sulle matrici alimentari, i dati analitici e tematici necessari per i report del C.R.R. e, più in generale, per le esigenze di comunicazione esterna dell'Agenzia.

La gestione del database regionale di settore è affidata al C.R.R. che coordina, indirizza le attività periferiche, analizza le informazioni che confluiscono costantemente dai nodi periferici, elabora i dati, redige una mappa delle intensità di esposizione del territorio regionale dovuta ai radionuclidi naturali presenti nel suolo e rende disponibili i risultati delle attività. L'elaborazione di specifiche mappe territoriali con la caratterizzazione dei radionuclidi permette di individuare situazioni anomale che richiedono specifici interventi.

Le informazioni della banca dati, raccolte centralmente presso il C.R.R., potranno costituire uno strumento a servizio della Rete e fornire il necessario supporto tecnico al decisore politico per le attività di pianificazione e programmazione.

8.2 Apparecchiature acquisite

Sono riportate di seguito le apparecchiature già acquisite in relazione all'intervento del POR Campania 2000-2006 Misura 1.1 "Monitoraggio della radioattività".

Descrizione	Quantità
Monitor gamma portatile ad alta efficienza per la misura di bassi livelli di rateo di dose (1 nSv/h – 0.1 mSv/h)	5
Contaminometro portatile ad ampia superficie per α , β , γ	5
Spettrometro gamma portatile ad alta risoluzione completo di software ed hardware interfacciati per l'analisi degli spettri	3
Spettrometro gamma portatile ad alta risoluzione, completo di GPS, di software ed hardware interfacciati per l'analisi degli spettri	2
GPS portatile terrestre	5
Sistema di conteggio α , β trasportabile a scintillazione liquida completo di notebook e software interfacciati per il trasferimento e l'elaborazione dei dati	1
Monitor specifico per neutroni di fissione	2
Campionatore portatile di particolato atmosferico su filtro ad alto volume	7
Gruppo elettrogeno portatile	5
Centralina meteorologica	5
Sistema di misura per la rivelazione gamma ad altissima sensibilità, completo di GPS integrato e di appositi ed idonei hardware e software interfacciati per l'analisi dei dati raccolti su mappe	1
Monitor continuo per concentrazioni di Radon/Thoron	1
Monitor automatico per misure α , β , γ su particolato atmosferico	3

(segue)

Descrizione		Quantità
Sistema di conteggio α e β , ultra basso fondo a campione singolo		3
Set di n° 4 software per il calcolo della dose	LUDEP per la dosimetria interna	1
	DOSFACTER per la dosimetria interna	
	UR3M per la dosimetria Radon	
	WINDIMULA per la diffusione di contaminanti in atmosfera	
Monitor portatile con sonda gamma e sonda per neutroni per misure di rateo e dose		3
Rateometro portatile multisonda		5
Working Level Monitor portatile per Radon/Thoron, completo di adeguato Notebook e software di gestione dati interfacciati		1
Tabella 8.1 - Strumentazione acquisita con fondi POR		

CAPITOLO 9

CONTROLLO, MONITORAGGIO E SPERIMENTAZIONE

9.1 Controllo

L'organizzazione delle attività di controllo e sorveglianza della radioattività in Italia è articolata in reti, disposte a tre livelli organizzativi:

- Rete di Livello Nazionale, che ha la funzione specifica di tutelare la popolazione nazionale e, pertanto, è definita "Person Related"
- Rete di Livello Regionale, che è orientata all'individuazione, valutazione e controllo della radioattività sul territorio regionale, con specifico riferimento alle sorgenti ed alle persone e popolazione locale esposta; per tale motivo è definita "Source and Person Related"
- Reti di Livello Locale, istituite per la sorveglianza di siti e/o impianti di particolare interesse e pericolosità (impianti nucleari e/o siti di stoccaggio radioattivi) ed indicati come reti "Source Related"; la gestione dei nodi di tali reti sono a carico del titolare dell'autorizzazione e/o esercente, ai sensi dell'art. 54 del D.Lgs. n. 230 del 17/03/1995.

L'insieme delle Reti Regionali per il controllo della radioattività istituite e gestite dalle varie ARPA costituisce la Rete Nazionale di Sorveglianza della Radioattività Ambientale il cui coordinamento è affidato all'APAT. Ai sensi dell'art. 104 del citato D.Lgs. n. 230/1995, il controllo sulla radioattività ambientale è attribuito al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, mentre quello sul controllo degli alimenti al Ministero della Salute.

Alle Regioni compete esclusivamente l'istituzione e la gestione delle Reti Regionali, organizzate secondo direttive impartite dai suddetti ministeri (art. 104, comma 2). Le Reti Regionali sono, inoltre, direttamente coinvolte in caso di emergenze ambientali per cause radioattive (art. 123 del D.Lgs. n. 230/1995), nel qual caso operano secondo le indicazioni fornite dal CEVAD (Centro Elaborazione e Valutazione Dati) dell'APAT.

Un particolare tipo di controllo di carattere territoriale è quello relativo alla esposizione al Radon nei luoghi di lavoro e nelle abitazioni. L'art. 10-ter comma 2 del D.Lgs. n. 241/2000, infatti, indica l'obbligatorietà dell'individuazione da parte delle Regioni delle Aree a Diverso Potenziale di Radon Esalato, le cosiddette "Radon-prone Areas", entro il 31/08/2005.

Poiché la normativa non ha fornito, in merito, adeguati criteri e linee guida per la loro individuazione, non è stato possibile, al momento, per le Regioni ottemperare

all'individuazione delle suddette aree, nei tempi e nei modi definiti dalla normativa. Nonostante ciò, moltissimo lavoro è stato comunque fatto da alcune Regioni per caratterizzare il proprio territorio, facendo riferimento, in modo non coordinato, alle modalità adottate in altri Paesi o Regioni Europee e non. In merito, però, il Ministero della Salute, nel suo Piano Nazionale Radon (2002), dedicato alla modalità di individuazione degli edifici ad elevata concentrazione di Radon, cita i tre metodi maggiormente utilizzati:

- previsione della concentrazione di Radon nei singoli edifici sulla base della conoscenza delle sorgenti di Radon e di modelli di diffusione
- misurazione della concentrazione di Radon in tutti gli edifici
- preventiva identificazione delle aree a maggiore presenza di Radon e successiva misura di tutti gli edifici in tali aree, identificabili sia sulla base delle caratteristiche dei suoli e sia sulla base di indagini campionarie ad-hoc.

Nel Piano Nazionale Radon si è asserito che una *“programmazione ottimale della mappatura prevede la sua effettuazione in stadi successivi, dove la programmazione di ogni stadio si basa sull'analisi dei risultati acquisiti negli stadi precedenti”*.

L'ARPAC si è mossa sia attraverso attività di monitoraggio effettuate dalle proprie strutture periferiche (C.R.R.) e sia attraverso attività di sperimentazione a scala provinciale e locale. La sperimentazione, effettuata con il coordinamento scientifico dell'Università di Salerno, sarà più ampiamente esposta nel paragrafo 9.3.

9.2 Monitoraggio

Le attività di monitoraggio dell'ARPAC in materia di radiazioni sono state portate avanti dal Centro Regionale di Radioattività in collaborazione con strutture di ricerca operanti sul territorio. Di seguito sono riportati i dati relativi a:

- concentrazione di attività di radionuclidi artificiali e naturali in matrici alimentari
- concentrazione di attività di radionuclidi artificiali e naturali nelle acque potabili
- concentrazione di attività di Radon-222 nelle acque superficiali e sotterranee.

L'art. 104 del D.Lgs. n. 230/1995 e s.m.i. 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.

9.2.1 Matrice alimentare

L'ingestione di cibo rappresenta una delle due principali vie di contaminazione interna (l'altra è l'inalazione). 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. 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 che è un parametro sanitario di competenza esclusiva del Ministero della Salute (art. 104 del D.Lgs. n. 230/1995).

I campionamenti alimentari sono, di norma, effettuati dalle Aziende Sanitarie Locali competenti per territorio sulla base di programmi congiunti con l'Assessorato alla Sanità regionale e il C.R.R.: l'ultimo programma elaborato risale al biennio 2004-2005; attualmente nessun programma risulta operativo.

Tutte le analisi sono state effettuate in spettrometria gamma ad alta risoluzione (con rivelatori al Germanio iperpuro) presso il C.R.R. dell'ARPAC sito in Salerno; l'unità di misura utilizzata è il Becquerel per chilogrammo (Bq/kg).

Nella regione Campania è in corso di allestimento la Rete Regionale di sorveglianza prevista dall'art. 104 del già citato decreto; l'ARPAC è risultata beneficiaria di un finanziamento a valere sull'asse 1 del POR 2000-2006 per la realizzazione di una "Rete Unica Regionale di Sorveglianza della Radioattività", in corso di implementazione. Nel biennio 2005-2006 le AASSLL hanno effettuato 482 campionamenti di matrici alimentari come si evince, in dettaglio, nella tabella 9.1. La figura 9.1 mostra il numero di campioni prelevati per ogni matrice alimentare mentre la figura 9.2 evidenzia i contributi, ottenuti accorpando assieme le AASSLL competenti per le singole province campane, a detti prelievi.

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 ed alla determinazione della concentrazione delle relative attività (in Bq/kg).

Le tabelle 9.2 e 9.3 mostrano i valori medi delle concentrazioni di attività dei radionuclidi ^{137}Cs (artificiale) e ^{40}K (naturale) ottenuti. Le tabelle 9.4 e 9.5 riportano i valori massimi di concentrazione.

La contaminazione di radionuclidi artificiali, presenti nell'ambiente a seguito dell'evento accidentale di Chernobyl nel 1986, risulta appena rilevabile fatta eccezione per alcune matrici particolari.

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 confermate, 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.

MATRICE	ANALISI DI SPETTROMETRIA GAMMA EFFETTUATE (n.)				
	ASL NA	ASL SA	ASL CE	ASL AV	Totale campioni
Cereali e derivati	11	3	33	-	47
Prima infanzia	1	27	17	-	45
Pasto mensa	-	2	-	1	3
Verdure	2	50	40	-	92
Latte e derivati	15	9	3	-	27
Prodotti origine animale	-	5	2	-	7
Prodotti industria alimentare	7	10	33	-	50
Fieno	6	24	-	-	30
Mangimi	21	18	-	-	39
Pesci e molluschi	12	9	1	-	22
Funghi	3	13	3	3	22
Carne	4	11	-	-	15
Frutta	12	41	28	2	83
Totale					482

Tabella 9.1 - Numero di analisi di spettrometria gamma effettuate

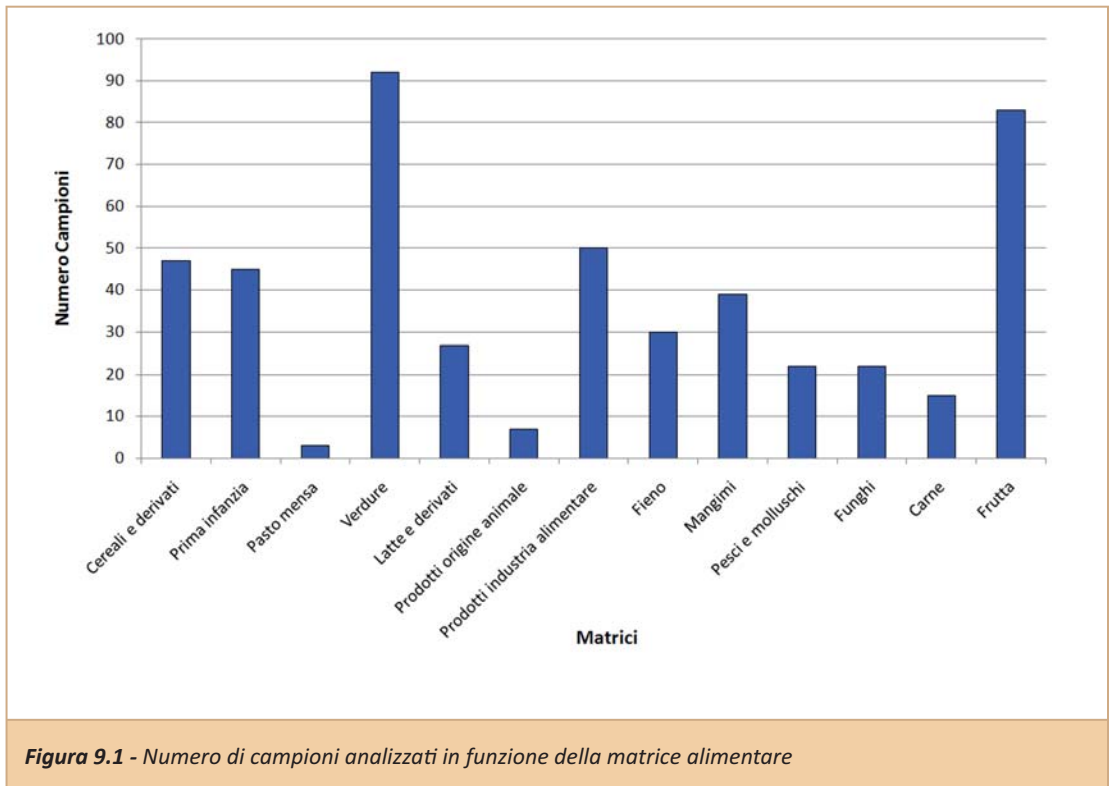


Figura 9.1 - Numero di campioni analizzati in funzione della matrice alimentare

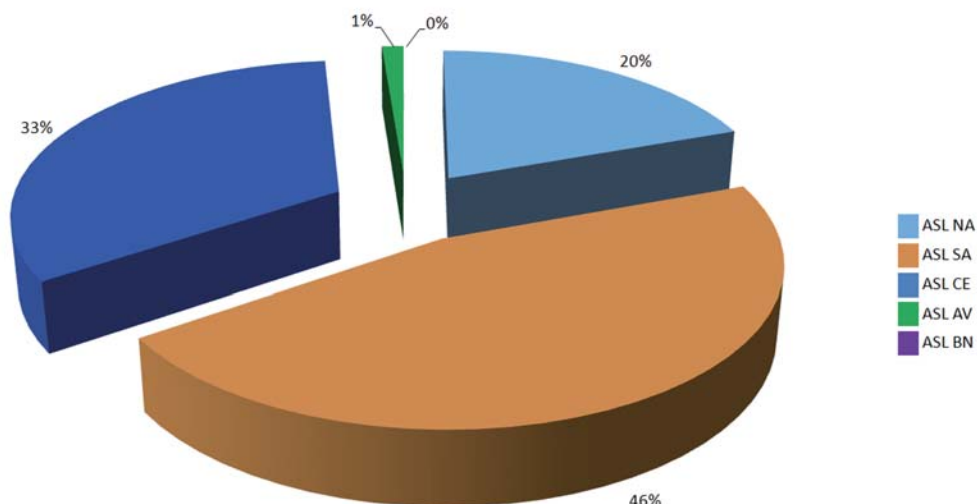


Figura 9.2 - Contributi delle AASSLL ai campionamenti delle matrici alimentari

MATRICE	CONCENTRAZIONE MEDIA DI ATTIVITÀ DI Cs-137 (Bq/Kg)			
	ASL NA	ASL SA	ASL CE	ASL AV
Cereali e derivati	0,19	0,27	0,14	-
Prima infanzia	0,40	0,22	0,16	-
Pasto mensa	-	0,30	-	5,00
Verdure	0,30	0,34	0,21	-
Latte e derivati	0,32	0,09	0,20	-
Prodotti origine animale	-	0,25	0,15	-
Prodotti industria alimentare	30,91	0,27	3,23	-
Fieno	0,25	0,45	-	-
Mangimi	0,40	0,30	-	-
Pesci e molluschi	0,11	0,18	0,30	-
Funghi	0,43	12,13	23,33	2,40
Carne	0,28	0,19	-	-
Frutta	0,37	0,57	0,20	0,50

Tabella 9.2 - Concentrazione media dell'attività del Cesio 137 (artificiale)

MATRICE	CONCENTRAZIONE MEDIA DI ATTIVITÀ DI K-40 (Bq/Kg)			
	ASL NA	ASL SA	ASL CE	ASL AV
Cereali e derivati	140	85	52	-
Prima infanzia	58	19	56	-
Pasto mensa	-	55	-	-
Verdure	106	270	177	-
Latte e derivati	34	91	72	-
Prodotti origine animale	-	105	28	-
Prodotti industria alimentare	89	78	53	-
Fieno	184	323	-	-
Mangimi	279	199	-	-
Pesci e molluschi	52	69	32	-
Funghi	252	320	834	115
Carne	92	70	-	-
Frutta	275	218	110	89

Tabella 9.3 - Concentrazione media dell'attività del Potassio 40 (naturale)

MATRICE	CONCENTRAZIONE MASSIMA DI ATTIVITÀ DI Cs-137 (Bq/kg)			
	ASL NA	ASL SA	ASL CE	ASL AV
Cereali e derivati	0,2	0,3	0,2	-
Prima infanzia	0,4	0,4	0,6	-
Pasto mensa	-	0,4	-	5,0
Verdure	0,4	2,0	0,6	-
Latte e derivati	1,0	0,2	0,3	-
Prodotti origine animale	-	0,6	0,2	-
Prodotti industria alimentare	202,0	1,2	45,0	-
Fieno	0,4	1,6	-	-
Mangimi	1,2	0,5	-	-
Pesci e molluschi	0,3	0,6	0,3	-
Funghi	0,6	76,0	59,0	5,0
Carne	0,4	0,5	-	-
Frutta	2,0	3,0	0,7	1,0

Tabella 9.4 - Concentrazione massima dell'attività del Cesio 137 (artificiale)

MATRICE	CONCENTRAZIONE MASSIMA DI ATTIVITÀ DI K-40 (Bq/Kg)			
	ASL NA	ASL SA	ASL CE	ASL AV
Cereali e derivati	215	107	133	-
Prima infanzia	19	158	209	-
Pasto mensa	-	59	-	-
Verdure	125	1.411	477	-
Latte e derivati	72	528	82	-
Prodotti origine animale	-	189	44	-
Prodotti industria alimentare	179	238	300	-
Fieno	260	918	-	-
Mangimi	1.295	406	-	-
Pesci e molluschi	109	178	32	-
Funghi	511	2.280	1.055	187
Carne	133	169	-	-
Frutta	1.000	520	330	142

Tabella 9.5 - Concentrazione massima dell'attività del Potassio 40 (naturale)

9.2.2 Matrice acqua

Per quanto attiene alle acque, una delle problematiche che la normativa vigente non ha completamente risolto, è l'interazione fra corpi idrici superficiali e sotterranei. Essa, al contrario, riveste particolare importanza nella regione Campania, dove sono diffuse le situazioni in cui si verificano immissioni di acque sotterranee in alveo, ovvero perdite di acque superficiali verso gli acquiferi. In particolare, si segnalano numerosi casi di interferenza falda-fiume nell'ambito dei massicci carsici e nelle piane alluvionali. Tali interferenze influenzano sia gli aspetti quantitativi, con incrementi o decrementi di portata, e sia gli aspetti qualitativi, con modifica dello stato ecologico e chimico-fisico dei corpi idrici. È da sottolineare, infine, che l'immissione di acque superficiali negli acquiferi costituisce una delle principali fonti di inquinamento per le numerose falde freatiche che alimentano sorgenti o pozzi sfruttati per scopi idropotabili.

In considerazione di questa rilevante valenza ambientale e socio-sanitaria, la problematica relativa alla interazione fiume-falda è stata affrontata dall'ARPAC in termini conoscitivi e sperimentali nel bacino del fiume Bussento, d'intesa con il C.U.G.RI. (Consorzio interUniversitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi fra le Università degli Studi di Salerno e "Federico II" di Napoli).

Nell'ambito del bacino, infatti, il C.U.G.RI. ha in corso ricerche idrologiche, idrogeologiche e idrogeomorfologiche, anche attraverso l'utilizzo di traccianti radioattivi naturali, come il Radio e Radon, per l'applicazione del D.Lgs. n. 152/2006 (figura 9.3 e

tabella 9.6).

L'attuale normativa sulle acque fornisce indicazioni pertinenti relative alle acque superficiali e sotterranee, con particolare riferimento ai parametri ed indicatori da considerare nella definizione del loro stato di qualità attuale e degli obiettivi futuri. In considerazione della variabilità e complessità dei meccanismi di interazione falda-fiume, la letteratura scientifica più accreditata ha focalizzato l'attenzione sull'utilizzo dei traccianti radioattivi naturali e, fra questi, ha dimostrato particolare efficacia il Radon-222, gas nobile derivato dal decadimento del Radio-226. Il diverso contenuto in concentrazione di Radon-222 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.

Può essere rilevata, inoltre, la perdita in alveo verso la falda e la relativa fascia iporeica, elemento fondamentale da considerare nel nuovo concetto introdotto dal D.Lgs. n. 152/2006 del fiume come "corridoio ecologico". Il Radon-222 interviene indirettamente come indicatore delle stesse falde sotterranee che alimentano pozzi e sorgenti sfruttati per fini idropotabili.

L'indicatore interviene, infine, nella caratterizzazione delle acque costiere, laddove, come per il Golfo di Policastro, sono presenti sorgenti costiere e sottomarine di grande portata ($>1 \text{ m}^3/\text{s}$) 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 ad 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 periodicità delle misure è stata 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 ed 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, con-

sistono nella validazione scientifica dei dati rilevati e nella loro corretta elaborazione ed 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 in corso attività nel Vallo di Diano, Bussento, Calore-Salernitano, Valle del Sele, Picentini, Solofrana-Sarno, Sabato ed Ofanto.

Le risultanze preliminari del monitoraggio hanno consentito di rilevare numerosi tratti fluviali in cui si riscontrano interferenze, positive o negative, fra acque sotterranee ed acque superficiali, valutandone la loro variabilità spaziale e temporale connesse al regime di ricarica delle falde (tabella 9.7 e figura 9.4 relativa ai dati in alveo e tabella 9.8 e figura 9.5 per le sorgenti in alveo).

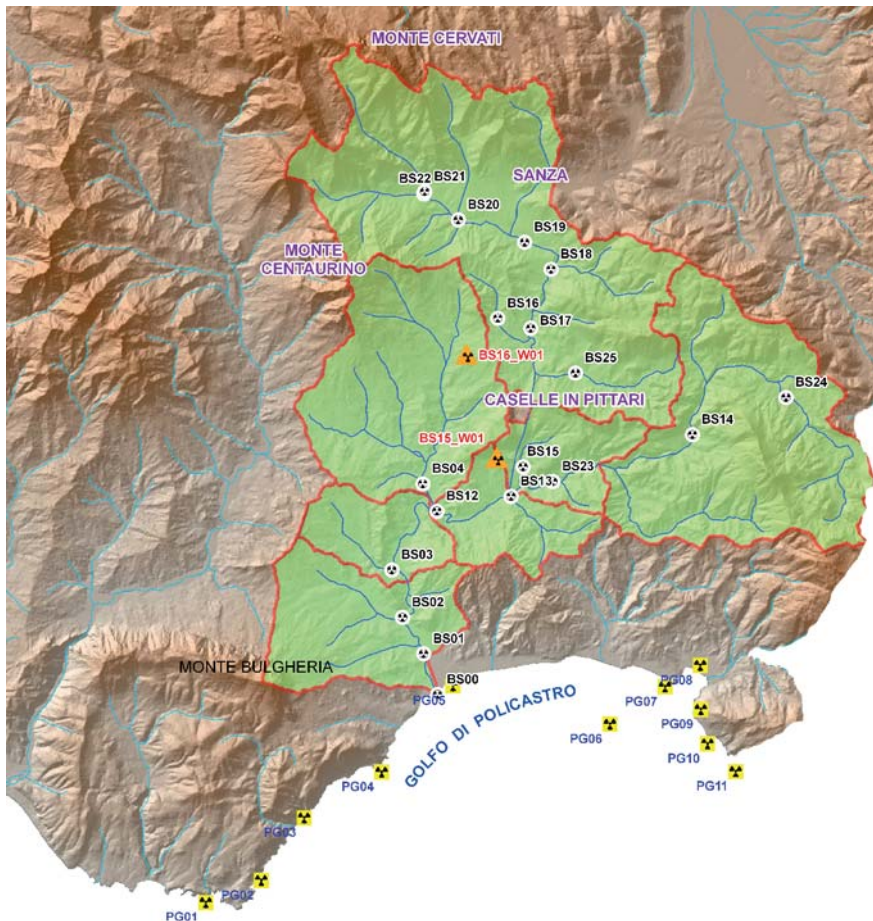


Figura 9.3 - Carta delle Stazioni di Monitoraggio Radon-222 in alveo

CODICE STAZIONE	DENOMINAZIONE STAZIONE	COORDINATA LATITUDINE (UTM-ED50)	COORDINATA LONGITUDINE (UTM-ED50)	DISTANZA DA FOCE (m)
BS00	Foce	543605	4435295	0
BS01	Ponte SS18	543365	4435974	740
BS02	Ponte FS	542247	4438272	3.680
BS03	Vallonaro	541834	4440099	6.200
BS04	Ponte SS517	543412	4442664	10.930
BS12	Centrale ENEL	543583	4442368	10.246
BS13	Ponte Sicilì	546446	4442939	14.100
BS14	Oasi WWF	553475	4445318	22.717
BS15	Loc. Capello	546915	4444081	15.580
BS16	Ponte Ciciniello	545934	4449803	22.300
BS17	Invaso Sabetta	547207	4449424	20.900
BS18	Ponte Acquevive	548000	4451699	23.534
BS19	Ponte Farnetani	546973	4452744	25.550
BS20	Ponte l'Abate	544406	4453604	28.460
BS21	Ponte V.ne Inferno	543083	4454695	30.300
BS22	Ponte Varco del Carro	543049	4454630	30.095
BS23	Ponte Morigerati	548065	4443510	15.995
BS24	Ponte Melette	557102	4446756	28.734
BS25	Inghiottitoio Bacuta	548948	4447695	20.500

Tabella 9.6 - Stazioni di monitoraggio Radon-222

CODICE STAZIONE	DENOMINAZIONE STAZIONE	11/09/07	01/12/07	03/01/08	09/02/08	08/03/08	26/04/08	17/05/08
BS00	Foce Bussento	1,95	2,75	1,90	1,50	0,40	1,60	1,30
BS01	Ponte Foce Bussento SS18	1,80	1,10	2,10	1,40	0,80	0,98	2,30
BS02	Ponte Bussento Ferrovia	1,60	2,10	0,34	1,95	1,30	1,70	2,80
BS04	Ponte T. Sciarapotamo	1,28	1,20	1,50	1,80	0,70	1,60	1,50
BS12	Centrale Elettrica Bussento	0,97	0,90	0,70	1,10	0,60	0,80	0,70
BS13	Ponte Sicili	2,10	2,40	2,20	1,70	1,10	7,50	8,70
BS14	Rio di Casaleto Capello	3,03	3,47	6,10	2,05	0,80	10,60	14,90
BS15	Ponte Oasi WWf	4,56	5,80	6,10	0,90	0,60	1,55	1,70
BS16	T. Ciciniello	0,61	0,56	0,58	0,43	0,32	0,45	0,48
BS17	Invaso Sabetta	8,30	7,50	6,00	2,30	1,20	4,20	3,90
BS18	Ponte Acquevive	8,40	2,20	0,95	1,70	1,30	4,60	7,70
BS19	Ponte Farnetani	1,20	0,40	0,15	0,43	0,20	0,95	0,30
BS20	Ponte l'Abate	0,25	0,38	0,80	0,21	0,37	0,42	0,34
BS21	Ponte V.ne Inferno Bridge	1,90	2,50	0,70	0,68	0,46	0,38	0,15
BS22	Ponte Varco del Carro	1,02	1,30	0,90	0,50	0,39	0,85	0,70
BS23	Ponte Bussentino	0,77	0,83	4,20	0,35	0,33	0,65	0,92
BS25	Inghiottoio Bacuta	0,37	0,40	0,32	0,18	0,22	0,30	0,35

Tabella 9.7 - Concentrazione (Bq/l) di Radon-222 in alveo, campagna 2007-2008

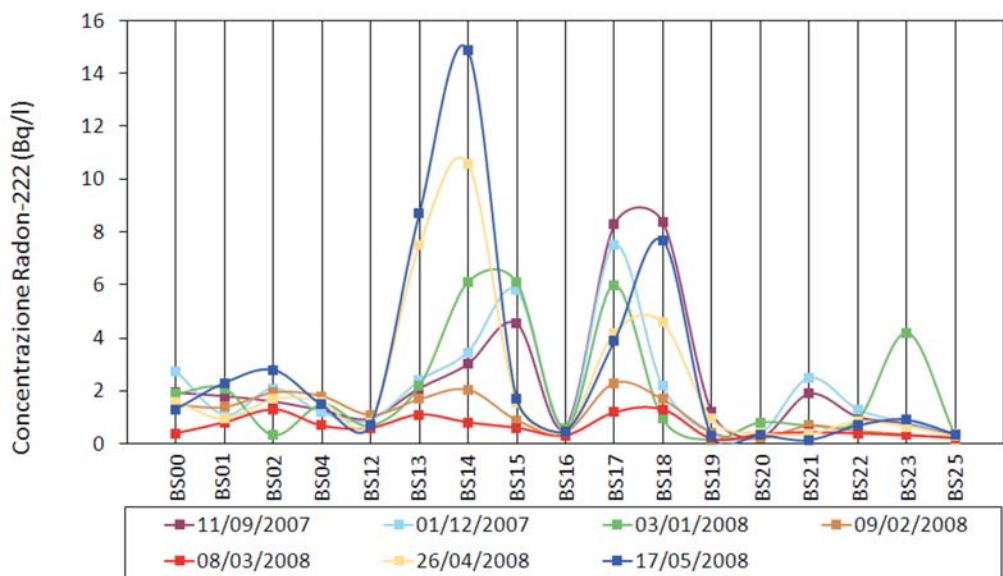


Figura 9.4 - Distribuzione dei valori di concentrazione $[^{222}\text{Rn}]$, in alveo

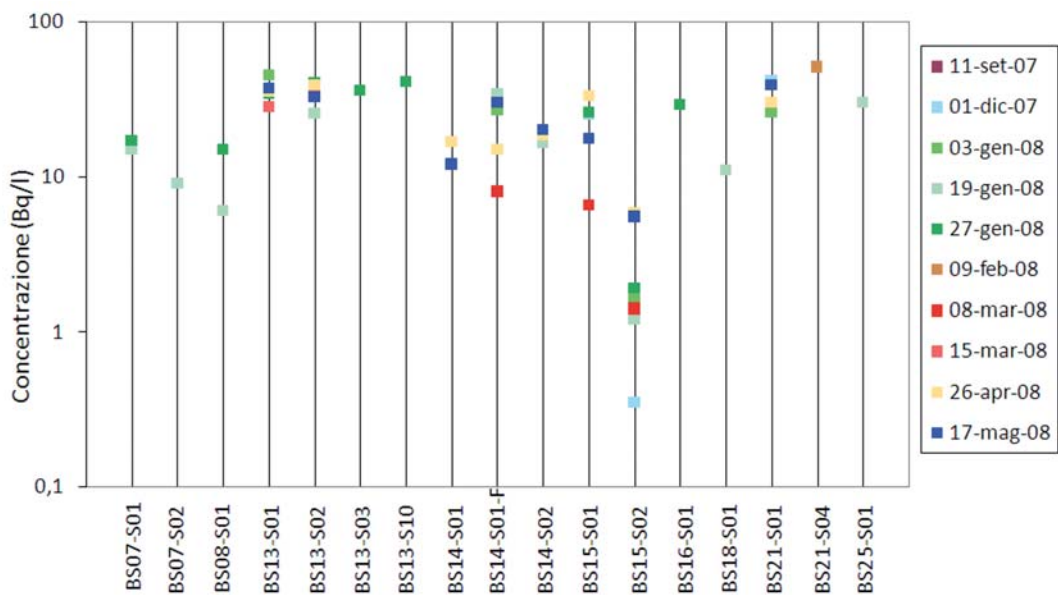


Figura 9.5 - Distribuzione dei valori di concentrazione (Bq/l) di Radon-222 nelle acque sorgive in alveo del Fiume Bussento

CODICE STAZIONE	DENOMINAZIONE STAZIONE	11/09/07	01/12/07	03/01/08	19/01/08	09/02/08	08/03/08	15/03/08	26/04/08	17/05/08
BS07-S01	Sorgente Cella Superiore	-	-	15,0	17,0	-	-	-	-	-
BS07-S02	Sorgente Cella Inferiore	-	-	9,0	-	-	-	-	-	-
BS08-S01	Sorgente Caporra (Fontana)	-	-	6,0	15,0	-	-	-	-	-
BS13-S01	Sorgente Cillito Principale	28,0	45,0	34,5	34,5	33,7	-	28,0	35,5	-
BS13-S02	Sorgente Cillito Ponticello	-	-	25,5	40,0	35,8	-	37,0	39,0	37,0
BS13-S03	Terza Sorgente Cillito	-	-	-	36,0	-	-	-	-	32,5
BS13-S10	Ultima Sorgente Cillito	-	-	-	41,0	-	-	-	-	-
BS14-S01	Sorgente Capello	-	-	-	-	-	-	-	16,7	-
BS14-S01f	Sorgente Capello (Fontana)	33,0	27,0	34,0	-	-	8,0	-	15,0	12,0
BS14-S02	Pozzo Rio Casaletto	-	-	16,5	-	-	18,5	-	18,5	30,0
BS15-S01	Sorgente Mulino Vecchio	25,0	33,0	-	26,0	28,0	6,5	-	33,0	20,0
BS15-S02	Risorgenza Bussento	0,35	1,6	-	1,9	0,59	1,4	-	5,8	17,5
BS16-S01	Sorgente Ciciniello	-	-	-	29,0	-	-	-	-	5,5
BS18-S01	Sorgente Farnetani	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BS21-S01	Sorgente Fistole di Sanza	41,4	26,0	-	-	-	-	-	30,0	-
BS21-S04	Fontana Taverna del Cervo	-	-	-	51,0	-	-	-	-	39,0
BS25-S01	Sorgente Acquafredda	-	-	30,0	-	-	-	-	-	-

Tabella 9.8 - Concentrazione (Bq/l) di Radon-222 nelle acque sorgive in alveo del Fiume Bussento, campagna 2007-2008

9.3 Sperimentazione

Per la risoluzione delle problematiche inerenti la tematica del Radon a livello regionale, l'ARPAC, con il coordinamento scientifico del gruppo di lavoro presso l'Università di Salerno, ha individuato in un approccio integrato, multiscalare e interdisciplinare la metodologia più idonea ed appropriata. Sulla base di quest'ultimo tipo di approccio sono state avviate delle ricerche, denominate nell'insieme "Sottoprogetto Integrato Radon gas-soil_Zoning/Indoor", che, utilizzando il contributo di geologia, geomorfologia, pedologia, fisica-ambientale ed ingegneria edile, ha condotto alla sperimentazione di una procedura multiscalare di valutazione dell'esalazione di Radon dal suolo a scala territoriale e di ingresso negli edifici a scala di sito.

Tale procedura prevede tecniche di analisi differenziate alle diverse scale di analisi territoriale, ma interattive e progressivamente più approfondite e specifiche: dalla zonizzazione a scala regionale alla modellazione fisico-matematico a scala di sito.

Il Sottoprogetto Integrato si compone, infatti, di tre step:

- Zonazione multiscalare (Multiscale Radon-prone Areas Zoning), avente come obiettivi l'individuazione e la classificazione multiscalare delle Aree a diversa Suscettibilità di Esalazione di Radon dal Suolo ("Radon-prone Areas") e come metodologia la Ricerca bibliografica, l'esecuzione di misure mirate, la Classificazione Gerarchica ed, infine, il trattamento e l'elaborazione dei dati mediante cartografia GIS e data base relazionali
- Modellazione fisica di esalazione (Exalation Modelling), avente come obiettivo lo sviluppo di un modello fisico di esalazione del Radon dal suolo e la progressiva taratura con la Zonazione Multiscalare e le Misurazioni Sperimentali mirate in situ e come metodologia l'analisi dei modelli teorici disponibili, l'elaborazione di un modello concettuale adeguato al Sistema Fisico di Riferimento e Applicazione a Casi di Studio opportunamente selezionati
- Modellazione outdoor/indoor, avente come obiettivi lo sviluppo di un modello che consente di determinare la concentrazione di Radon Indoor a partire da quella rilevata o modellata in "Radon soil-gas".

Il Sottoprogetto si basa anche sulle seguenti attività di supporto:

- Realizzazione di una Banca Dati Cartografica completa di informazioni territoriali adeguate
- Implementazione di una Banca Dati Relazionale, che archivia e gestisce i dati delle numerose stazioni e misurazioni in situ, sia in "soil-gas" che "indoor"
- Sviluppo di una procedura di gestione integrata tipo Geodatabase
- Progettazione di un Software di Supporto alle Decisioni in materia di Rischio da Radon.

Per la rilevante importanza e ricaduta che tale Sottoprogetto potrebbe avere sulla pianificazione del rischio ambientale e sul coinvolgimento delle varie professionalità, in primo luogo il geologo ambientale, di seguito si illustrano sinteticamente i presupposti, le metodologie e le procedure adottate, per la definizione multiscalare delle "Radon-prone Areas" (figura 9.6).

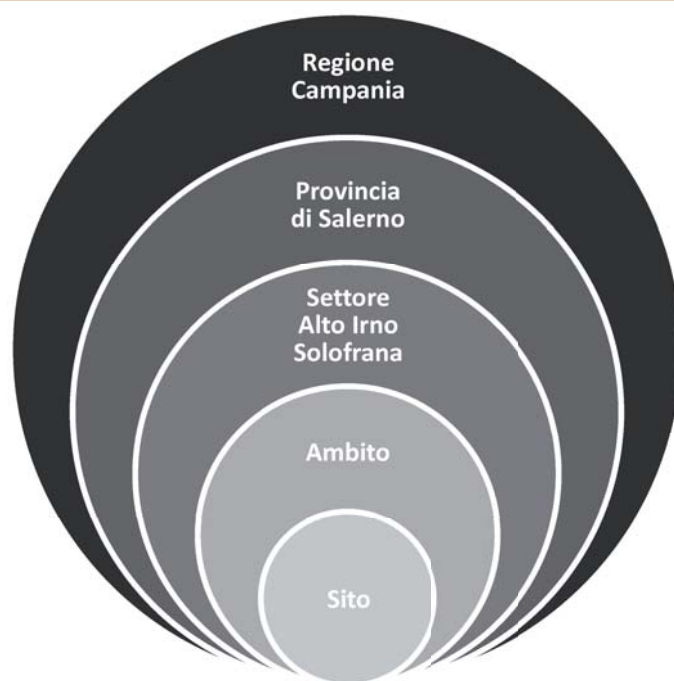


Figura 9.6 - Livelli gerarchici multi scalari per la valutazione delle "Radon-prone Areas"

9.3.1 Zonazione multiscalare di "Area Vasta" delle "Radon-prone Areas"

Come mostrato in figura 9.6, ai fini della Pianificazione Territoriale, sono stati individuati diversi Livelli multiscalari di valutazione delle "Radon-prone Areas":

- Regionale, avente come scala di sintesi la cartografia 1:250.000, utile per pianificazione tipo Piano Radon Regionale, da implementare in strumenti ordinamentali tipo Piano Territoriale Regionale
- Provinciale, avente scala <1:100.000, utile per Pianificazione tipo Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale
- Settore Territoriale omogeneo, idoneo per scale di analisi tra 1:50.000 e 1:25.000 e per Piani Intercomunali, laddove alle precedenti scale di analisi siano stati riscontrati livelli elevati di Radon. Idoneo per Pianificazione Territoriale di aggregati di comuni tipo le Aziende Sanitarie Locali
- Ambito Territoriale, con scala <1:5.000-2.000, utile per Pianificazione tipo Piano Urbanistico Comunale
- Sito 1:2.000, utile per Pianificazione Esecutive, tipo Piani Particolareggiati e Piani Esecutivi (PEEP, PIP).

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 9.7)
- Ricerca sui riferimenti bibliografici contenenti correlazioni “geology-based” ed applicazione al contesto geologico campano
- Redazione GIS-based della Carta delle “Radon Prone Areas” di Livello Regionale (figura 9.8).

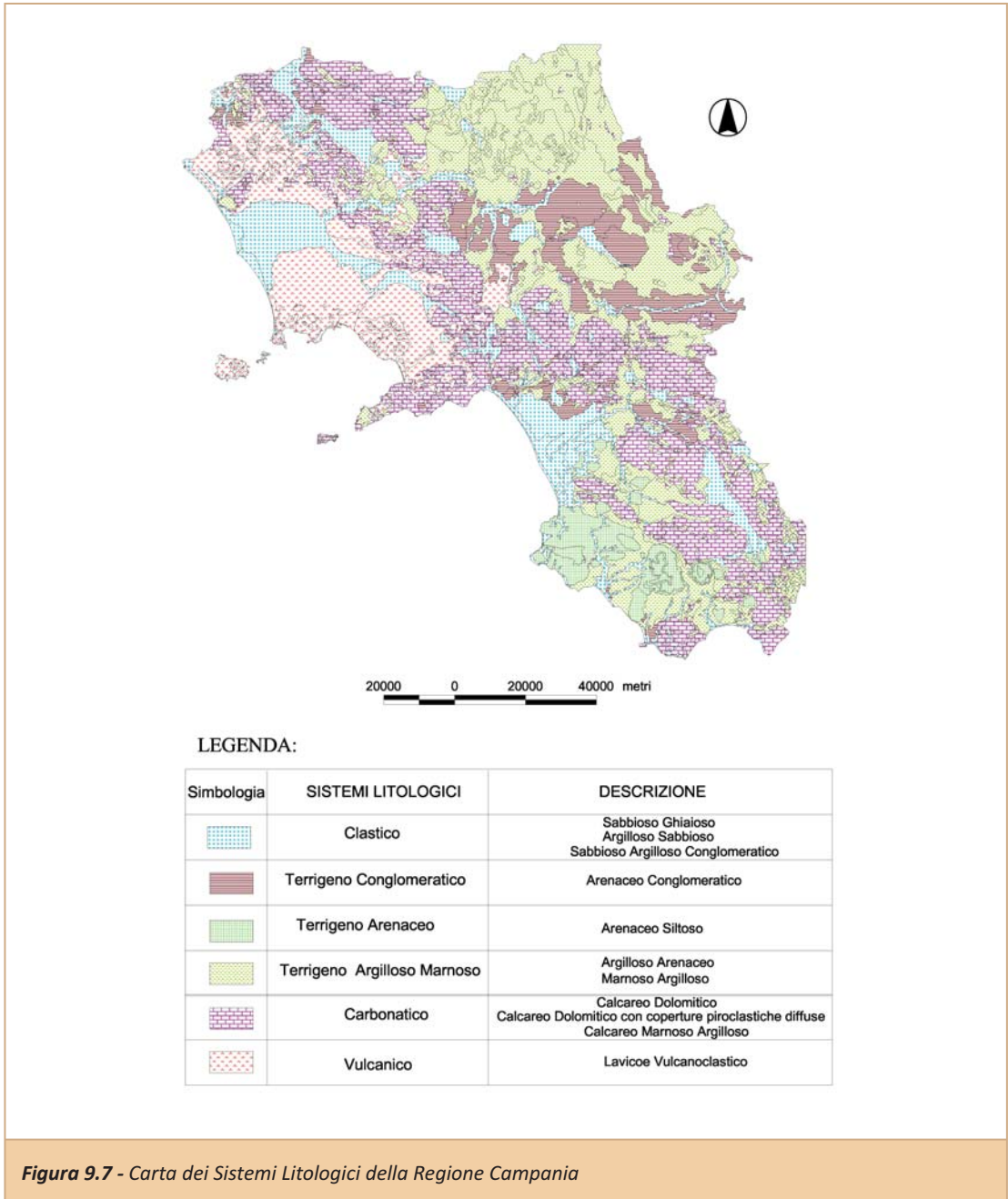
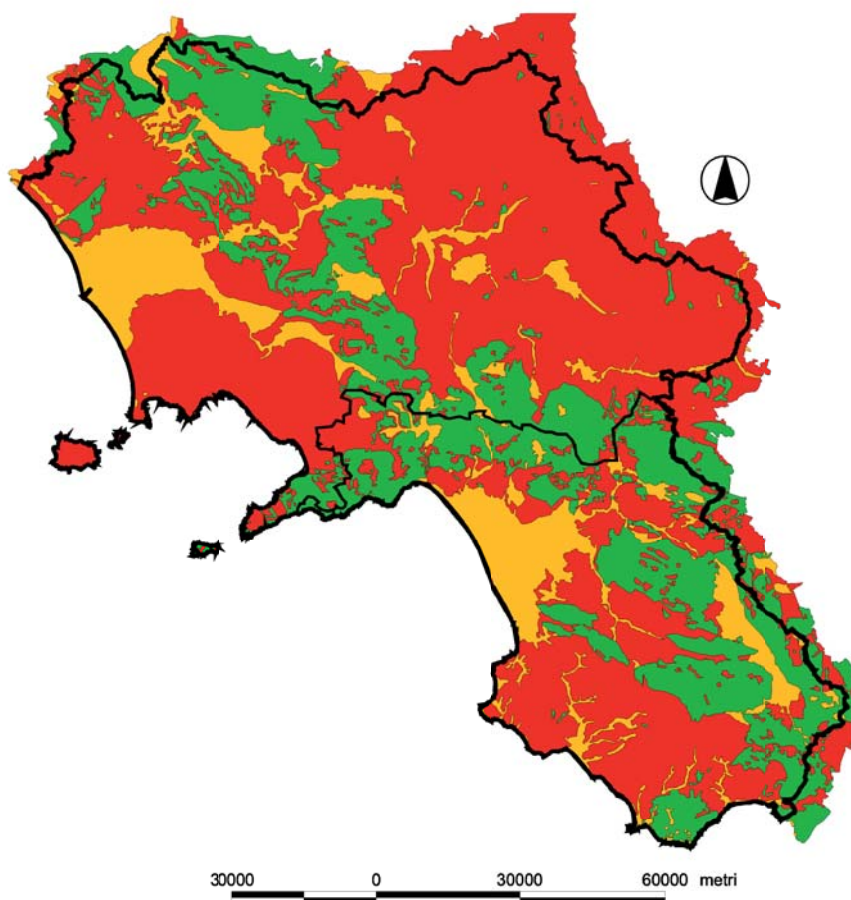


Figura 9.7 - Carta dei Sistemi Litologici della Regione Campania

Per lo studio di carattere regionale, sono stati presi in considerazione i sistemi litologici che caratterizzano le formazioni maggiormente diffuse sul territorio campano. Per ognuno di essi si riporta, in tabella 9.9, l'intervallo di variazione della concentrazione di Radon, la media aritmetica, la deviazione standard e la media geometrica.

CODICE	SISTEMI LITOLOGICI	CONCENTRAZIONE RADON (Bq/m ³)	MEDIA ARITMETICA (Bq/m ³)	SD (Bq/m ³)	MEDIA GEOMETRICA (Bq/m ³)
1	Carbonatico	2.200-22.300	10.666,67	6.699	8.664,92
2	Terrigeno Arenaceo	20.300-35.000	27.650	10.394,47	26.655,21
3	Terrigeno Argilloso Marnoso	29.000-30.000	29.500	707,11	29.495,76
4	Terrigeno Conclomeratico	Assente	Assente	Assente	Assente
5	Clastico	1.000-31.000	15.450	16.273,0	18.515,3
6	Vulcanico	16.300-36.000	28.733	10.818,7	27.095,5

Tabella 9.9 - Correlazioni fra Sistemi Litologici e Concentrazioni Radon soil-gas



Legenda

SISTEMI LITOLGICI CON CONCENTRAZIONE DI RADON POTENZIALE:






	ALTA (H) (Sistemi: Terrigeno Arenaceo, Marnoso Argilloso, Vulcanico) > 20.000 Bq/m ³
	MEDIA (M) (Sistema Clastico) 10.000 - 19.999 Bq/m ³
	BASSA (B) (Sistema Carbonatico) < 9.999 Bq/m ³
	Confine Regionale
	Confine Provinciale

Figura 9.8 - 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”. Pertanto, al fine di perseguire gli obiettivi del Sottoprogetto “Radon_Soil_Zoning/Indoor”, è stata implementata una metodologia di analisi più sofisticata che, nel fornire un quadro di maggiore dettaglio, tiene conto dei principali fattori riconosciuti che concorrono all’esalazione di Radon dal suolo. Tale metodologia coniuga ed integra quella elaborata in Wiegand (2001), per la redazione di Linee Guida in Germania, ed in IEMA (2006) per la redazione dello Status Report Radon nello Stato dell’Illinois (USA).

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.

La Carta delle Classi di Suscettibilità da Esalazione di Radon dal suolo, “Radon-prone Areas Map”, della Provincia di Salerno è stata realizzata attraverso:

- correlazioni “geology-based” da bibliografia di maggiore specificità
- maggiore dettaglio geologico rispetto al livello regionale, con individuazione e cartografazione dei complessi litologici
- taratura da misurazioni sperimentali di “Radon soil gas” in diversi siti campione ricadenti in complessi litologici rappresentativi del territorio provinciale
- redazione di una cartografia di sintesi interpretativa, ottenuta dalla sovrapposizione, in ambiente GIS, dei contributi all’esalazione derivanti da vari fattori (geologici, geomorfologici, idrogeologici, etc.) e successiva taratura attraverso i dati reali acquisiti dalle misure in situ, opportunamente archiviati in un apposito database relazionale.

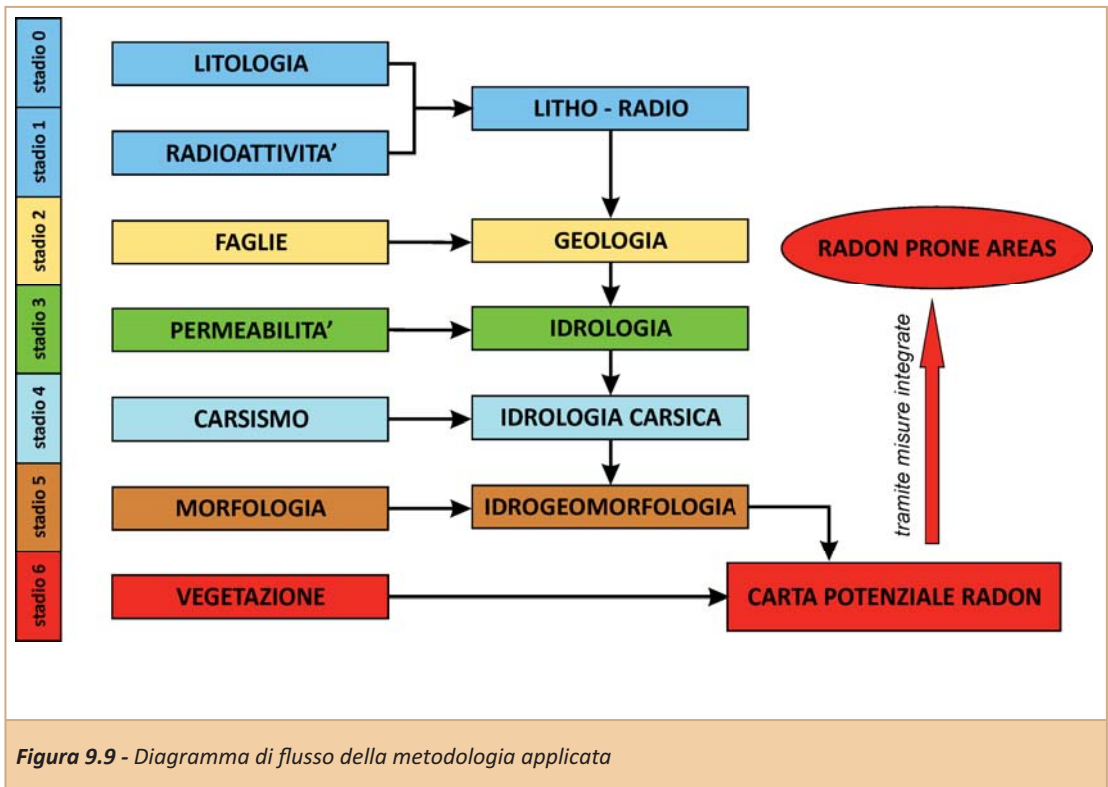
I fattori geologici che possono incrementare la probabilità che un’area potrebbe avere livelli di Radon superiori alla media sono:

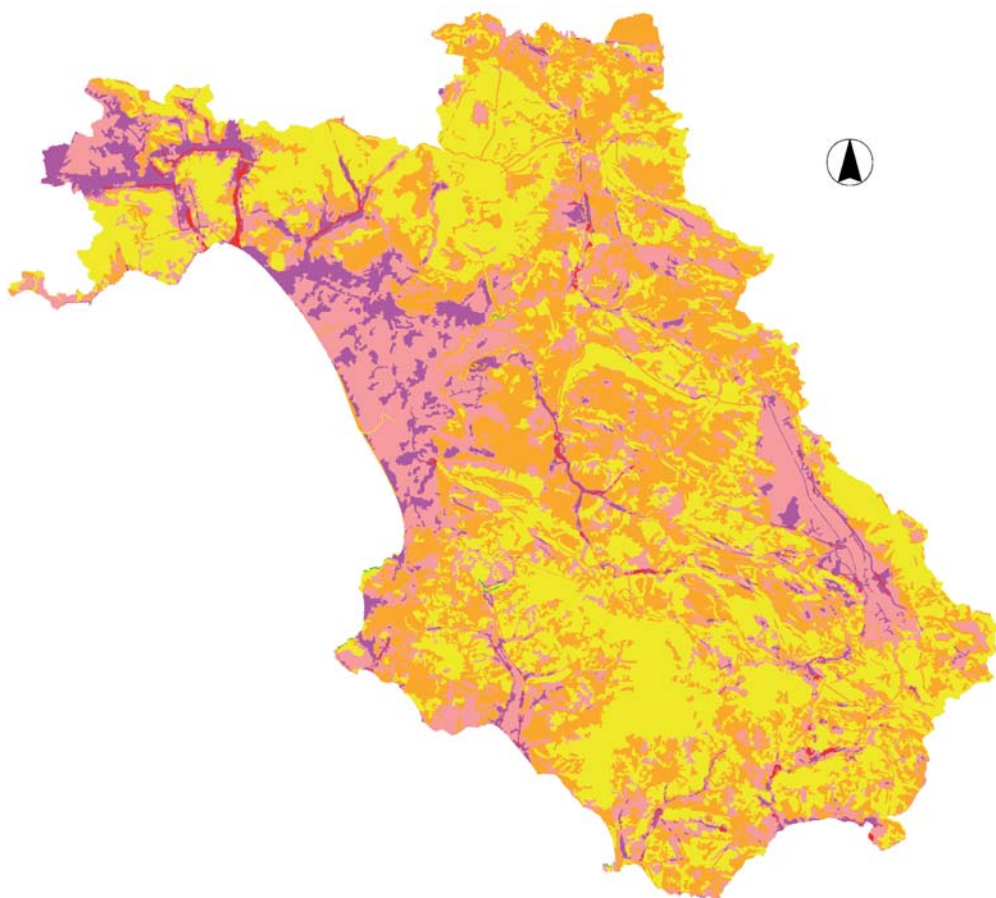
- presenza di rocce ricche di Uranio
- suoli molto permeabili
- suoli ben drenati e spesso asciutti
- suoli con fratture nei periodi secchi
- sito localizzato su crinale o versante
- suoli sottili e bedrock sub-affiorante
- substrato roccioso fratturato
- presenza di condotti carsici
- registrazioni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

La procedura generale per la redazione della “Radon Potential Map” è mostrata in figura 9.9 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 m ed a ciascuna classe viene attribuito un valore proporzionale al suo contributo specifico. I fattori vengono progressivamente combinati per ricavare, in se-

quenza, cartografie tematiche derivate (figura 9.9) e, con successive combinazioni, la carta finale di sintesi (figura 9.10).





10000 0 10000 20000 metri

Legenda

Simbologia	Classi	Livello di concentrazione	Valori di riferimento
	1	Molto bassa	$< 1.000 \text{ Bq/m}^3$
	2	Bassa	$1.000 \leq [\text{Rn-222}] < 10.000 \text{ Bq/m}^3$
	3	Medio bassa	$10.000 \leq [\text{Rn-222}] < 20.000 \text{ Bq/m}^3$
	4	Media	$20.000 \leq [\text{Rn-222}] < 30.000 \text{ Bq/m}^3$
	5	Medio alta	$30.000 \leq [\text{Rn-222}] < 50.000 \text{ Bq/m}^3$
	6	Alta	$\geq 50.000 \text{ Bq/m}^3$
	Nessun dato		

Figura 9.10 - Carta delle "Radon-prone Areas"

La Carta Potenziale di Radon viene progressivamente tarata dalla esecuzione di misure su stazioni opportunamente ubicate sul territorio provinciale. La rete di stazioni di misure “istantanee” e di monitoraggio è stata realizzata secondo il metodo della griglia quadrata di lato 1 Km (figura 9.11).

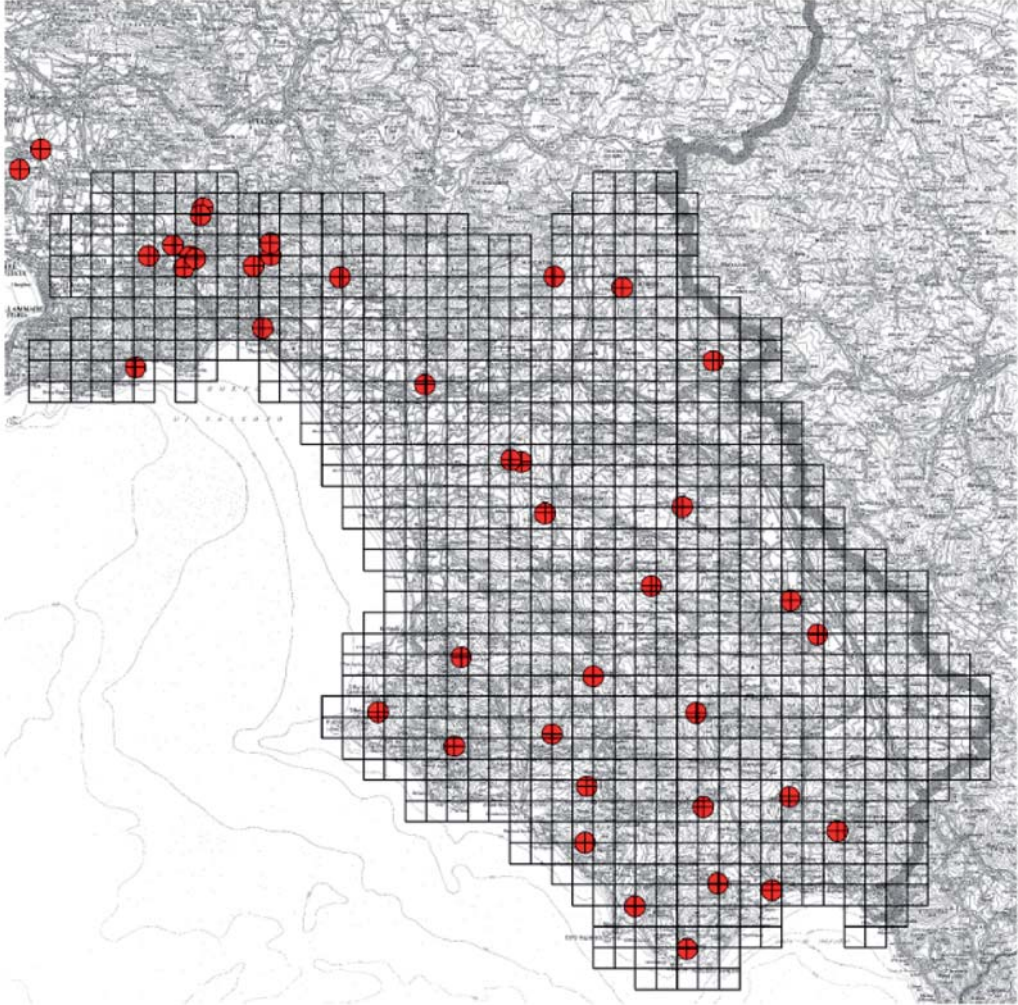


Figura 9.11 - Schema della Rete di Monitoraggio del “Radon soil-gas”; le stazioni fisse corrispondono ai cerchi rossi, le stazioni provvisorie ai nodi della griglia

9.4 Bibliografia

- Cuomo A., 2007. **“Procedura previsionale multiscalare di Area Vasta per la individuazione di aree a diverso potenziale di Radon esalato dal suolo nel settore Alto Irno-Solofrana (Provincia di Salerno)”**. Tesi di Laurea Specialistica in Ingegneria Civile per l’Ambiente ed il Territorio, Università degli Studi di Salerno, A.A. 2006/2007
- Guida M., Guadagnuolo D., Guida D., Longobardi A., Villani P., 2007. **“Submarine Groundwater Discharge assessment of river springs and development and application of innovative continuous Radon-monitoring measurements for the Bussento river and the Policastro gulf”**. NREVIII, 8° International Symposium on the Natural Radiation Environment, Buzios, Brazil, 07 – 12 October 2007.
- Guida M., Guida D., Guadagnuolo D., Longobardi A., Villani P., 2008. **“Measuring groundwater - river interaction using Radon-222 tracer in karst mediterranean environment. A case study: the Bussento river and the Policastro gulf system”**, EGU General Assembly, Vienna, Austria, 13 – 18 April 2008. Vol. 10, EGU2008-A-00000
- Guida M., Guida D., Guadagnuolo D., Longobardi A., Villani P., 2008. **“Preliminary results from a measurements campaign, using Radon-222 as a natural tracer, to investigate the groundwater-river interaction in a karstic Mediterranean environment like in the case study of the Bussento river and the Policastro gulf system”**, International Workshop on Measurement and Application of Radium and Radon Isotopes in Environmental Sciences, Venice, Italy, 7 – 11 April 2008
- Guida M., Guida D., Cuomo A., Guadagnuolo D., Siervo V., Pelosi A., Serrapica L., 2008. **“RAD_CAMPANIA: un programma di lavoro su area vasta per la valutazione dell’impatto ambientale del Radon a livello gerarchico multiscalare nella regione Campania”**, Giornate di studio AIRP- IRPA: “Il rischio da contaminazione radioattiva: i casi radon e uranio impoverito”, Paestum, Italy, 29 – 30 April 2008
- Guida D., Guida M., Cuomo A., Guadagnuolo D., Sicignano E., Siervo V., 2008. **“Utilizzazione del Radon-222 come tracciante radioisotopico naturale in idrogeomorfologia: sperimentazioni nel bacino del F. Bussento (Cilento, Campania meridionale)”**, Geologi, Periodico dell’Ordine Geologi della Campania (in corso di stampa)
- Guida D., Guida M., Cuomo A., Guadagnuolo D., Siervo V., 2008. **“Procedura previsionale multiscalare per la individuazione e caratterizzazione delle Aree a diverso Potenziale di Radon Esalato dal suolo (Radon - Prone Areas): un campo nuovo per la ricerca geologico-applicativa e la pratica professionale interdisciplinare”**, Geologi, Periodico dell’Ordine Geologi della Campania (in corso di stampa)

- Guida D., Guida M., Cuomo A., Iamarino M., Pelosi A., Siervo V., 2008. **“Multi-scale Radon Prone Areas Assessment in Campania Region (Southern Italy)”**, EGU General Assembly, Vienna, Austria, 13 – 18 April 2008. Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-00000
- Kies A., Hofmann H., Tosheva Z., Hoffmann L. e Pfister L., 2005. **“Using ^{222}Rn for hydrograph separation in a micro basin (Luxembourg)”**, Annals of Geophysics, Volume 48
- Spencer J. E. 1986. **“Radon gas: A geologic hazard”**. Fieldnotes. Vol. 16, N°4 , Arizona Bureau of Geology and Mineral Technology
- Wiegand J., 2005. **“Radon in Urban Areas”**, Institut für Geologie, Universität Würzburg
- Wu Y., , Wen X., and Zhang Y., 2004. **“Analysis of the exchange of groundwater and river water by using Radon-222 in the middle Heihe Basin of northwestern China”**, Environmental Geology, Vol. 45, (5), pp. 647 - 653.

COMITATO DI COORDINAMENTO PROGETTO REPORTING: Nicola Adamo, Caterina d'Alise, Giuseppe D'Antonio, Silvana Del Gaizo, Giuseppe Onorati, Raffaele Russo, Ferdinando Scala

ATTIVITÀ TECNICO-SCIENTIFICHE:

Marinella Vito, direttore tecnico

Cosimo Barbato, direttore dipartimento Avellino

Vincenzo Mataluni, direttore dipartimento Benevento

Luigi Aulicino, direttore dipartimento Caserta

Alfonso De Nardo, direttore dipartimento Napoli

Giuseppe Manzo, direttore dipartimento Salerno

Direzione generale: Caterina d'Alise, Raffaele Russo, Ferdinando Scala

Direzione tecnica: Pierluigi Parrella

CRIA - Centro Regionale Inquinamento Atmosferico: Giuseppe D'Antonio, direttore

CRR - Centro Regionale Radioattività: Nicola Adamo, direttore

CEM E RUMORE

Tecnici CRIA incaricati delle misure: Nicola Barbato, Bruno Borsacchi, Nicola De Filippo, Rocco De Pascale, Salvatore Esposito, Giovanni Improta, Domingo Martiniello, Giovanni Mazzocca, Claudio Scotognella

Tecnici dei Dipartimenti Provinciali ARPAC:

Avellino: Francesco Ciampi, Silvio Fiori, Concetta Megaro, Francesco Scala

Benevento: Guido Boffa, Adriano Leoni

Caserta: Nicola De Filippo, Domenico Ottaiano, Pompeo Rossano

Salerno: Rocco Laezza, Amedeo Mastrangelo

RADIOATTIVITÀ

CRR: Raffaele Lino, Matilde Mari, Vincenzo Memoli, Agostino Migliaccio

Hanno collaborato per la parte Radioattività - Matrice Acqua:

Università degli Studi di Salerno: Davide Guadagnuolo

C.U.G.RI (Consorzio Interuniversitario Grandi Rischi): Albina Cuomo, Vincenzo Siervo

*Finito di stampare nel mese di giugno 2008
su carta ecologica non sbiancata con cloro*