



**REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA**  
**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**  
**AGENZIA REGIONALE PRO S' AMPARU DE S' AMBIENTE DE SARDIGNA**  
**AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL' AMBIENTE DELLA SARDEGNA**  
**ARPAS**

Direzione Tecnico Scientifica

— Servizio Controlli, monitoraggio e valutazione ambientale

— Servizio Agenti fisici

# **RAPPORTO**

## **RADIOATTIVITA' AMBIENTALE IN SARDEGNA**

**DICEMBRE 2019**

Pagina vuota



Sommario

1	Introduzione.....	4
1.1	Normativa nazionale .....	5
1.2	Atti regionali.....	5
2	Fonti di pressione .....	6
3	Attività svolte – stato dell’arte .....	7
3.1	Tecniche di misura disponibili.....	7
3.2	Controlli su matrici ambientali ed alimentari .....	11
3.2.1	Commenti.....	17
3.3	Misure nelle acque potabili.....	17
3.3.1	Articolazione del Programma .....	18
3.3.2	Attuazione del programma .....	18
3.3.3	Modalità di campionamento .....	18
3.3.4	Piano di campionamento.....	19
3.4	Misure di radon nelle acque sotterranee.....	22
3.5	Classificazione delle aree a rischio radon - Progetto Radon .....	23
3.5.1	Elaborazioni su base geostatistica e rappresentazione dei risultati a livello regionale.....	25
3.5.2	Elaborazioni per la valutazione delle aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon	26
3.5.3	Individuazione delle aree a rischio radon .....	27
3.5.4	Valutazione dell’esposizione della popolazione .....	28
4	Attività di vigilanza e controllo.....	29



## 1 Introduzione

La radioattività ambientale è un fenomeno che ha origini principalmente naturali e, ad esclusione di alcune aree relativamente limitate nelle quali alla radioattività di origine naturale si sono sovrapposte le contaminazioni dovute a fuoriuscite incidentali da impianti nucleari (come quello di Chernobyl nel 1986 e Fukushima nel 2011) solo una minima parte è di origine artificiale.

La radioattività naturale è in parte di origine cosmica (deriva dalla radiazione cosmica generata dalle reazioni nucleari nei corpi celesti) e in parte di origine terrestre, dovuta ai radionuclidi primordiali presenti nella crosta terrestre fin dalla sua formazione.

La radioattività naturale rappresenta pertanto la principale sorgente globale di esposizione della popolazione alle radiazioni ionizzanti ed è determinata, in prevalenza, dai prodotti di decadimento del radon, un gas radioattivo ubiquitario generato da decadimento dell'Uranio e del Radio, contenuti nelle rocce, nei suoli e nei materiali da costruzione, che si accumula in ambienti chiusi (abitazioni, scuole, ambienti di lavoro).

A questa si aggiunge l'esposizione al fondo naturale di radiazione gamma prodotta appunto dai radioisotopi di origine cosmica e terrestre e, inoltre, esistono prodotti o residui provenienti da determinate attività lavorative con materiali contenenti radionuclidi naturali (cosiddetti NORM, acronimo di Naturally Occurring Radioactive Material) che possono in determinate circostanze determinare un'ulteriore fonte di esposizione a radiazioni naturali.

La radioattività artificiale è sostanzialmente legata alle attività di produzione di energia nucleare, all'utilizzo di sorgenti radioattive in campo medico-diagnostico, industriale e di ricerca scientifica e alla produzione di materiale bellico.

La frazione di radioattività ambientale di origine artificiale è dovuta in gran parte ai test nucleari eseguiti in atmosfera negli anni '60 e agli incidenti nucleari, in particolare quello di Chernobyl del 1986 e, in misura molto minore per quanto riguarda l'Italia, quello di Fukushima del 2011, che ha interessato la penisola in modo marginale.

Data la natura delle radiazioni ionizzanti, che in quanto tali rappresentano un fattore di rischio per la salute della popolazione, già dalla fine degli anni '50 la nascente Comunità Europea si è posta l'obiettivo di garantire che l'allora nascente sviluppo delle applicazioni industriali dell'energia nucleare potesse nascere in un contesto nel quale vi fossero anche le "condizioni di sicurezza che allontanino i pericoli per la vita e la salute delle popolazioni". Tali principi hanno trovato riscontro anche negli articoli 35 e 36 del trattato EURATOM del 1957 nel quale: art 35: "Ciascuno stato Membro provvede agli impianti necessari per effettuare il controllo permanente del grado di radioattività dell'atmosfera, delle acque e del suolo..."; art. 36: "Le informazioni relative ai controlli contemplati dall'articolo 35 sono regolarmente comunicate dalle autorità competenti alla Commissione, per renderla edotta del grado di radioattività di cui la popolazione possa eventualmente risentire."

A seguito dell'incidente alla centrale nucleare di Chernobyl dell'aprile 1986, quando la contaminazione riguardò tutta l'Europa, ed alla diffusione delle centrali nel territorio europeo, risultò necessario costituire e rafforzare un



sistema di sorveglianza della radioattività nell'ambiente e negli alimenti al fine di monitorare la situazione e anche di essere pronti ad eventuali esigenze in caso di eventi incidentali.

Tutti i paesi Membri dell'Unione, anche se non hanno installazioni nucleari sul proprio territorio, hanno quindi l'obbligo di dotarsi di sistemi di controllo della radioattività nell'ambiente e negli alimenti e dalle successive Direttive comunitarie tese a regolamentare la protezione della popolazione dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti discendono le normative nazionali che disciplinano la materia.

### **1.1 Normativa nazionale**

Il controllo della radioattività sul territorio è regolamentato, a livello nazionale, dal D.Lgs. 230/95 e successive modifiche, e risulta articolato in reti di sorveglianza regionale e reti di sorveglianza nazionale (art. 104, comma 1). Le reti regionali sono gestite dalle singole regioni secondo le direttive dei Ministeri della Sanità e dell'Ambiente (art. 104, comma 2) mentre il coordinamento nazionale è garantito dall'ex APAT, ora ISPRA.

Le "reti regionali" sono delegate al controllo generale dei livelli di radioattività sullo stesso territorio regionale e si collocano a un livello intermedio fra la "Rete Locale" (Art. 54 del DLgs 230/95), che risponde ad esigenze di sorveglianza connesse con eventuali sorgenti (ad esempio impianti nucleari), e quella Nazionale, per la quale agisce quale organismo di riferimento e di raccordo.

La stessa "rete regionale" è deputata ad effettuare una valutazione dell'impatto sull'ambiente, finalizzato alla determinazione dell'esposizione degli individui della popolazione.

Il Ministero della Sanità deve comunicare alla Commissione Europea i risultati delle stime dei diversi contributi all'esposizione della popolazione alle radiazioni ionizzanti, in relazione alle diverse tipologie di esposizione (D.Lgs. 230/95, art. 106, comma 2). Le stime vengono effettuate dall'ISPRA in collaborazione con ISPEL e ISS, sulla base dei dati derivanti dal sistema di monitoraggio e controllo descritto.

Con la Circolare 2/87 "Direttive agli organi regionali per l'esecuzione di controlli sulla radioattività ambientale", il Ministero della Sanità ha individuato sui diversi territori regionali le strutture più idonee a svolgere la funzione di Centri di Riferimento Regionali (C.R.R.) per il controllo della radioattività ambientale, provvedendo a dotare gli stessi Centri delle necessarie apparecchiature di misura ed analisi.

### **1.2 Atti regionali**

A seguito della predetta Circolare Ministeriale 2/87 la Regione Autonoma della Sardegna ha istituito, con Delibera della Giunta Regionale n. 49 del 27/10/1987, il Centro di Riferimento Regionale per la Radioattività Ambientale, ubicandolo presso l'Area Fisico Geologica Ambientale del P.M.P. della ex USL n. 20 di Cagliari.

Il PMP della ex USL n. 1 di Sassari ha svolto l'attività di controllo ufficiale presso il sito di La Maddalena, presso il quale è stata attiva fino al 2008 una rete di monitoraggio dedicata a verificare la presenza di contaminazione radioattiva dovuta alla base della Marina USA presso l'isola di Santo Stefano. Tale rete di monitoraggio è stata successivamente disattivata a seguito della chiusura della Base militare americana.

Allo stato attuale, ai sensi dell'Art. 2 comma 1 lettera a) e comma 2 lettera e) della L.R. n. 6/2006 ad ARPAS è



demandato il compito di effettuare i controlli e le valutazioni connesse alla protezione ambientale dalle radiazioni ionizzanti, oltre che effettuare le relative valutazioni dosimetriche, rappresentando quindi il ruolo tecnico di riferimento sia per le attività di tipo ambientale che le attività relative alla valutazione del rischio per la popolazione derivante dall'uso dell'energia nucleare, aspetto per cui riferisce e si rapporta sia con l'Assessorato della Difesa dell'Ambiente che con l'Assessorato Regionale alla Sanità.

In questa relazione vengono presentati i risultati delle misure radiometriche effettuate nell'ambito delle reti regionale e nazionale di monitoraggio della radioattività ambientale, della rete di allerta nonché dell'attività di vigilanza svolta dal Laboratorio di radioattività ambientale dell'ARPAS, integrato nel Servizio Agenti Fisici, S.S. del Servizio CMVA dell'Area Tecnica dell'Agenzia.

## 2 Fonti di pressione

Le principali attività presenti in Sardegna che utilizzano sorgenti radioattive, sono:

- strutture sanitarie dotate di medicina nucleare e radioterapia;
- strutture di ricerca che utilizzano sorgenti radioattive e acceleratori (Università, Strutture sanitarie)
- aziende che utilizzano sorgenti radioattive sigillate per il controllo qualità dei prodotti (aziende meccaniche, cementifici, aziende chimiche, aziende petrolchimiche, attività minerarie)
- Aziende che riutilizzano scarti metallici e fumi d'acciaieria
- Aziende che producono o hanno prodotto fertilizzanti
- Alle possibili fonti di rischio, va aggiunta l'attività che si svolge nei poligoni militari, spesso collegati al possibile utilizzo di munizionamento contenente Uranio Impoverito e Torio (Poligono del Salto di Quirra (OG), Poligono di Teulada (CA),).
- Infine un'ulteriore potenziale fonte di rischio è costituita dal porto di Cagliari, che può ospitare navigli militari a propulsione nucleare di provenienza estera.
- Altra problematica è quella dei rottami metallici i quali possono risultare contaminati con sostanze radioattive.
- Accanto alle fonti di pressione descritte, interne al territorio regionale, esistono i rischi dovuti a possibili emergenze su vasta scala per episodi sia interni che esterni ai confini nazionali.
- E' presente inoltre il pericolo costituito per la popolazione e per l'ambiente dalle sorgenti abbandonate ("orfane") o detenute in carenti condizioni di sicurezza.
- Infine esiste anche un rischio dovuto ad eventuali atti terroristici quali lo sversamento di sostanze radioattive nell'ambiente e di impiego delle cosiddette "bombe sporche", che contengono materiale radioattivo all'interno di ordigni convenzionali.

Fra le sorgenti di esposizione alle radiazioni ionizzanti va tenuta in considerazione la radioattività naturale, la quale in condizioni normali costituisce la maggiore sorgente di esposizione alle radiazioni ionizzanti per l'uomo. In particolare il gas radon può accumularsi negli ambienti chiusi in concentrazioni pericolose per la salute umana, tale da essere ritenuta la seconda causa dei decessi per tumore polmonare dopo il fumo.

Il Laboratorio di radioattività ambientale presso il Servizio Agenti Fisici, come descritto in dettaglio nel seguito,



ha elaborato, su richiesta dell'Assessorato Regionale alla Sanità, la classificazione regionale delle aree a rischio radon, sulla base di quanto richiesto dalla normativa vigente.

### 3 Attività svolte – stato dell'arte

L'attività di una rete di monitoraggio della radioattività ambientale consiste essenzialmente in un insieme di controlli effettuati secondo un programma annuale nel quale sono definite la periodicità, località di prelievo, le matrici coinvolte e la tipologia di misurazioni da effettuare.

Queste attività, che secondo il modello organizzativo dell'ARPAS originario comprendevano il coinvolgimento dei Servizi controllo e monitoraggio e del Servizio Laboratorio, sono state accorpate prima nel Servizio Energia e successivamente nel Servizio Agenti fisici, S.S. del Servizio CMVA della direzione Tecnica.

I dati di monitoraggio prodotti, confluiscono assieme a quelli delle altre reti regionali nella rete nazionale RESORAD (REte di SOrveglianza della RADioattività ambientale) coordinata dall'ISIN (ex ISPRA) che, a sua volta, invia i dati ottenuti alla Commissione Europea.

Pertanto i controlli effettuati dalla rete regionale rispondono contemporaneamente alle esigenze (e alle normative) regionali, nazionali e comunitarie.

#### 3.1 Tecniche di misura disponibili

Presso il Laboratorio di radioattività ambientale sono disponibili le seguenti tecniche di misura:

<i>Tecniche di misura</i>	
Spettrometria gamma	n. 6 spettrometri gamma HPGe Ortec/Canberra
Dose gamma in aria	N. 4 centraline di monitoraggio in continuo "Gammatracer"
Scintillazione liquida	N: 1 spettrometro basso fondo Wallac "Quantulus 1220C"
Conteggio alfa/beta	N. 1 sistema conteggio a basso fondo Berthold LB770
Dose e rateo di dose in campo	Strumentazione portatile + spettrometro gamma portatile
Contaminazione superficiale in campo	
Sistema di lettura dosimetri a traccia Rn-222	N. 1 sistema di lettura automatico TASL
Sistemi attivi per misura della concentrazione del radon in aria e in acqua	N. 2 sistemi "Alfaguard"

Le immagini seguenti mostrano la strumentazione precedentemente descritta e le aree dedicate alla



preparazione dei campioni.



**Fig. 3-1 Sistemi spettrometria gamma Ortec**



**Fig. 3-2 Sistemi spettrometria gamma Canberra**



**Fig. 3-3 Spettrometro scintillazione liquida Wallac "Quantulus"**



**Fig. 3-4 Sistema di conteggio alfa/beta a basso fondo Berthold LB770**



Fig. 3-5 Sistema lettura dosimetri radon TASL



Fig. 3-6 Laboratorio di preparazione campioni



Fig. 3-7 Laboratorio di preparazione campioni

### 3.2 Controlli su matrici ambientali ed alimentari

Nella tabella seguente sono riportati i controlli sulle matrici alimentari e ambientali eseguiti attualmente nei laboratori dell'Agenzia.

Matrice	Radioisotopi	Frequenza campionamento	Frequenza misure	Numero Campioni anno
Particolato atmosferico	Cs-137, I-131, K-40, Be-7	Settimanale (Giornaliero in caso di "allarme")	Settimanale (Giornaliero)	50
Fallout	Cs-137, I-131, K-40, Be-7, Sr-90	Mensile	Mensile	<b>Attualmente sospeso</b>
Rateo di dose in aria		Continuo	Media oraria Media giornaliera	<b>Attualmente sospeso (strumentazione in manutenzione)</b>
Acque potabili	alfa e beta totale, Rn-222	Semestrale su 24 stazioni di camponamento		70
Reflui sistema di depurazione	I-131, In-111, Tc-99m (radioisotopi a scopo diagnostico e terapeutico)	no	no	<b>Attualmente sospeso</b>
Fanghi di depurazione	I-131, In-111, Tc-99m (radioisotopi a scopo diagnostico e terapeutico)	no	no	<b>Attualmente sospeso</b>
Alimenti Cereali	Cs-137, I-131	Mensile	Mensile	40
Alimenti - Latte	Cs-137, I-131, Sr-90	Mensile	Mensile	50

Matrice	Radioisotopi	Frequenza campionamento	Frequenza misure	Numero Campioni anno
Alimenti - Latticini (prod. locale)	Cs-137, I-131	Mensile	Mensile	40
Alimenti - Frutta	Cs-137, I-131	Mensile	Mensile	40
Alimenti - Verdura	Cs-137, I-131, Sr-90	Mensile	Mensile	40
Alimenti - Carne (Bovina, Suina, ovina)	Cs-137, I-131	Mensile	Mensile	50
Alimenti - Pesce	Cs-137, I-131	Mensile	Mensile	20

**Tab. 3-1 Programma di controllo delle matrici alimentari ed ambientali**

L'attività di campionamento delle matrici alimentari è svolta dai Servizi territoriali delle ASL di Cagliari, Oristano, Lanusei e, fino al 2010 Sassari e Olbia, e comprende sia il campionamento al consumo (grande distribuzione) che la produzione ed è finalizzato a valutare una stima della dose alla popolazione.

L'uso degli alimenti di produzione locale, soprattutto se esposto alle possibili contaminazioni della catena alimentare derivanti dalle contaminazioni ambientali, consente inoltre di considerare diverse categorie di alimenti come indispensabili indicatori di contaminazione ambientale, il cui controllo e monitoraggio consente di conseguire il duplice scopo di valutare l'esposizione della popolazione ed effettuare il monitoraggio ambientale.

Le tabelle seguenti mostrano il numero di campioni/misure analizzati dai laboratori di Cagliari e Sassari (ex PMP fino al 2007) nell'ambito delle attività di controllo sia della rete regionale che, fino al 2008, della Rete Locale di La Maddalena. Come già detto le attività analitiche sono state concentrate presso il laboratorio di Cagliari a partire dal 2013 a seguito della revisione delle competenze dei Laboratori ARPAS e della cessazione dell'attività radiometrica del Laboratorio di Sassari.

Le attività di campionamento dei reflui e dei fanghi degli impianti di depurazione sono state sospese nel 2014 ed è prevista la ripresa delle attività di campionamento per gli anni 2020/21.

Il campionamento della deposizione totale (umida e secca) è stato sospeso a causa di eventi atmosferici che hanno divelto i sistemi di raccolta del campione, oltre ad alcune problematiche relative alla manipolazione e trattamento in sicurezza dei campioni e si prevede di riprendere il campionamento non appena saranno disponibili nuovi sistemi di raccolta automatica della deposizione umida e secca.

matrice	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	totali
acqua potabile						4										29	33
bevande	2	1				1	4										8
carne avicola	3	28	24				9	13	13	19	14	12	12	13	12	13	185
carne bovina	4	35	34	1			30	32	30	35	36	36	30	24	25	24	376
carne equina	4	2	3					1									10
carne ovina						7	7	10	9	12	9	10	9	10	6		89
carne suina	2	27	29				26	27	27	31	32	29	28	25	24	24	331
cereali e derivati	5	63	58		2	13	52	41	29	47	51	49	51	54	52	54	621
formaggio e derivati dal latte	4									48	46	47	37	32	36	36	286
frutta	4	34	19	1	5	3	38	30	24	34	35	35	32	35	35	36	400
funghi	2	2	2	1	3	2		1	1	1							15
latte	22	144	87	4	2		61	68	85	63	68	83	49	40	45	40	861
miele	3	3	3	2										6			17
mollusco	8	23	38	18	19	22	48	28	18	27	7						256
olio	1					1	8		3								13
pesce	8	18	14	1			27	31	24	35	35	34	30	33	25	23	338
verdura e ortaggi	12	64	30	2	4	16	45	29	48	31	34	35	30	32	36	30	478
<b>totali</b>	<b>84</b>	<b>444</b>	<b>341</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>58</b>	<b>359</b>	<b>308</b>	<b>312</b>	<b>380</b>	<b>370</b>	<b>369</b>	<b>309</b>	<b>303</b>	<b>300</b>	<b>315</b>	<b>4317</b>

Tab. 3-2 Controlli su matrici ambientali ed alimentari - numero di campioni di alimenti analizzati per anno e tipologia di matrice

matrice	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	totali
acque sotterranee						1										152	153
cenere							3							16			19
fallout	11	11	23	24	23	7	7		15	7			2				130
fanghi		25	56			11	57		9	39	13						210
particolato	370	313	386	227	666	79			117	65	40	15	18		34	47	2377
pellet							3										3
rateo dose gamma	1521	139	1801	3948	2001									331	153		9894
scarico		48	36			11	121	1	64	97	37						415
sedimento	50	65	58	48	44	5	13										283
suolo			10									3				39	52
vegetazione marina	49	71	53	48	44												265
totali	2001	672	2423	4295	2778	114	204	1	205	208	90	18	20	347	187	238	13801

Tab. 3-3 Controlli su matrici ambientali ed alimentari - numero di campioni ambientali analizzati per anno e tipologia di matrice

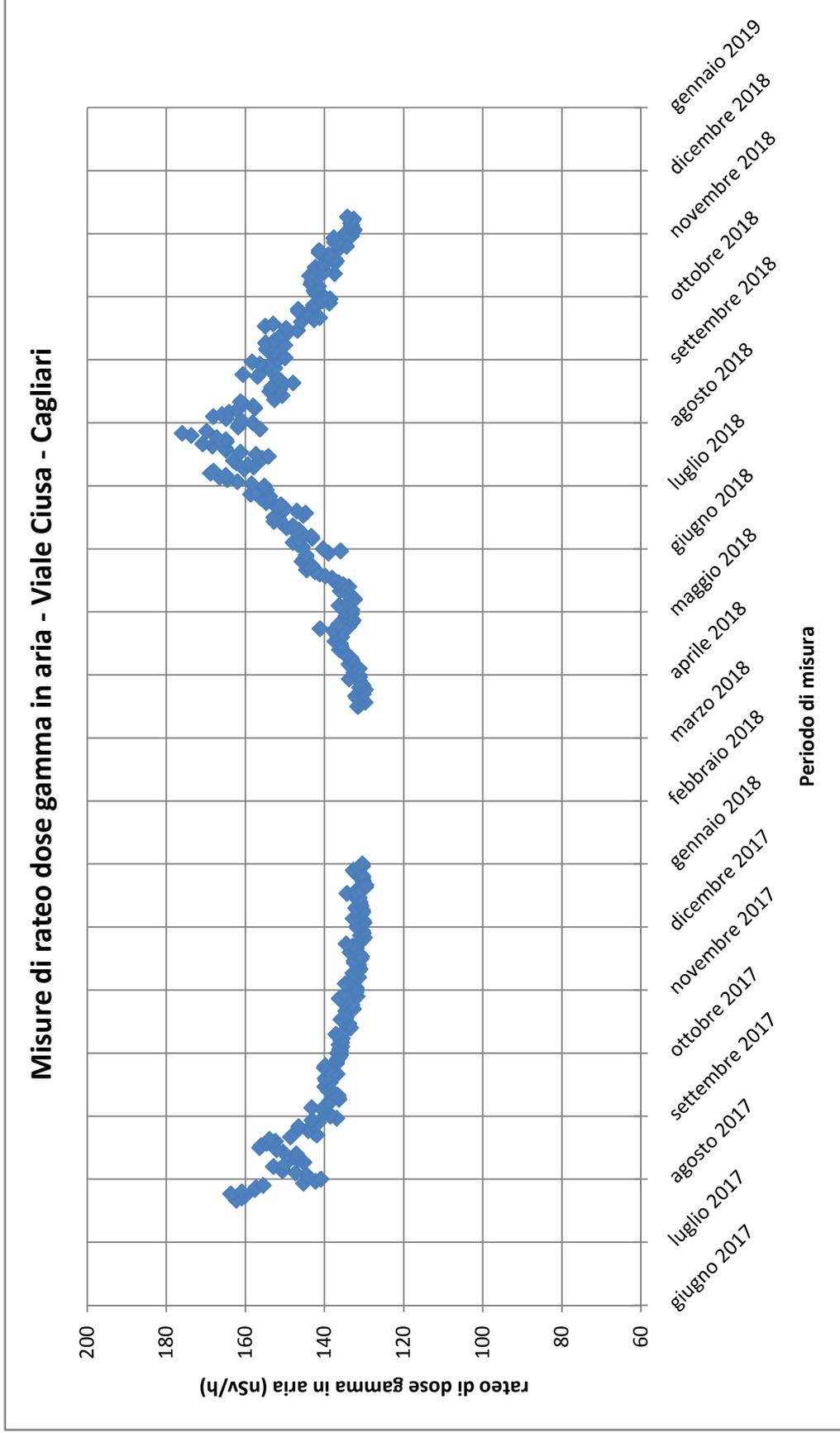


Fig. 3-8 Misure in continuo di rateo dose gamma - sito Viale Ciusa - Cagliari (terrazzo sede ARPAS)



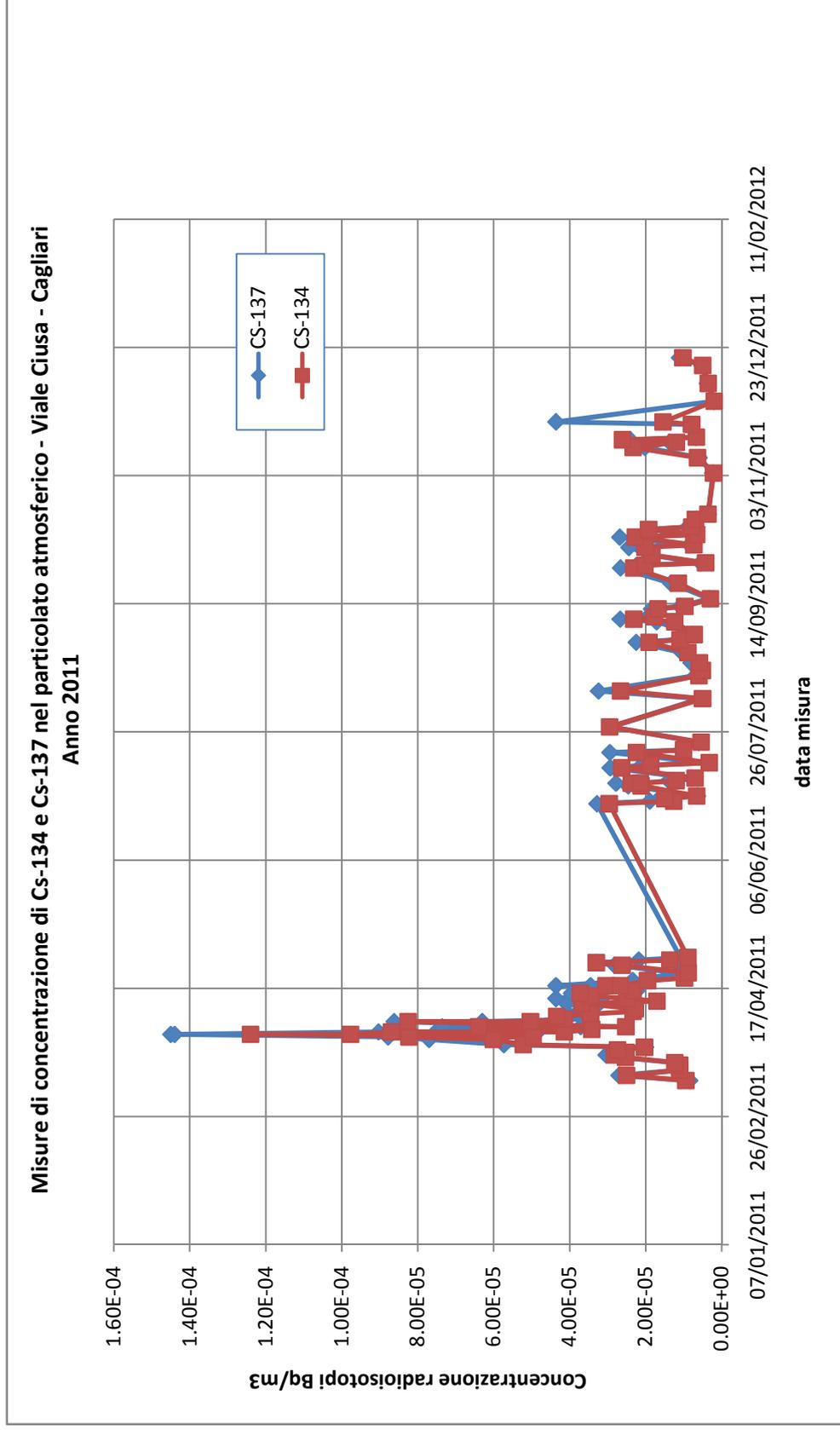


Fig. 3-9 Misure di concentrazione degli radioisotopi Cs-134 e Cs-137 nel particolato atmosferico - anno 2011 (terrazzo sede ARPAS)

### 3.2.1 Commenti

I valori di concentrazione dei radioisotopi nelle matrici alimentari sono prevalentemente inferiori ai limiti di rilevazione strumentale o, in rari casi se ne discostano di poco.

Di conseguenza si può affermare che per quanto riguarda la contaminazione radioattiva dei prodotti alimentari in Sardegna il contributo alla dose assorbita dalla popolazione è molto basso, certamente inferiore di almeno tre ordini di grandezza, ovvero un fattore 1/1000, rispetto al contributo alla dose determinato generalmente dall'esposizione alla radioattività naturale.

La Figura 3-8 illustra un tipico andamento del rateo di dose gamma in aria nel monitoraggio in continuo che, data la sensibilità della strumentazione, può essere in grado di evidenziare un evento di contaminazione transfrontaliera come ad esempio l'evento di Chernobyl.

La figura 3-9 mostra invece l'andamento dei valori di concentrazione dei radioisotopi del Cs, Cs-134 e Cs-137 nel 2011, misurati dai campioni prelevati presso il sito di Viale Ciusa, a Cagliari (Sede ARPAS).

Nel grafico è evidente l'aumento di concentrazione dei due radioisotopi a seguito dell'arrivo della contaminazione dovuta all'evento incidentale avvenuto presso la centrale nucleare di Fukushima nel marzo 2011.

I valori di concentrazione rilevati, per quanto evidenziati nel grafico, sono comunque estremamente bassi e non hanno determinato un incremento significativo della dose alla popolazione ma sono mostrati quali esempio della sensibilità delle tecniche di campionamento e misura adottate dal Laboratorio.

### 3.3 Misure nelle acque potabili

Il Decreto Legislativo 15 febbraio 2016, n. 28 stabilisce i requisiti per la tutela della salute della popolazione relativamente alle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano. Il successivo Decreto applicativo, emanato dal Ministro della Salute il 2 agosto 2017, ha fornito dettagliate indicazioni operative a carattere tecnico-scientifico e gestionale elaborate congiuntamente all'Istituto Superiore di Sanità.

L'Assessorato dell'Igiene e sanità e dell'assistenza sociale nel contesto delle attività del Piano Regionale della Prevenzione 2014-2018 (PRP), prorogato per l'anno 2019 - Macro Obiettivo 10, Programma P10.1 "INTEGRAZIONE DEI CONTROLLI SULLA SICUREZZA ALIMENTARE", Obiettivo generale 10.1 (Nazionale/Regionale) "Adottare piani di controllo/monitoraggio integrati per la gestione del rischio biologico, fisico e chimico (ambientale e tecnologico) nelle matrici alimentari e negli alimenti per animali, nell'ottica dell'integrazione tra sanità pubblica, ambiente e agricoltura" ha previsto la realizzazione del programma di campionamenti e analisi come previsto dal Decreto 28/2016, concordando il calendario dei campionamenti con i SIAN/ARPAS/ABBANOA, con decorrenza settembre 2018.

Il Programma ha lo scopo di assicurare il controllo delle sostanze radioattive nelle acque destinate al consumo umano a tutela della salute pubblica, contribuendo al raggiungimento dell'obiettivo centrale 10.1 del Piano regionale e nazionale della prevenzione.

### **3.3.1 Articolazione del Programma**

Gli acquedotti del territorio regionale sono stati suddivisi in macro-aree in base alla fonte principale da cui originano. Queste aree sono state poi suddivise in zone di fornitura omogenee considerando gli ulteriori apporti provenienti da pozzi o sorgenti, tenendo conto dei criteri stabiliti dal Decreto 2 agosto 2017.

Le 24 Zone di Fornitura (ZdF) prese in esame in questo primo programma di controllo, consentono la copertura del 73% della popolazione residente. Le stesse sono state selezionate anche tenendo conto del territorio di competenza dei SIAN su cui ricadono i controlli esterni, nonché prendendo in considerazione quelle che interessano una popolazione superiore ai 10.000 abitanti (n. 22), ad eccezione di due ZdF del territorio della ASSL di Oristano (che non presenta ZdF con numero di abitanti >10.000) che comprendono n. 9.409 e n. 9.165 abitanti. Il restante 27% sarà interessato dal successivo programma di controllo.

Come previsto dal Decreto 2 agosto 2017, è prevista l'acquisizione dei dati di misure di radioattività e le informazioni sufficienti per effettuare le valutazioni preliminari per un periodo di due anni, con frequenza annuale ottenuta dividendo per due i valori di frequenza ricavati dalla tabella 1 dell'Allegato II, con una frequenza minima di 4 misure all'anno.

Il Programma prevede un'attività di controllo sul territorio suddivisa nelle quattro stagioni al fine di ottenere complessivamente una efficace rappresentatività del campione su base annua. In ciascuna stagione metà delle ZdF individuate saranno campionate per il controllo interno, l'altra metà per il controllo esterno. I campioni esterni/interni saranno alternati durante le stagioni per ogni singola ZdF così come da programma concordato tra Regione/ASSL/Gestore/ARPAS.

### **3.3.2 Attuazione del programma**

L'attuazione del Programma è affidata:

- alla Regione Sardegna, Assessorato dell'Igiene e sanità e dell'assistenza sociale, per la pianificazione, il coordinamento ed il controllo delle attività dei SIAN dell'ATS sul territorio di propria competenza;
- ai SIAN dell'ATS per l'esecuzione delle attività locali di controllo esterno;
- all'ARPAS per l'effettuazione delle analisi di laboratorio per il controllo esterno (analisi del 50% dei campioni totali previsti);
- all'Ente Gestore del Servizio Idrico Integrato ABBANOVA S.p.A. per l'esecuzione delle attività locali di controllo interno e per l'effettuazione delle relative analisi di laboratorio (analisi del 50% dei campioni totali previsti).

### **3.3.3 Modalità di campionamento**

Il Programma di campionamento prevede l'analisi dei radionuclidi naturali su un numero elevato di acquedotti, rappresentativi di una larga fetta della popolazione regionale e di un più limitato programma riguardante il Radon, definito su considerazioni di tipo geo-litologico.

Il Programma di campionamento per i controlli esterni, relativamente ai radionuclidi naturali, è effettuato dai SIAN competenti per territorio, mentre per quanto riguarda il Radon, i campioni sono prelevati direttamente dall'ARPAS che

provvederà anche alle relative analisi. Laddove nello stesso punto di prelievo sia previsto il campionamento per il Radon e per i radionuclidi naturali, questi ultimi saranno campionati dall'ARPAS previo accordo con il SIAN.

I radionuclidi artificiali, i NORM e il trizio non saranno invece oggetto del presente piano di monitoraggio.

### **3.3.4 Piano di campionamento**

La tabella seguente riporta in dettaglio il piano di campionamento.

ID ZcF	Denominazione ZcF	Popolazione	Volume d'acqua in m <sup>3</sup> /g	Tabella	N° campionamenti		Punto prelievo
					Rad. nat	Radon	
Sardegna-1	Sos Canales-1*	16,097	4,131	3	4	/	Uscita Pot. Sos Canales
Sardegna-2	Monte Lerno-1*	16,400	5,306	10	4	/	Uscita Pot. Pattada
Sardegna-3	Monte Lerno-7	10,394	4,937	10	4	4	Uscita Serb. Boschetto
Sardegna-4	Bidighinzu - PT	127,433	44,569	16	4	4	Uscita Viale Adua/Fontanella (SS)
Sardegna-5	Coghinias - Cuga-1	42,019	30,700	17	4	/	Uscita Pot. Monte Agnese
Sardegna-6	Coghinias-4	22,279	15,554	18	4	4	In rete
Sardegna-7	Bidighinzu - Florinas-1	41,793	16,420	20	4	/	Uscita Pot. Bidighinzu
Sardegna-8	Monte Lerno-8	13,841	5,960	10	4	4	In rete/Uscita Pischinaccia
Sardegna-9	Liscia-1	80,524	49,638	12	4	/	Uscita Pot. Agnata
Sardegna-10	Coghinias-1	57,394	30,914	18	4	/	Uscita Pot. Pedra Majore
Sardegna-11	Torrei-1	11,972	2,973	1	4	/	Uscita Pot. Torrei
Sardegna-12	Temo-3	10,120	4,631	2	4	4	Uscita Serb. Mazzanti
Sardegna-13	Olai-1	56,243	19,215	8	4	/	Uscita Pot. Janna e Ferru
Sardegna-14	Frunco e Oche-1*	11,537	8,713	14	4	4	Uscita Pot. Fruncu e Oche
Sardegna-15	Alto Flumendosa-1	15,976	6,460	22	4	/	Uscita Pot. Villagrande
Sardegna-16	Terralba	9,409	4,027	30	4	4	Uscita Cont. Via Manca 37 (Terralba)
Sardegna-17	Pozzi Sili-1*	9,165	3,866	6	4	4	Uscita Pot. Sili
Sardegna-18	Rio Leni	32,298	10,216	4	4	/	Uscita Pot. Villacidro
Sardegna-19	Nuraghe Arrubia*	26,419	10,015	7	4	/	Uscita Pot. S. G. Suergiu
Sardegna-20	Bau Pressiu-1	16,392	5,828	21	4	4	Uscita P.za Indipendenza (Portoscuso)
Sardegna-21	Bau Pressiu-2	23,813	6,418	21	4	4	Uscita Ospedale Sirai
Sardegna-22	Iglesias	26,988	12,115	30	4	4	Uscita Pot. P.ta Gennarta
Sardegna-23	Mulargia-1	474,801	204,079	9	10	/	Uscita Pot. Simbirizzi
Sardegna-24	Is Barroccus-1	47,793	14,922	13	4	/	Uscita Pot. Isili
	<b>TOTALI</b>	<b>1,201,100</b>	<b>521,607</b>		<b>102</b>	<b>44</b>	
	<b>Copertura %</b>	<b>73%</b>					

## 3-4 Misure di radioattività nelle acque ad uso umano - DLgs 31/01 - DLgs 28/2016 - Piano di campionamento regionale

Codice	Autorità che ha effettuato il prelievo	Data prelievo	Trimestre	Radon (Bq/kg)	Attività Alfa totale (Bq/kg)	Attività Beta Totale (Bq/kg)	ZdF
18CA05207*	ARPAS	02/10/2018	1	1.6	<0.17	<0.91	Sardegna-8
18CA05695	SIAN ASSL Sassari	29/10/2018	1		<0.02	<0.12	Sardegna-1
18CA05910	SIAN ASSL Nuoro	12/11/2018	1		0.04	<0.08	Sardegna-11
18CA06010	ARPAS	22/11/2018	1	1.39	0.02	<0.05	Sardegna-18
18CA06070	ARPAS	26/11/2018	1		<0.02	<0.12	Sardegna-4
18CA06108	ARPAS	27/11/2018	1		0.06	0.17	Sardegna-16
18CA06127	ARPAS	28/11/2018	1		0.02	<0.09	Sardegna-14
18CA06212	ARPAS	29/11/2018	1		<0.01	<0.08	Sardegna-20
18CA06213	ARPAS	29/11/2018	1		<0.02	<0.13	Sardegna-19
18CA06322	SIAN ASSL Lanusei	10/12/2018	2		0.04	<0.16	Sardegna-15
18CA06493	SIAN ASSL Cagliari	19/12/2018	2		<0.02	<0.08	Sardegna-23
18CA06494	SIAN ASSL Sassari	17/12/2018	2		<0.03	<0.17	Sardegna-9

Tab. 3-5 Misure di radioattività nelle acque ad uso umano - DLgs 31/01 - DLgs 28/2016 - risultati analitici (campioni 2018)

I valori di concentrazione dei parametri radiometrici riportati sono inferiori ai valori di riferimento previsti dalla normativa (valori di screening), pari a 0.1 Bq/l per la concentrazione alfa totale, 0.5 Bq/l per la concentrazione beta totale e 100 Bq/l per la concentrazione di radon.

### 3.4 Misure di radon nelle acque sotterranee

Nel 2018 è stato avviato un progetto di sperimentazione per la determinazione della concentrazione di radon nelle acque sotterranee della Sardegna, in collaborazione con il Servizio CMVA e le squadre di campionamento che provvedono al prelievo dei campioni delle acque sotterranee della rete regionale finalizzate al monitoraggio delle acque sotterranee come previsto dal piano di attività dell'Agenzia.

Nella tabella seguente sono riportati i dati riepilogativi dei risultati delle analisi svolte dal Laboratorio, correlate con le relative determinazioni della concentrazione di U e Th svolte dai laboratori dell'Università di Cagliari elaborati nel contesto di un tirocinio di un laureando della facoltà di Scienze Geologiche dell'Università di Cagliari.

Acquifero	N° campioni	Media Rn [Bq/l]	N° campioni U	Media U (ppb)	N° campioni Th	Media Th (ppb)
Carbonati Paleozoici	2	0.4				
Vulcaniti Oligo-Mioceniche	2	1.2	1	0.02	1	2.40
Vulcaniti Plio-Pleistoceniche	2	6.3	1	0.02		
Carbonati Mesozoici	3	6.9	3	0.69		
Detritico-Carbonatico Oligo-Miocenico	3	15.4	21	2.23	21	4.70
Detritico-Carbonatico Plio-Quaternario	1	24.9				
Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario	51	39.6	26	4.54	26	3.40
Granitoidi	3	53.2				

Nella figura seguente sono riportati i punti di campionamento.

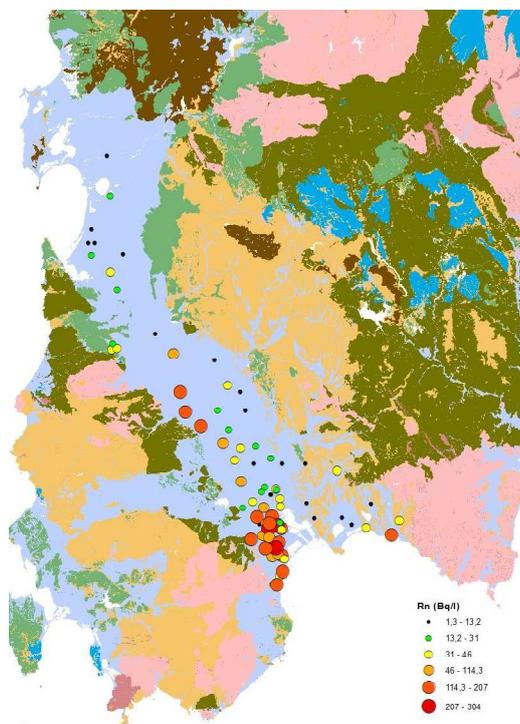


Fig. 3-10 *Mapa geochemica di distribuzione dell'attività del Rn-222 nelle acque sotterranee del Campidano*

### **3.5 Classificazione delle aree a rischio radon - Progetto Radon**

Su incarico dell'Azienda Tutela Salute Sardegna – ASSL di Cagliari, l'ARPA Sardegna ha predisposto e poi realizzato nel corso del 2017-18 il Progetto Radon, finalizzato alla "Classificazione del territorio regionale della Sardegna con individuazione delle aree a rischio radon".

Il Progetto ha consentito di ottenere misure annuali di concentrazione di radon indoor su 1837 edifici su un campione di 208 Comuni della Sardegna (su 377 Comuni totali).

Sui risultati del progetto si è riferito in dettaglio e la documentazione completa del progetto è disponibile nella pagina dedicata del sito web dell'ARPAS. Poiché non è obiettivo del presente rapporto presentare in dettaglio i risultati del progetto, se ne riassumono in estrema sintesi i risultati salienti.

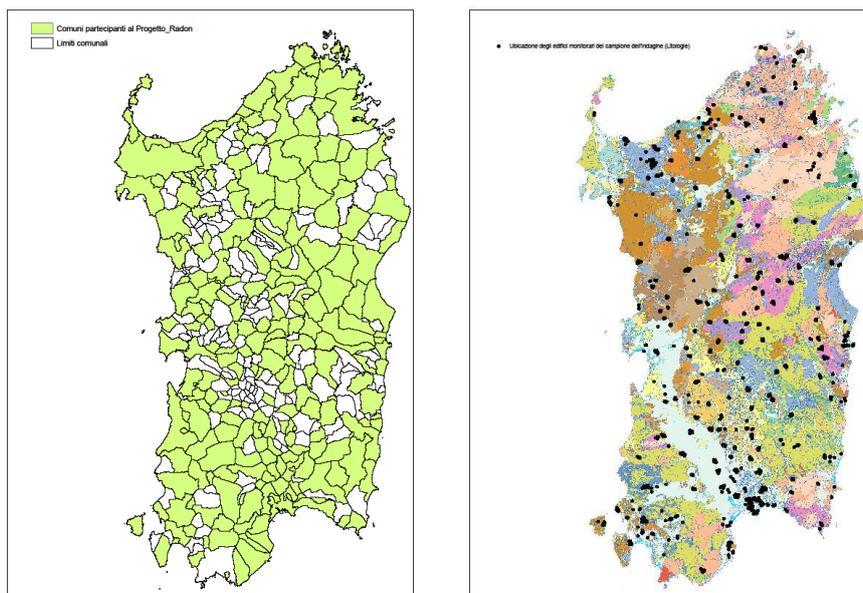
Le misure sono state eseguite con dosimetri CR39 in 2 semestri consecutivi (marzo-agosto 2017 e settembre 2018-marzo 2018) posizionando, sulla base degli obiettivi del progetto, i dosimetri in locali al piano terra degli edifici campione.

I risultati dei valori di concentrazione di radon sono stati riferiti a tre contesti territoriali rappresentati da: i limiti comunali, la carta litologica in scala 1:25.000 ed una maglia regolare (base Carta tecnica regionale di 37,5 km<sup>2</sup>).

I risultati ottenuti hanno determinato una media aritmetica (AM) dei valori di concentrazione radon indoor pari a 116 Bq/m<sup>3</sup> e una media geometrica (GM) pari a 65 Bq/m<sup>3</sup>.

La distribuzione dei valori di concentrazione media netta nei "Comuni campione" mostra che il 93% dei Comuni interessati presenta una concentrazione media annuale (al netto del valore outdoor stimato in 8 Bq/m<sup>3</sup>) inferiore ai 300 Bq/m<sup>3</sup>, il 4,2% valori tra 300-500 Bq/m<sup>3</sup> e il 3% valori superiori ai 500 Bq/m<sup>3</sup>. Per la definizione delle aree a rischio radon e la classificazione dell'intero territorio regionale è stato necessario procedere a delle interpolazioni eseguite utilizzando due metodi complementari: un kriging ordinario con il software (open source) R, usando la funzione krige Tg e un secondo metodo, denominato Lito-Geo-Statistico (LGS), che fonda i suoi presupposti teorici sul metodo della mappatura integrata (integrated mapping method sviluppato da Miles-Appleton nel 2005).

Al fine di classificare le aree del territorio regionale in relazione alle concentrazioni di radon indoor si è individuato nel valore di riferimento di 300 Bq/m<sup>3</sup> e nel 30% la soglia della probabilità di superamento di tale valore per gli edifici. Complessivamente sono risultati ricadere in tali aree a rischio 49 Comuni della Sardegna (pari al 13%), che ricadono nei settori nord-orientale e centro-orientale della Sardegna.



**Fig. 3-9 Comuni dei quali si dispone di informazioni relative ai valori di concentrazione di radon indoor ed ubicazione degli edifici monitorati posizionati sulla carta litologica**

La concentrazione media (AM) delle misure di radon indoor sui 208 Comuni esaminati, considerando sia le misure nelle abitazioni private che nelle scuole, è pari a  $116 \text{ Bq/m}^3$ , mentre la media geometrica (GM) risulta pari a  $65 \text{ Bq/m}^3$ . Il valore minimo risulta essere di  $1 \text{ Bq/m}^3$  ed il massimo è di  $4384 \text{ Bq/m}^3$ .

Il valore della media aritmetica dei valori di concentrazione ( $116 \text{ Bq/m}^3$ ) risulta più elevato del valore medio di esposizione della popolazione della Sardegna determinato nel corso dell'Indagine nazionale radon del 1991-1992, pari a  $64 \text{ Bq/m}^3$  (ISS, PNR 2002), ottenuto utilizzando una strategia di campionamento basata sulla distribuzione della popolazione regionale. Nel Progetto Radon, che ha invece l'obiettivo di ricercare le aree a rischio, il campione è stato costruito scegliendo unicamente locali ubicati al piano terra, che costituiscono un campione non rappresentativo dell'intera popolazione regionale e pertanto il relativo valore medio di concentrazione è, come atteso, più elevato.

Il 93% degli edifici campione (pari a 1704 edifici) presenta una concentrazione di radon indoor inferiore ai  $300 \text{ Bq/m}^3$  (livello di riferimento massimo indicato dalla Direttiva 59/2013/Euratom). Del restante 7% del campione (pari a 133 edifici), il 4% (pari a 78 edifici) presenta valori compresi tra  $300$  e  $500 \text{ Bq/m}^3$ , e solo il 3% (pari a 55 edifici) presenta valori superiori ai  $500 \text{ Bq/m}^3$  (livello d'azione per i luoghi di lavoro previsto dal D.Lgs 230/95 e s.m.i.).

La distribuzione dei valori di concentrazione per classi più dettagliate ( $\leq 50$ ;  $50 \div 100$ ;  $100 \div 200$ ;  $200 \div 300$ ;  $300 \div 500$ ;  $> 500 \text{ Bq/m}^3$ ) evidenzia che circa il 41% degli edifici (pari a 746 edifici) presenta valori di concentrazione radon  $< 50 \text{ Bq/m}^3$  ed un altro 26% (pari a 485 edifici) è compreso nella classe tra  $50 \div 100 \text{ Bq/m}^3$ . Complessivamente 1231 edifici su 1837 presentano valori inferiori ai  $100 \text{ Bq/m}^3$  (pari al 67% del campione). Nella classe tra  $100 \div 200 \text{ Bq/m}^3$  ricadono 343 edifici (pari al 19% del campione) e altri 130 edifici (pari al 7% del campione) ricadono nella classe tra  $200 \div 300 \text{ Bq/m}^3$ .

A livello territoriale i 208 Comuni dell'indagine presentano valori medi distribuiti prevalentemente (119 Comuni) nelle classi con valori inferiori ai  $100 \text{ Bq/m}^3$  (58%); nella classe con valori compresi tra  $100 \div 200 \text{ Bq/m}^3$  ricadono 60 Comuni

(29%); nella classe con valori compresi tra 200÷300 Bq/m<sup>3</sup> ricadono 17 Comuni (8%). Tra 300÷500 Bq/m<sup>3</sup> ricadono 9 Comuni (4%) mentre solo tre Comuni ricadono nella classe >500 Bq/m<sup>3</sup>, pertanto solo il 5,7% dei Comuni monitorati presenta valori medi superiori ai 300 Bq/m<sup>3</sup>.

Si osserva, in generale, che il valore medio di concentrazione GM delle Scuole (S) pari a 83 Bq/m<sup>3</sup> risulta superiore del 36% rispetto al valore medio di concentrazione delle Abitazioni (A) pari a 61 Bq/m<sup>3</sup>. L'analisi dei valori di concentrazione di radon indoor per Provincia per le due tipologie di edifici (A e S) conferma il trend generale già visto nel campione complessivo degli edifici.

Per quanto riguarda la distribuzione delle classi di valori di concentrazione del radon indoor degli edifici ubicati nelle diverse Unità litologiche, si osserva che :

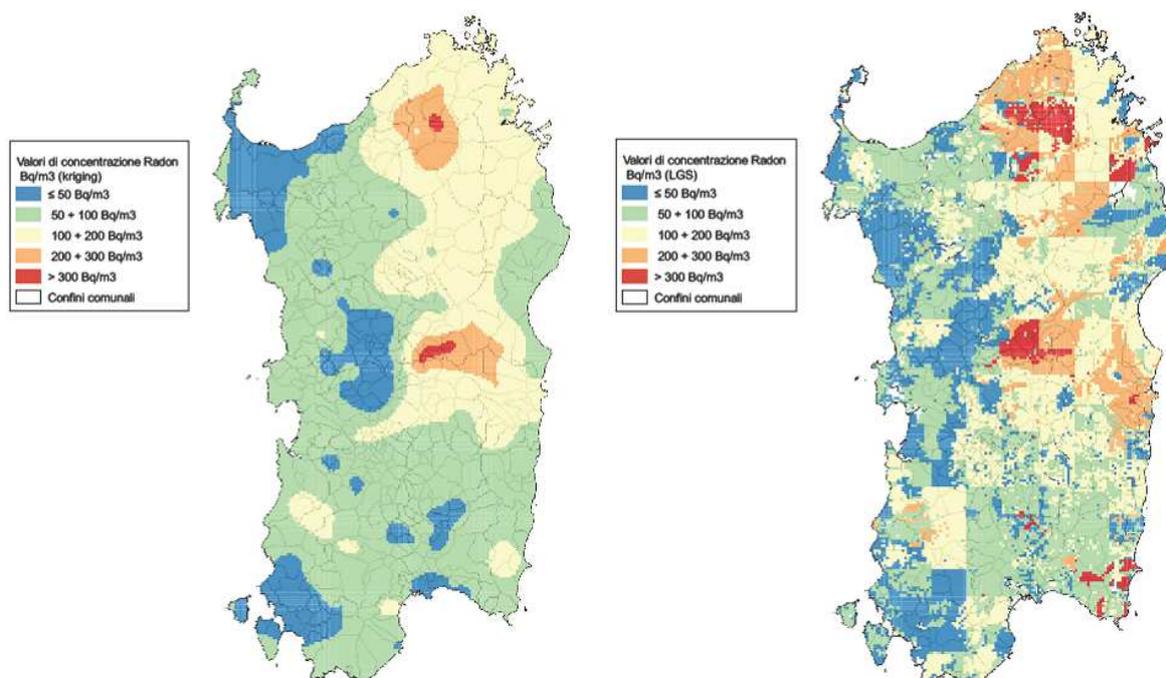
- su tutte le litologie sono presenti edifici con valori puntuali superiori ai 300 e 500 Bq/m<sup>3</sup>;
- i dati di radon indoor relativi agli edifici (A-S) che insistono sulle rocce magmatiche intrusive mostrano i valori più elevati di GM (>100 Bq/m<sup>3</sup>) rispetto alle altre litologie, e sono presenti molti outlier con valori > 500 Bq/m<sup>3</sup>. Tra le litologie magmatiche intrusive le concentrazioni più elevate di GM (con valori di 120-208 Bq/m<sup>3</sup>) sono presenti negli edifici che insistono su monzograniti e granodioriti;
- i dati di radon indoor relativi agli edifici che insistono sulle rocce magmatiche effusive, presentano valori tendenzialmente al di sotto dei 100 Bq/m<sup>3</sup>, con una GM di 47 Bq/m<sup>3</sup> e 37 Bq/m<sup>3</sup> rispettivamente nelle scuole e nelle abitazioni;
- i dati relativi agli edifici che insistono sulle rocce parametamorfiche mostrano che il 50% dei dati è superiore ai 100 Bq/m<sup>3</sup> con una GM di 88 Bq/m<sup>3</sup> e 70 Bq/m<sup>3</sup> rispettivamente nelle scuole e nelle abitazioni; in diversi edifici (A-S) i valori superano i 300 Bq/m<sup>3</sup>;
- i dati di radon indoor relativi agli edifici che insistono sulle rocce sedimentarie terrigene presentano bassi valori di GM (70 Bq/m<sup>3</sup> e 49 Bq/m<sup>3</sup> rispettivamente nelle scuole e nelle abitazioni), e sono comunque presenti numerosi valori >300 Bq/m<sup>3</sup>.

### 3.5.1 Elaborazioni su base geostatistica e rappresentazione dei risultati a livello regionale

Al fine di poter ottenere, a partire dai valori di concentrazione di radon indoor nel campione regionale, illustrati in precedenza e relativi a 208 Comuni, valori di concentrazione di radon indoor per l'intero territorio regionale e relativi a tutti i 377 Comuni, identificati come unità territoriale di riferimento, sono state sviluppate e sperimentate diverse tecniche di interpolazione dei dati, e sono state successivamente scelte due tecniche di tipo geostatistico, considerate le più adeguate per il raggiungimento degli obiettivi del Progetto.

Tali tecniche sono un metodo "kriging" (Matheron, 1976) e un metodo di "elaborazione litogeostatistica - LGS" mutuata a partire dal metodo proposto da Miles et al. 2005 e da noi adattata e sviluppata in riferimento al contesto regionale.

Il metodo kriging costruisce le interpolazioni dei dati analitici georeferenziati utilizzando unicamente la reciproca correlazione spaziale, mentre il metodo LGS costruisce le interpolazioni sulla base di un criterio che si fonda sul contributo territoriale specifico delle litologie.



**Figura 3-10 Distribuzione dei valori di concentrazione media radon indoor - confronto tra metodo Kriging (figura a sx) e metodo LGS (figura a dx)**

### 3.5.2 Elaborazioni per la valutazione delle aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon

La normativa nazionale vigente, D.Lgs 230/95 e s.m.i., introduce (Art. 10 sexies) le “aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon”, intese come “le zone o luoghi di lavoro con caratteristiche determinate ad elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon, di cui all’articolo 10 ter- comma 2”, pur lasciando attualmente indeterminati i criteri per la loro identificazione, demandati alle risultanze dei lavori di una commissione non ancora insediata. Attualmente il metodo utilizzato in tutte le indagini svolte in Italia dopo il 2000 (anno nel quale sono state introdotte le precedenti definizioni nella normativa nazionale) per la definizione delle aree a rischio è sostanzialmente il “Grid Square Method”, proposto da Miles et. Al. nel 1994, ed utilizzato oltre che in Italia anche in buona parte degli studi analoghi nel resto del mondo. Secondo tale tecnica, si utilizza come indicatore la frazione (espressa in %) di abitazioni che in una determinata area supera un determinato livello di riferimento di concentrazione di radon, ovvero, espressa in altri termini, la probabilità che le abitazioni che insistono in un determinato territorio possano superare il livello di riferimento dato. Tale concetto è stato ribadito anche dalla Direttiva CE 2013/59/Euratom, Art. 103, comma 3 “Gli Stati membri individuano le zone in cui si prevede che la concentrazione di radon (come media annua) superi il pertinente livello di riferimento nazionale in un numero significativo di edifici”.

A tale scopo devono essere definiti il valore del livello di riferimento, i valori delle classi di distribuzione del parametro ed il valore delle “soglie di probabilità”, al di sopra delle quali tali porzioni di territorio sono considerate “a rischio”. Secondo tale metodo, assumendo che la distribuzione delle concentrazioni di radon nelle abitazioni sia approssimativamente log-normale (Miles J.C., 1994), in ogni cella si considera il logaritmo del livello di radon della generica abitazione come una variabile casuale normale, con media e varianza rispettivamente pari alla media e alla varianza dei valori di

concentrazione di radon all'interno della cella, trasformati secondo la funzione logaritmo.

La distribuzione dei valori di concentrazione del campione complessivo è una distribuzione lognormale, con valore della media geometrica (GM) pari a 65 Bq/m<sup>3</sup> e una deviazione standard geometrica (DSG) pari a 1,055. Tali parametri sono stati utilizzati come caratteristici della distribuzione dei dati a livello degli elementi territoriali, per i quali il criterio è stato applicato, ovvero i limiti amministrativi comunali e le classi litologiche, assumendo che i dati al loro interno abbiano la stessa distribuzione log-normale e la stessa DSG. Sulla base di tale presupposto, il calcolo della percentuale di abitazioni che superano un determinato livello di riferimento si deve costruire in ogni elemento territoriale scelto, mediante la cosiddetta funzione deviata normale standardizzata Z, definita come:

$$Z = \frac{\ln(LR) - \ln(GM)}{\ln(DSG)}$$

dove LR è il livello di riferimento scelto, GM la media geometrica e DSG la deviazione standard geometrica.

Dalle tabelle dei valori di probabilità della distribuzione di frequenza normale, per ogni valore di Z si determina la probabilità che una misura di radon nella relativa cella possa superare il valore del livello di riferimento, ovvero la percentuale attesa di abitazioni eccedenti il livello di riferimento stesso.

Sulla base dei livelli di riferimento (LR) definiti dalle normative nazionali ed europee, sono state eseguite le mappe della percentuale attesa di abitazioni eccedenti i 300 e 500 Bq/m<sup>3</sup>. Il valore di 300 Bq/m<sup>3</sup> è il livello di riferimento, quale media annua della concentrazione di radon in ambienti chiusi da non superare, indicato dalla Direttiva 59/2013/Euratom. Il valore di 500 Bq/m<sup>3</sup> è indicato dal D.Lgs 230/95 e s.m.i. quale livello d'azione per gli ambienti di lavoro.

Le classi utilizzate per la scala dei valori della percentuale di edifici che superano i livelli di riferimento sono: 1) <5%; 2) 5÷10%; 3) 10÷20%; 4) 20÷30%; 5) >30%.

### 3.5.3 Individuazione delle aree a rischio radon

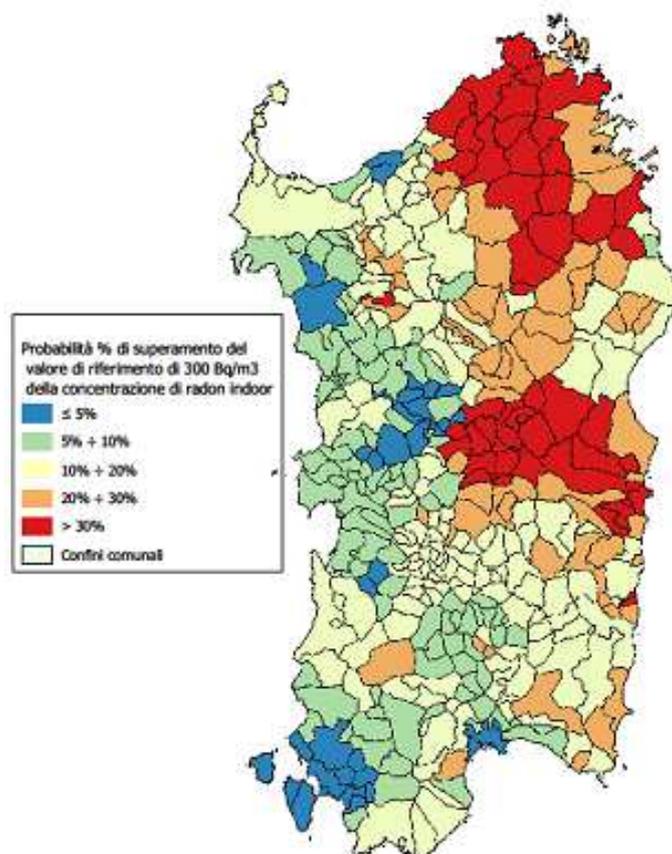
In considerazione delle elaborazioni svolte con i metodi di stima kriging ed LGS delle concentrazioni di radon indoor per le unità territoriali riferite ai limiti amministrativi comunali, è stata costruita, a partire dai valori della probabilità del superamento del livello di riferimento di 300 Bq/m<sup>3</sup>, un'unica tabella che prevede, in via del tutto cautelativa, che il valore della probabilità di superamento del livello di riferimento per ciascun Comune della Sardegna sia rappresentato dal valore maggiore fra quelli ottenuti con i due metodi di stima. A tal fine, con l'obiettivo di identificare le aree a rischio come stabilito dal D.Lgs. 230/95 e ss.mm.ii., ed in attesa delle indicazioni derivanti dal recepimento della Direttiva 59/2013/Euratom e dal previsto Piano d'azione per il Radon, sono state individuate quali aree a rischio i Comuni nei quali la probabilità di superare il livello di riferimento di 300 Bq/m<sup>3</sup> interessa più del 30% degli edifici.

La distribuzione dei Comuni in classi di probabilità di superare il valore di riferimento è riportata nella tabella seguente

Probabilità di superare il valore di riferimento 300 Bq/m <sup>3</sup>	Numero di Comuni	Popolazione
P ≤ 5%	34	11.620
5 < P ≤ 10%	98	39.864
10 < P ≤ 20%	142	66.257
20 < P ≤ 30%	54	56.967
P > 30%	49	48.650
<b>Totale</b>	<b>377</b>	<b>223.359</b>

**Tab. 3-6 Stima della probabilità di superamento dei valori di concentrazione di radon indoor di 300 Bq/m<sup>3</sup> , per classe valori, nei Comuni della Sardegna e stima della popolazione esposta**

La figura seguente rappresenta la classificazione del territorio regionale in relazione alla probabilità di superare il livello di riferimento di 300 Bq/m<sup>3</sup> negli ambienti confinati (indoor), siano essi edifici residenziali che edifici utilizzati per attività lavorative.



**Fig. 3-13 Probabilità di superamento del livello di riferimento di 300 Bq/m<sup>3</sup> negli edifici. In rosso le aree a rischio radon (probabilità > del 30%).**

#### 3.5.4 Valutazione dell'esposizione della popolazione

Alla conclusione dello studio sono state condotte delle elaborazioni sugli aspetti relativi al rischio per la popolazione, finalizzate alla validazione ed alla conferma delle scelte metodologiche sviluppate (e di natura esclusivamente preliminare), basate sulla popolazione e sulla sua distribuzione nel territorio. A partire dai dati ISTAT 2011 relativi alla popolazione residente per ciascun Comune della Regione e dal numero di edifici residenziali presenti in ciascun Comune è stata calcolata la popolazione esposta a concentrazioni di radon indoor superiori ai valori di riferimento pari a 300 Bq/m<sup>3</sup> per tutti i Comuni della Sardegna. Le stime eseguite (tab. n 3) evidenziano che circa il 14% della popolazione della Sardegna (circa 223.000 persone) risulterebbe esposta a valori di concentrazione di radon indoor superiore al valore di 300 Bq/m<sup>3</sup> e di questi circa il 22% risiede nei Comuni classificati a rischio, mentre la restante parte della popolazione potenzialmente esposta si distribuisce, talora con una incidenza percentuale maggiore, nelle altre classi valori di probabilità definite.

### 3.5.5 Attività in corso

Sono in corso ulteriori attività analitiche finalizzate alla classificazione del territorio regionale sulla base del contenuto di radioisotopi naturali, legati alle caratteristiche geochimiche delle rocce e dei suoli della regione.

## 4 Attività di vigilanza e controllo

Le attività di vigilanza e controllo sono riferite a:

- Attività di vigilanza e controllo ex art. 157 del D. Lgs. 230/95)
- Interventi a seguito di ritrovamento di sorgenti di radiazioni ionizzanti ed interventi ex art. 100 D. Lgs. 230/95

L'art. 157 del D- Lgs. 230/95 disciplina il regime dei controlli necessari per la prevenzione del rischio radiologico legato alla possibile presenza di sorgenti radioattive in rottami metallici e semilavorati metallici, pe le quali le aziende che effettuano tale tipologia di lavorazioni devono effettuare i controlli previsti.

A seguito dell'installazione ed attivazione dei portali radiometrici per il controllo dei carichi in ingresso nei principali impianti di trattamenti rifiuti della regione sono state effettuate numerose segnalazioni di "allarme" da parte delle Autorità competenti (Prefettura) a seguito delle quali il Servizio si è attivato per svolgere i controlli previsti, che sono consistiti essenzialmente nella ricerca e nell'isolamento delle sorgenti presenti all'interno nei mezzi di trasporto, frammiste ai carichi di rifiuti.

La tabella seguente riassume le segnalazioni pervenute all'Agenzia a partire dal 2011.

Segnalazioni dalla Prefettura	mese												Totale
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2011		1										1	2
2012			2			2	1						5
2013						1	1	1	1	1		1	6
2014	1												1
2015			2	1	7	4		3	3		1	2	23
2016	3		1	3	1	1	3	1	5	2	3	1	24
2017	3	4	1					1	2	2	2	2	17
2018		5		1	1	1	1	1		1	1		12
2019				2	1			1			1	1	6
<b>Totale complessivo</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>96</b>

Nella maggioranza dei casi si è trattato di rifiuti di tipo ospedalieri o comunque di origine sanitarie, con la presenza di radioisotopi con tempi di dimezzamento inferiori a 75 giorni.

In alcune circostanze sono stati inoltre rinvenuti oggetti che mostravano contaminazione di origine naturale che, previa verifica della compatibilità, sono stati avviati a smaltimento secondo la normativa di settore.