



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 Generale

DETERMINAZIONE N. 122 DEL 09/12/2016

Oggetto: **Convenzione tra l'ARPAS e la ASL di Cagliari per la Classificazione del territorio regionale della Sardegna con individuazione delle aree a rischio Radon**

VISTA la Legge Regionale n. 6/2006 istitutiva dell'ARPAS e successive modificazioni;

VISTO il Decreto del Presidente della Regione n. 111 del 01/10/2014 con il quale, in esecuzione della Deliberazione della Giunta Regionale n. 37/6 del 16/09/2014, il sottoscritto Ing. Alessandro Sanna è stato nominato Direttore Generale dell'ARPAS, ai sensi dell'art. 10 della L.R. n. 6 del 18 maggio 2006;

PREMESSO che

- tra gli Obiettivi Centrali del Piano Nazionale della Prevenzione 2014-2018 (approvato con l'intesa Stato-Regioni rep. n. 156/CSR del 13 novembre 2014) figura quello di "*Promuovere le buone pratiche in materia di sostenibilità ed eco-compatibilità nella costruzione/ristrutturazione di edifici anche in relazione al rischio radon*", il cui Indicatore Centrale è "*Approvazione di linee guida per orientare i regolamenti edilizi in chiave eco-compatibile*";
- in ottemperanza al predetto Piano Nazionale della Prevenzione, nel Programma P-8.2, (recante "*Supporto alle Politiche Ambientali*") del Piano Regionale di Prevenzione 2014-2018 (PRP), adottato con DGR n.30/21 del 16 giugno 2015, è stata inserita l'Azione P-8.2.4 "*Promozione di buone pratiche in materia di sostenibilità ed eco-compatibilità nella costruzione/ ristrutturazione di edifici per il miglioramento della qualità dell'aria indoor*";
- tale Azione comprende l'Attività P-8.2.4.2 che prevede che qualora sia necessario disporre di informazioni più dettagliate riguardo al rischio radon in ambito regionale, si provvederà, mediante apposita convenzione con l'ARPAS, alla classificazione del territorio con individuazione delle aree a rischio;
- il Gruppo di Lavoro Intersettoriale (GdL), costituito con Determinazione del Direttore Generale della Sanità n. 38 del 25 gennaio 2016, nella riunione del 29.02.2016, ha ritenuto che occorre approfondire, con apposita indagine, le conoscenze sulla distribuzione della concentrazione di Radon negli edifici, per la classificazione del territorio regionale con individuazione delle aree a rischio radon;
- l'ARPAS è stata individuata dall'Assessorato dell'Igiene e Sanità e dell'Assistenza Sociale quale soggetto attuatore di tale indagine disponendo che la ASL di Cagliari, capofila in materia di salute e ambiente, stipuli apposita convenzione con l'ARPAS;



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 Generale

- l'Assessorato dell'Igiene e Sanità e dell'Assistenza Sociale, con Determina n. 1050 del 22.09.2016, ha erogato i finanziamenti relativi al Programma P-8.2 del Piano Regionale di Prevenzione 2014-2018 (PRP) comprendenti anche le somme per la convenzione tra la ASL di Cagliari e l'ARPAS, finalizzata alla classificazione del territorio regionale con l'individuazione delle aree a rischio radon, come stabilito nell'Attività P-8.2.4.2 del PRP;
- nell'ambito delle attività del suddetto Gruppo di Lavoro Intersettoriale è stata predisposta una bozza di convenzione disciplinante termini e modalità delle attività previste e meglio descritte nel progetto allegato alla medesima convenzione contenente il programma dei lavori, la descrizione delle metodologie e delle fasi di lavoro e il crono programma;

RITENUTO dover procedere alla approvazione e sottoscrizione della Convenzione di che trattasi da considerarsi quale accordo di collaborazione istituzionale tra amministrazioni ai sensi del comma 6 dell'art.5 del nuovo Codice dei Contratti pubblici;

VISTI i pareri espressi in calce dal Direttore dell'Area amministrativa e dal Direttore dell'Area tecnico-scientifica;

DETERMINA

1. Di approvare l'allegato schema di convenzione disciplinante i rapporti tra l'ARPAS e la ASL di Cagliari allegata alla presente determinazione quale parte integrante e sostanziale per la classificazione del territorio regionale con l'individuazione delle aree a rischio radon;
2. Di trasmettere la presente determinazione al Servizio Ragioneria e finanze per la predisposizione della variazione di bilancio conseguente al trasferimento da parte della ASL di Cagliari della somma di € 290.000,00, come previsto dalla Determina n. 1050 del 22.09.2016 dell'Assessorato dell'Igiene e Sanità e dell'Assistenza Sociale, nonché per la predisposizione di tutti gli atti e provvedimenti conseguenti.

La presente Determinazione è trasmessa all'Ufficio Comunicazione per gli adempimenti di pubblicazione nell'Albo Pretorio on-line del sito istituzionale dell'Agenzia.

Il Direttore dell'Area amministrativa
f.to Nicoletta Vannina Ornano

Il Direttore dell'Area tecnico-scientifica
f.to Piero Italo Persod

Il Direttore Generale
f.to Alessandro Sanna

“CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO REGIONALE DELLA SARDEGNA CON INDIVIDUAZIONE DELLE AREE A RISCHIO RADON”

CONVENZIONE TRA

l'Azienda Sanitaria Locale di Cagliari, di seguito denominata ASL di Cagliari, nella persona del Commissario Straordinario Dott.ssa Savina Ortu, domiciliata per la sua carica presso la sede della ASL di Cagliari, via Piero della Francesca 1, 09047 Selargius (Cagliari), codice fiscale 02261430926

e

l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna, con sede in Cagliari, via Luigi Contivecchi n. 7, di seguito denominata ARPAS, nella persona del Direttore Generale Ing. Alessandro Sanna, domiciliato per la sua carica presso la sede della medesima Agenzia, codice fiscale: 92137340920

Premesso che

- Tra gli Obiettivi Centrali del Piano Nazionale della Prevenzione 2014-2018 (approvato con l'intesa Stato-Regioni rep. n. 156/CSR del 13 novembre 2014) figura quello di *“Promuovere le buone pratiche in materia di sostenibilità ed eco-compatibilità nella costruzione/ristrutturazione di edifici anche in relazione al rischio radon”*, il cui Indicatore Centrale è *“Approvazione di linee guida per orientare i regolamenti edilizi in chiave eco-compatibile”*.
- In ottemperanza al predetto Piano Nazionale della Prevenzione, nel Programma P-8.2, (recante *“Supporto alle Politiche Ambientali”*) del Piano Regionale di Prevenzione 2014-2018 (PRP), adottato con DGR n.30/21 del 16 giugno 2015, è stata inserita l'Azione P-8.2.4 *“Promozione di buone pratiche in materia di sostenibilità ed eco-compatibilità nella costruzione/ ristrutturazione di edifici per il miglioramento della qualità dell'aria indoor”*.
- Tale Azione comprende l'Attività P-8.2.4.2 che prevede che qualora sia necessario disporre di informazioni più dettagliate riguardo al rischio radon in ambito regionale, si provvederà, mediante apposita convenzione con l'ARPAS, alla classificazione del territorio con individuazione delle aree a rischio

- Il Gruppo di Lavoro Intersettoriale (GdL), costituito con Determinazione del Direttore Generale della Sanità n. 38 del 25 gennaio 2016, nella riunione del 29.02.2016, ha ritenuto che occorre approfondire, con apposita indagine, le conoscenze sulla distribuzione della concentrazione di Radon negli edifici, per la classificazione del territorio regionale con individuazione delle aree a rischio radon
- L'ARPAS è stata individuata dall'Assessorato dell'Igiene e Sanità e dell'Assistenza Sociale quale soggetto attuatore di tale indagine disponendo che la ASL di Cagliari, capofila in materia di salute e ambiente, stipuli apposita convenzione con l'ARPAS
- l'Assessorato dell'Igiene e Sanità e dell'Assistenza Sociale, con Determina n. 1050 del 22.09.2016, ha erogato i finanziamenti relativi al Programma P-8.2 del Piano Regionale di Prevenzione 2014-2018 (PRP) comprendenti anche le somme per la convenzione tra la ASL di Cagliari e l'ARPAS, finalizzata alla classificazione del territorio regionale con l'individuazione delle aree a rischio radon, come stabilito nell'Attività P-8.2.4.2 del PRP.
- l'ARPAS ha al proprio interno le competenze tecnico-scientifiche per la realizzazione delle attività necessarie per la classificazione del territorio regionale con individuazione delle aree a rischio Radon, dispone di un laboratorio opportunamente attrezzato, dispone di sistemi di elaborazione e di restituzione cartografica dei dati, dispone di un'organizzazione territoriale regionale, garantisce pertanto la buona riuscita del programma di attività

Tutto ciò premesso, le parti sopra costituite convengono e stipulano quanto segue:

Articolo 1

Le premesse costituiscono parte integrante e sostanziale della presente Convenzione.

Articolo 2

L'oggetto della convenzione è la "*Classificazione del territorio regionale della Sardegna con individuazione delle aree a rischio Radon*"

La ASL di Cagliari, in qualità di ASL capofila in materia di salute e ambiente, attraverso la SSD Salute e Ambiente del Dipartimento di Prevenzione, intende avvalersi della collaborazione dell'ARPAS per l'individuazione delle aree a rischio radon della Sardegna, con l'obiettivo di promuovere tutte le azioni necessarie per ridurre il rischio di tumore polmonare associato all'esposizione al radon.

Articolo 3

Per la realizzazione dell'attività prevista nella presente convenzione l'ARPAS si impegna a:

- a) effettuare la progettazione della campagna di indagine;
- b) coinvolgere ed informare i comuni sede dell'indagine;

- c) individuare gli edifici in cui posizionare i rilevatori di Radon;
- d) elaborare i questionari sulle caratteristiche degli edifici in cui vengono posizionati i dosimetri;
- e) formare il personale addetto alla distribuzione dei dosimetri e alla somministrazione del questionario;
- f) predisporre i dosimetri per la misura della concentrazione di Radon e provvedere alla distribuzione dei dosimetri presso gli edifici campione, da ripetersi dopo sei mesi;
- g) sviluppare e leggere i dosimetri esposti al fine di determinare la concentrazione di radon negli edifici campionati;
- h) elaborare i dati rilevati e provvedere alla relativa restituzione alfanumerica e cartografica ed all'archiviazione su data-base;
- i) trasmettere, entro novembre 2017, un rapporto dettagliato sulle risultanze dei primi sei mesi di attività contenente l'elaborazione dei dati;
- j) trasmettere entro settembre 2018 il Rapporto finale contenente tutte le attività effettuate e la classificazione del territorio regionale con l'individuazione delle aree a rischio radon.

Articolo 4

Il contenuto dello studio ed i risultati attesi sono specificati in dettaglio nel Progetto, contenente il programma dei lavori, la descrizione delle metodologie e delle fasi di lavoro e il cronoprogramma, che, allegato alla presente Convenzione, ne costituisce parte integrante e sostanziale.

Articolo 5

Entro trenta giorni dalla stipula della presente Convenzione, l'ARPAS provvederà alla nomina del Responsabile scientifico per la corretta esecuzione del Progetto. Il Responsabile scientifico sarà il Referente dell'ARPAS nei confronti della ASL di CAGLIARI e dell'Assessorato dell'Igiene e Sanità e dell'Assistenza Sociale della Regione Autonoma della Sardegna.

Articolo 6

La ASL di CAGLIARI, può effettuare in corso d'opera, attraverso la SSD Salute e Ambiente del Dipartimento di Prevenzione, controlli e sopralluoghi sulle attività svolte, al fine di verificare la corretta esecuzione ed il normale andamento, secondo le modalità e l'articolazione temporale previste nel Progetto.

La ASL di CAGLIARI provvede, comunque, alla verifica ed alla approvazione dei prodotti finali realizzati secondo le previsioni programmatiche che risultano nel Progetto.

Articolo 7

L'attività oggetto della Convenzione verrà espletata entro settembre 2018.

Articolo 8

Il rapporto di Convenzione si riterrà concluso a seguito della consegna alla ASL di Cagliari, nei termini previsti, della relazione conclusiva contenente tutte le attività effettuate e la classificazione del territorio regionale con l'individuazione delle aree a rischio radon.

Articolo 9

La ASL di CAGLIARI corrisponderà all'ARPAS Euro 290.000 per l'esecuzione delle attività oggetto della presente Convenzione, comprensive di ogni eventuale onere.

Articolo 10

I versamenti degli importi da parte della ASL di CAGLIARI all'ARPAS avverranno, a seguito di presentazione di nota di addebito da parte di ARPAS, secondo le seguenti modalità:

- 1° rata corrispondente al 40% della somma complessiva a seguito della stipula della Convenzione;
- 2° rata corrispondente al 30% della somma complessiva a seguito della presentazione alla ASL di CAGLIARI del primo rapporto semestrale;
- 3° rata, corrispondente al 30% della somma complessiva, a seguito della presentazione alla ASL di CAGLIARI del Rapporto contenente tutte le attività effettuate e la classificazione del territorio regionale con l'individuazione delle aree a rischio radon. Sarà erogata successivamente al rilascio del certificato di regolare esecuzione redatto dalla SSD Salute e Ambiente.

Articolo 11

I dati relativi alle risultanze dell'attività oggetto della Convenzione sono di proprietà della ASL di Cagliari che li trasferirà all'Assessorato dell'Igiene e Sanità e dell'Assistenza Sociale della Regione Autonoma della Sardegna.

Le parti convengono che per le finalità di cui al presente atto, deve essere mantenuto il più stretto riserbo nella trasmissione dei dati e nelle comunicazioni interessanti l'attività. I risultati della ricerca potranno essere utilizzati dalle parti per i propri compiti istituzionali, previo assenso dell'Assessorato dell'Igiene e Sanità e dell'Assistenza Sociale.

Articolo 12

E' espressamente convenuto che nel caso di gravi inadempienze ogni parte contraente può risolvere il presente contratto conformemente alle disposizioni di legge.

Le Parti si sollevano reciprocamente dalla responsabilità civile per fatti dannosi che, con esclusione dei casi di dolo o di colpa, possano accadere al personale da ciascuno adibito all'esecuzione della Convenzione.

Il personale impiegato dall'ARPAS nelle prestazioni oggetto della Convenzione, sia in regime di dipendenza, quanto in forma saltuaria, di consulenza o di qualsivoglia natura, contrarrà rapporto con la sola ARPAS.

La ASL di CAGLIARI non assume alcuna responsabilità nei rapporti tra ARPAS e Terzi in ordine a eventuali diritti, restando a carico dell'ARPAS stessa l'obbligo di provvedere alle eventuali necessarie garanzie ed al rispetto dei diritti esistenti, tenendo comunque indenne la ASL di CAGLIARI da ogni azione, richiesta, pretesa di Terzi in merito.

Per le eventuali controversie in ordine al presente atto è competente il Foro di Cagliari

Per quanto non espressamente previsto dalla Convenzione si fa esplicito riferimento al Codice Civile vigente.

Le Parti si danno reciprocamente atto dell'avvenuta lettura della Convenzione e di ben conoscerla e, l'atto composto di n.5 fogli, ciascuno siglato a margine e sottoscritto dalle Parti stesse.

Sono a carico dell'ARPAS gli oneri derivanti dalla presente convenzione, ivi comprese le spese di bollo ed eventuali altre imposte o tasse senza diritto di rivalsa nei confronti della ASL.

La registrazione verrà effettuata in caso d'uso.

per la ASL di Cagliari

Il Commissario Straordinario

Dott.ssa Savina Ortu

per l'ARPAS

Il DIRETTORE GENERALE

Ing. Alessandro Sanna



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, Valutazione e Monitoraggio Ambientale
Dipartimento Geologico

Progetto

“CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO REGIONALE
CON INDIVIDUAZIONE DELLE AREE A RISCHIO RADON”

DICEMBRE 2016

Indice

1.	INTRODUZIONE	5
1.1.	Finalità dello studio	5
1.2.	Approccio	6
1.3.	Risultati attesi	7
2.	QUADRO NORMATIVO	8
2.1.	Ambienti di Lavoro	9
2.2.	Ambienti Residenziali	9
2.3.	I valori di riferimento	9
3.	STATO DELLE CONOSCENZE SUL RADON IN SARDEGNA	12
3.1.	Unità geolitologiche e concentrazione di minerali radioattivi	12
3.2.	Caratteristiche geolitologiche del territorio regionale	14
3.3.	Distribuzione demografica ed abitativa nei Comuni della Sardegna	17
3.4.	Quadro riferimento regionale della distribuzione delle unità abitative e della popolazione all'interno delle classi geolitologiche	21
3.5.	Campagne indagini misure precedenti (Indoor e rocce)	23
3.6.	Campagna di misura nelle abitazioni 1991/1992 :	23
3.7.	Campagna di misura sulla concentrazione di Radon nelle scuole elementari 1995	23
3.8.	Campagna di misura sulla concentrazione di Radon nelle acque minerali – 1996	23
3.9.	Campagna di misura in alcune delle principali classi geolitologiche– 1996-1997	24
3.10.	ELABORAZIONI STATISTICHE DEI DATI RADON 1991-92	26
3.11.	Elaborazione dati radon campagna di misura rocce– 1996-1997	31
3.12.	Singolarità ed aree a possibile elevato potenziale contenuto di radioattività naturale	34
3.13.	Distribuzione demografica all'interno delle classi geolitologiche	37
4.	STRATEGIA OPERATIVA	39
4.1.	Strategia per l'indagine regionale sul radon indoor	39
4.2.	La campagna di rilevamento per la misurazione dei dati nelle abitazioni selezionate	54
4.2.1.	Predisposizione questionario sulle caratteristiche degli edifici in cui vengono posizionati i dosimetri	54
4.2.2.	Strumenti e metodi di misura	54
4.2.3.	Predisposizione dei dosimetri per la misura della concentrazione di Radon nelle abitazioni	55
4.2.4.	Sviluppo e lettura dei dosimetri esposti al fine di determinare la concentrazione di radon nelle abitazioni campionate.	55
4.3.	Coinvolgimento delle Amministrazioni Comunali interessate e formazione dei tecnici delegati	56
4.4.	Distribuzione e ritiro dei rilevatori radon	57
4.5.	Elaborazione e restituzione dati rilevatori radon	57
5.	CRONOPROGRAMMA DELLE ATTIVITÀ	59
6.	BIBLIOGRAFIA	61

1. INTRODUZIONE

1.1. Finalità dello studio

Al fine di ridurre il rischio di tumore polmonare associato al radon, il Ministero della salute ha predisposto il "PIANO NAZIONALE RADON" (PNR).

Il PNR ha il compito di predisporre un programma pluriennale delle azioni da realizzare in modo coordinato a livello nazionale e regionale. Il Piano Nazionale Radon (PNR)¹ rappresenta un piano coordinato di azioni finalizzate alla riduzione del "rischio radon", cioè del rischio di effetti sanitari connessi all'esposizione della popolazione italiana al radon ed ai suoi prodotti di decadimento. Una delle attività previste dal PNR consiste nella attivazione di un Archivio Nazionale Radon (ANR), gestito dall'Istituto Superiore di Sanità, con l'obiettivo di raccogliere in maniera organica e sistematica dati, documenti e, in generale, tutte le informazioni utili per valutare l'esposizione al radon in Italia, i rischi sanitari associati e l'efficacia delle azioni volte a ridurre tali rischi.

Tra gli Obiettivi Centrali del Piano Nazionale della Prevenzione 2014-2018 (approvato con l'Intesa Stato-Regioni rep. n. 156/CSR del 13 novembre 2014) figura quello di "Promuovere le buone pratiche in materia di sostenibilità ed eco-compatibilità nella costruzione/ristrutturazione di edifici, anche in relazione al rischio radon", il cui Indicatore Centrale è "Approvazione di linee guida per orientare i regolamenti edilizi in chiave eco-compatibile". In ottemperanza al predetto Piano Nazionale della Prevenzione, nel Programma P-8.2 (recante "Supporto alle Politiche Ambientali") del Piano Regionale di Prevenzione 2014-2018 (PRP), adottato con DGR n.30/21 del 16 giugno 2015, è stata inserita l'Azione P-8.2.4 "Promozione di buone pratiche in materia di sostenibilità ed ecocompatibilità nella costruzione/ ristrutturazione di edifici per il miglioramento della qualità dell'aria indoor".

Tale Azione comprende le seguenti 5 Attività principali:

- Attività P-8.2.4.1 che prevede la costituzione (entro il primo semestre 2016) di un Gruppo di Lavoro Intersectoriale (GdL) comprendente rappresentanti degli Assessorati Regionali della Sanità, della Difesa dell'Ambiente, dell'Urbanistica, dei Dipartimenti di Prevenzione ASL, dell'ARPAS, dell'ANCI Sardegna, degli Ordini Professionali coinvolti (architetti, ingegneri, ecc.); tale Attività risulta già espletata in quanto il GdL è stato costituito con Determinazione del Direttore Generale della Sanità n. 38 del 25 gennaio 2016;
- Attività P-8.2.4.2 che prevede il reperimento, da parte del GdL, di dati, studi, linee guida, regolamenti edilizi in materia di sostenibilità ed eco-compatibilità nella costruzione/ristrutturazione di edifici anche in relazione al rischio radon, in ambito regionale, nazionale ed internazionale - per ampliare il quadro conoscitivo sulle problematiche correlate alla qualità dell'aria indoor e sui sistemi di riduzione/abbattimento dei livelli degli inquinanti indoor - e la redazione entro il 2016 di un Report sull'attività effettuata; si sottolinea che in questa Attività viene anche previsto che qualora sia necessario disporre di informazioni più dettagliate riguardo al rischio radon in ambito regionale, si provvederà, mediante apposita convenzione con l'ARPAS, alla classificazione del territorio con individuazione delle aree a rischio;

¹ Istituto Superiore della sanità (ISS): Il radon e il Piano Nazionale Radon (PNR). <http://www.iss.it/radon/index.php?lang=1>

- Attività P-8.2.4.3 (da concludersi entro il 2017) che prevede l'analisi e l'elaborazione, da parte del GdL, del materiale raccolto nell'Attività precedente, con la produzione, entro il 2017, di un Report sullo stato dell'arte in materia di sostenibilità ed ecocompatibilità nella costruzione/ristrutturazione di edifici, anche in relazione al rischio radon;

- Attività P-8.2.4.4 che prevede la predisposizione entro il penultimo trimestre del 2018, da parte del GdL, di un apposito Report (sulla base dello stato dell'arte di cui all'Attività P-8.2.4.3, scaturito dall'elaborazione delle informazioni raccolte nel corso dell'Attività P-8.2.4.2) con gli Indirizzi in materia di sostenibilità ed ecocompatibilità nella costruzione/ristrutturazione di edifici, anche in relazione al rischio radon, per orientare i regolamenti edilizi in chiave ecocompatibile;

- Attività P-8.2.4.5 che prevede l'adozione dei predetti Indirizzi in materia di sostenibilità ed eco-compatibilità nella costruzione/ristrutturazione di edifici (predisposti dal GdL) con apposita Deliberazione della Giunta Regionale e la divulgazione degli stessi mediante pubblicazione sui siti internet dell'Amministrazione Regionale, delle ASL, dell'ARPAS, dell'ANCI Sardegna, degli Ordini Professionali coinvolti.

Relativamente al radon, come su accennato, nell'Attività P-8.2.4.2 è stabilito che "qualora sia necessario disporre di informazioni più dettagliate riguardo al rischio radon in ambito regionale, si provvederà, mediante apposita convenzione con l'ARPAS, alla classificazione del territorio con individuazione delle aree a rischio". Al riguardo l'ARPAS, nella riunione del 29.02.2016 del succitato GdL, ha evidenziato che occorrerebbe approfondire, con apposita indagine, le conoscenze sulla distribuzione della concentrazione di Radon negli edifici, per la classificazione del territorio regionale con individuazione delle aree a rischio, come sottolineato anche nella Relazione Tecnica allegata alla nota dell'ARPAS del 23 febbraio 2016, e il GdL ha concordato.

L'ARPAS, quale soggetto attuatore di tale indagine, dovrà stipulare la convenzione con la ASL di Cagliari, alla quale, in qualità di ASL Capofila in materia di Salute e Ambiente, l'Assessorato trasferirà la prevista somma di € 300.000,00, in quanto l'Assessorato dal 2015 non può gestire direttamente alcuna quota del finanziamento del Servizio Sanitario Regionale, potendo effettuare solo operazioni di trasferimento a favore delle Aziende Sanitarie regionali.

1.2. Approccio

Le modalità per la definizione del numero di edifici campione e la loro distribuzione prenderanno in considerazione molteplici parametri, tra cui si citano:

- Classi geolitologiche principali della Carta Geologica regionale in scala 1:25.000
- Reticolo Sezioni Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000
- Limiti amministrativi dei Comuni e delle Province della Sardegna
- Distribuzione della popolazione
- Caratteristiche architettoniche e tecniche delle abitazioni

Le modalità operative prevedono l'esposizione annuale al radon dei dosimetri negli ambienti campione, suddivisa in due semestri.

La campionatura sarà accompagnata dalla compilazione di un questionario sulle principali caratteristiche degli edifici e dei relativi locali nei quali verranno eseguite le misurazioni.

1.3. Risultati attesi

La campagna di misura è finalizzata a consentire, a partire dalla conoscenza della concentrazione di radon all'interno degli edifici campione presenti nei molteplici contesti esaminati, di pervenire a una classificazione di tutto il territorio regionale in relazione ai valori di concentrazione di radon attesi nelle diverse aree del territorio regionale secondo i criteri descritti nel seguito, da cui, sulla base del confronto con i valori di riferimento indicati dalla normativa, sarà possibile l'individuazione delle aree a rischio radon.

Si evidenzia che attualmente i criteri per l'individuazione delle aree a maggiore presenza di radon (D.Lgs 230/95 e ss.mm.ii. Art. 10-sexies), che dovevano essere fissati dalla Sezione Speciale della Commissione Tecnica prevista all'art. 10-septies del Capo III-bis, non sono stati definiti in quanto la suddetta Commissione non si è mai insediata.

Dai dati raccolti nell'indagine potrà essere possibile quindi definire il livello prioritario di interventi di risanamento dell'edificato esistente e verificarne l'efficacia.

2. QUADRO NORMATIVO

In Italia la regolamentazione sull'esposizione al radon, con riferimento esclusivo ai luoghi di lavoro, è stata introdotta all'inizio del 2001 con l'entrata in vigore del Decreto Legislativo n. 241/00, che ha modificato ed integrato il D.Lgs. 230/95 (recepimento della Direttiva 29/96/Euratom).

Il decreto prevede attualmente che siano soggette al controllo le esposizioni lavorative nei luoghi di lavoro sotterranei nonché in luoghi particolare, quali grotte, tunnel, ecc.. E' previsto inoltre che siano soggette a controllo le attività lavorative ubicate in aree che hanno elevata probabilità di alte concentrazioni di radon, la cui individuazione deve essere effettuata dalle Regioni anche mediante apposite indagini.

La norma introduce un "livello di azione" per la concentrazione media annua di radon nei luoghi di lavoro pari a 500 Bq/m³ (Art. 10-quinques). Se tale livello fosse superato il datore di lavoro deve mettere in atto azioni di rimedio per ridurre la concentrazione di radon e procedere a verificare l'efficacia dell'intervento con una nuova misura di durata annuale, il tutto entro 3 anni dalla prima misura.

Le azioni di rimedio non sono dovute se il datore di lavoro dimostra che non viene superata la dose di 3 mSv/anno ai lavoratori, dose che viene valutata tenendo conto del tempo di permanenza dei lavoratori nell'ambiente di lavoro. Tale valutazione non si applica agli esercenti di asili-nido, scuole materne e scuola dell'obbligo, per le quali, se la concentrazione di radon supera 500 Bq/m³ è necessario procedere alla riduzione della concentrazione, senza effettuare la valutazione della dose.

Per le azioni di rimedio e le valutazioni di dose la normativa attuale prevede che il datore di lavoro si avvalga di un esperto qualificato (art. 10-quinques D.Lgs. 230/95 e s.m.i.).

Nel caso invece che la concentrazione di radon sia inferiore al livello di azione ma superi l'80% del relativo valore (400 Bq/m³), è necessario ripetere la misura l'anno successivo (per tenere conto della variabilità annua e dell'incertezza sul risultato della misura).

Si evidenzia che l'applicazione della normativa non è attualmente completa in quanto non sono stati definiti i criteri per l'individuazione delle aree a maggiore presenza di radon, che dovevano essere fissati dalla Sezione Speciale della Commissione Tecnica prevista all'art. 10-septies del Capo III -bis, mai insediata.

Si evidenzia inoltre che il D.Lgs. 230 prevede che vengano identificate non solo le aree a maggiore probabilità di elevati valori di concentrazione di radon, ma anche le caratteristiche dei luoghi di lavoro maggiormente correlate con alti valori di concentrazione di radon.

Per quanto riguarda le abitazioni, i limiti raccomandati dalla Commissione Europea (Raccomandazione Commissione Europea 90/143/EURATOM), sono di 200 Bq/m³ per le costruzioni da edificare e 400 Bq/m³ per le abitazioni già esistenti.

La Direttiva 2013/59/EURATOM del 5 dicembre 2013 stabilisce che, per quanto riguarda l'esposizione al radon dei lavoratori (art 54) "Gli Stati membri stabiliscono livelli di riferimento nazionali per le concentrazioni di radon nei luoghi di lavoro. Il livello di riferimento per la media annua della concentrazione di attività aerea non deve essere superiore a 300 Bq/m³ , a meno che un livello superiore non sia giustificato dalle circostanze esistenti a livello nazionale, ed inoltre: 2. Gli Stati membri dispongono che le misurazioni del radon siano effettuate: a) in luoghi di lavoro all'interno delle zone individuate conformemente all'articolo 103,

paragrafo 3, situati al pianterreno o a livello interrato, tenendo conto dei parametri contenuti nel piano d'azione nazionale di cui al punto 2 dell'allegato XVIII, nonché b) in specifiche tipologie di luoghi di lavoro identificate nel piano d'azione nazionale...".

Per quanto riguarda le abitazioni la Direttiva introduce l'obbligo per gli Stati membri di stabilire livelli di riferimento nazionali per le concentrazioni di radon nei luoghi di lavoro. Il livello di riferimento per la media annua della concentrazione di attività aerea non deve essere superiore a 300 Bq/m³, a meno che un livello superiore non sia giustificato dalle circostanze esistenti a livello nazionale.

Di seguito sono elencate le principali norme di riferimento comunitarie nazionali:

2.1. Ambienti di Lavoro

Norme comunitarie

- Direttive EURATOM 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641 (*) e 92/3
- Direttiva 96/29/EURATOM (*) del 13.5.96
- Direttiva 2013/59/EURATOM del 5 dicembre 2013 (**)

(*) abrogate dalla Direttiva 2013/59/EURATOM del 5 dicembre 2013

(**) da recepire nella normativa nazionale entro il 2018

Norme nazionali

- D. Lgs. 230/1995 "Attuazione delle direttive EURATOM 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti"
- D. Lgs. n.241 del 26.5.2000 "Attuazione della direttiva 96/29/ EURATOM del 13.5.96 in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti"

2.2. Ambienti Residenziali

Norme comunitarie

- Raccomandazione Commissione Europea 90/143/EURATOM;
- Direttiva 2013/59/EURATOM del 5 dicembre 2013 (**)

2.3. I valori di riferimento

Il D.Lgs. 230/1995 s.m.i. individua come ambienti di lavoro soggetti a controlli per il radon tutti i luoghi sotterranei ed esplicitamente tunnel, sottovie, catacombe, grotte e terme, e incarica le Regioni e le Province autonome di effettuare una prima individuazione delle zone o delle tipologie dei luoghi di lavoro in superficie, con precise caratteristiche, ad elevate probabilità di alte concentrazioni di attività di radon (art.10 sexies). Un primo elenco delle zone doveva essere individuato entro il 31 agosto 2005, mentre la normativa non riporta la data di scadenza per l'individuazione delle tipologie dei luoghi di lavoro.

Attualmente non è stabilito dalla normativa nazionale un valore di riferimento per gli ambienti che non siano gli ambienti di lavoro di cui sopra.

La Direttiva 2013/59/EURATOM prevede, (Articolo 74-Esposizione al radon in ambienti chiusi) che gli Stati membri stabiliscano livelli di riferimento nazionali per le concentrazioni di radon in ambienti chiusi e che tali livelli di riferimento per la media annua della concentrazione di attività in aria non devono essere superiori a 300 Bq/m³.

E' previsto inoltre che, nell'ambito del piano d'azione nazionale di cui all'Art. 103, gli Stati membri promuovano interventi volti a individuare le abitazioni che presentano concentrazioni di radon (come media annua) superiori al livello di riferimento e, se del caso, incoraggiano, con strumenti tecnici o di altro tipo, misure di riduzione della concentrazione di radon in tali abitazioni.

E' previsto altresì che gli Stati membri provvedano affinché siano rese disponibili informazioni locali e nazionali sull'esposizione al radon in ambienti chiusi e sui rischi per la salute che ne derivano, sull'importanza di effettuare misurazioni della concentrazione di radon e sui mezzi tecnici disponibili per ridurre le concentrazioni di radon esistenti.

A tale proposito la Direttiva 2013/59/EURATOM prevede (*Articolo 103 - Piano d'azione per il radon*) che, gli Stati membri definiscano un piano d'azione nazionale che affronta i rischi di lungo termine dovuti alle esposizioni al radon nelle abitazioni, negli edifici pubblici e nei luoghi di lavoro per qualsiasi fonte di radon, sia essa il suolo, i materiali da costruzione o l'acqua, che gli Stati membri provvedano all'adozione di misure per prevenire l'ingresso del radon in nuovi edifici con eventuali prescrizioni specifiche da inserirsi direttamente nelle norme edilizie nazionali.

E' previsto inoltre che gli Stati membri individuino 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.

L'Allegato XVIII descrive quindi gli elementi da considerare nell'elaborazione del piano d'azione nazionale per affrontare i rischi di lungo termine derivanti dall'esposizione al radon di cui agli articoli 54, 74 e 103, che, nel recepimento della direttiva dovranno essere individuate:

1) la strategia per l'esecuzione di indagini sulle concentrazioni di radon in ambienti chiusi o concentrazioni di gas nel suolo al fine di stimare la distribuzione delle concentrazioni di radon in ambienti chiusi, per la gestione dei dati di misurazione e per la determinazione di altri parametri pertinenti (quali suolo e tipi di roccia, permeabilità e contenuto di radio-226 della roccia o del suolo).

2) le metodologie, dati e criteri utilizzati per la classificazione delle zone o per la determinazione di altri parametri che possano essere utilizzati come indicatori specifici di situazioni caratterizzate da un'esposizione al radon potenzialmente elevata.

3) l'identificazione delle tipologie di luoghi di lavoro ed edifici pubblici, ad esempio scuole, luoghi di lavoro sotterranei e luoghi di lavoro o edifici pubblici ubicati in determinate zone in cui sono necessarie misurazioni della concentrazione di radon sulla base di una valutazione del rischio, tenendo conto ad esempio delle ore di occupazione

I valori di riferimento presenti nel complesso normativo attualmente vigente, individuati in termini di concentrazione di attività di radon media in un anno, sono riportati nella tabella seguente.

Riferimento Normativo/scientifico	Ambiente	Valore di riferimento Bq/m³
D. Lgs. 230/1995 s.m.i.	Lavorativo	500 (valore di azione) 400 (80% valore di azione)
Raccomandazione Commissione Europea 90/143/ EURATOM	Residenziale	400 (esistenti)
		200 (da edificare)
Direttiva 2013/59/EURATOM	ambienti chiusi (lavorativo/residenziale)	300 (valore di riferimento)
(World Health Organization, 2009 Handbook on indoor radon: a public health perspective)	Residenziale	100-300
International Commission for Radiological Protection, 2009	Residenziale	300

3. STATO DELLE CONOSCENZE SUL RADON IN SARDEGNA

3.1. Unità geolitologiche e concentrazione di minerali radioattivi

Gli studi sulla valutazione del radon sono concordi sul fatto che la geologia è uno dei fattori più importanti per controllare la fonte e la distribuzione del radon.

Livelli relativamente elevati sono associati a particolari tipi di roccia o di sedimenti. Le principali fonti di interesse nel monitoraggio della radioattività ambientale sono dovute alla presenza di U238, Th232 e K40 nella crosta terrestre (minerali radioattivi geogenici). Il contenuto medio di U238, Th232 e K40 nella crosta superiore continentale mondiale è stato stimato rispettivamente in 2,7 µg/g, 10, µg/g e 2,3% (R.L. Rudnick e S. Gao 2003).

Nella tabella seguente si riporta la concentrazione di U238, Th232 e K40 in diversi tipi di roccia.

Le rocce che possono contenere maggiormente elementi radioattivi sono le rocce magmatiche, con un contenuto in radioattività che in linea generale è legato al loro chimismo (e con un maggior contenuto nelle rocce magmatiche a chimismo acido) e, come si evince dalla tabella seguente, schematicamente riconducibili alle classi seguenti (tra parentesi l'ordine del contenuto di minerali radioattivi nelle rocce):

- Rocce Intrusive (Graniti-Granodioriti-Gabbro)
- Rocce effusive (Trachiti-Rioliti-Riodaciti-Andesiti-Basalti)
- Metamorfiti (Gneiss-Metabasiti-Scisti-Marmi)
- Sedimenti (Arenarie-Marne-Calcarei).

I contenuti in minerali radioattivi delle rocce risentono, comunque, fortemente delle peculiarità geolitologiche regionali che talora possono differire dal contenuto medio di minerali radioattivi indicati nella tabella.

L'analisi dei principali complessi geolitologici della Sardegna è stata eseguita con l'obiettivo fondamentale di individuare le Unità geolitologiche che contengono o possono contenere minerali radioattivi che nel loro processo di decadimento possono generare del radon.

TIPOLOGIA DI ROCCIA	K (%)	U (µg/g)	Th (µg/g)
ROCCE INTRUSIVE			
Granito	2,75-4,26	3,6-4,7	19,00-20,00
Rocce Granitiche	4,11	4,35	15,20
Rocce Granitiche (media)	2,3-4,0	2,1-7,0	8,3-40
Graniti Biotitici	3,40	4,00	15,00
Gabbro	0,46-0,58	0,84-0,90	2,70-2,85
Granodiorite	2,00-2,50	2,60	9,30-11,00
Diorite	1,10	2,00	8,50
Dunite	<0,02	<0,01	<0,01
Duniti pirosseniche	0,15	0,03	0,08
Peridotite	0,2	0,01	0,05
Rocce Effusive			
Riolite	2,00-4,00	2,50-5,00	6,00-15,00
Trachite	5,70	2,00-7,00	9,00-25,00
Basalti Alcalini	0,61	0,99	4,60
Basalti di plateau	0,61	0,99	4,60
Andesite	1,70	0,80	1,90
Dacite	2,30	2,50	10,00
Liparite	3,70	4,70	19,00
Metamorfiti			
Gneiss-Alpi Svizzere	0,32-4,70	0,90-24,00	1,20-25,70
Gneiss (KTB, Germania)	2,28+/-0,17	2,60+/-1,20	8,20+/-2,00
Eclogite	0,80	0,20	0,40
Anfibolite - Alpi Svizzere	0,11-0,22	0,00-7,80	0,01-13,70
Anfibolite	0,60	0,70	1,80
Metabasiti - (KTB, Germania)	0,60+/-0,50	2,50+/-1,60	2,5+/-1,60
Scisti -Alpi Svizzere	0,39-4,44	0,40-3,70	1,60-17,2
Quarzite	0,60	0,80	3,10
Marmo	0,20	1,10	2,20
Sedimenti			
Carbonato	0,00-2,20	2,80-2,50	0,10-7,00
Calcare	0,30	1,60	1,80
Dolomite	0,40	3,70	2,80
Marna	0,80	2,80	2,50
Anidrite	0,40	0,10	0,30
Sale	0,10	0,02	0,30
Aneraria	0,70-3,80	0,20-0,60	0,70-2,00
Grovacche	1,30	2,00	7,00
Rocce scistose	2,00	6,00	12,00
Rocce scistose comuni	1,60-4,20	2,00-13,00	3,00-47,00
Scisti neri	2,60	20,20	10,90
Argilla/limo Terziarie	1,3-3,10	1,20-4,30	1,40-9,30
Argilla/limo, incoerente, Pleistocene	1,90-2,50	1,10-3,80	5,70-10,20

Contenuto in K, U e Th in alcune tipologie di roccia (da J. H. Schoen 2011).

3.2. Caratteristiche geolitologiche del territorio regionale

La Sardegna è costituita soprattutto da metamorfiti e plutoniti granitiche del Paleozoico, che interessano soprattutto il settore orientale e parti della Nurra e del Sulcis-Iglesiente, queste rocce sono variamente e/o parzialmente ricoperte da formazioni sedimentarie terrigene marnoso-arenacee e carbonatiche e da strutturati apparati vulcanici formati a partire dal Paleozoico Sup.-Mesozoico e fino al Cenozoico-Quaternario.

Le metamorfiti paleozoiche

I complessi metamorfici paleozoici costituiscono, con le plutoniti granitiche, il basamento della Sardegna: si tratta di rocce originariamente sedimentarie o magmatiche, più o meno interessate da varie tipologie di processi metamorfici.

Le metamorfiti di derivazione sedimentaria sono costituite da meta-argilloscisti, meta-arenarie, meta-conglomerati e meta-calcarei e, nelle zone con metamorfismo più intenso, da filladi, micascisti, marmi, gneiss e paragneiss. Le metamorfiti di derivazione magmatica sono rappresentate da meta-basiti, meta-rioliti, porfiroidi e "porfidi grigi".

Questi complessi metamorfici occupano una superficie complessiva di circa 6.000 Km². Gli affioramenti più settentrionali (Nurra, Goceano e Baronie) sono interessati da un metamorfismo più intenso rispetto a quelli centro-meridionali (Gennargentu, Barbagia, Sarcidano, Sarrabus-Gerrei e Sulcis-Iglesiente).

Le plutoniti granitiche

Le plutoniti granitiche occupano in Sardegna un'area complessiva di circa 7.000 Km²; risultano localizzate in Gallura, Goceano, Barbagia, Ogliastra, Sarrabus, Arburese e Sulcis. I "granitoidi" del Batolite sardo hanno caratteri estremamente compositi e sono rappresentati da diversi termini petrografici come leucograniti, monzograniti, granodioriti e subordinatamente tonaliti. Sono presenti inoltre limitati affioramenti di plutoniti gabbro-dioritiche e di sieniti e graniti a cordierite. All'interno delle masse intrusive o alla loro periferia si trovano filoni o dicchi di rocce a composizione basica o acida quali lamprofiri, apliti e porfidi granitici.

Le rocce vulcaniche

Vaste superfici del territorio regionale sono ricoperte dai prodotti derivanti da una intensa attività vulcanica, che ha interessato la regione nord e centro-occidentale dell'Isola.

Le manifestazioni vulcaniche tardo-paleozoiche sono nel complesso limitate, a questo gruppo appartengono le varie coperture ignimbritiche, a chimismo riolitico-riodacitico, attribuite al Permiano, che si trovano in Ogliastra, Nurra, Bassa Gallura ed Anglona.

Molto più diffuse sono invece le vulcaniti legate al ciclo orogenetico alpino, al cui interno si distinguono i due cicli Oligo-Miocenico e Plio-Pleistocenico.

Il primo ha dato luogo a lave, tufi e ignimbriti a chimismo da andesitico a riolitico; il secondo ha originato invece lave e scorie a chimismo basaltico o trachi-basaltico. Le vulcaniti appartenenti al primo ciclo sono diffuse principalmente nell'Anglona (prodotti prevalentemente andesitici), nel Logudoro-Bosano, ad est del Campidano (zona Serrenti-Monastir), nell'Arcuentu, nel Sulcis e nelle Isole di Sant'Antioco e di San Pietro.

Le vulcaniti del secondo ciclo affiorano principalmente in Marmilla (Giare) nelle Baronie (Gollei) e nei complessi vulcanici del Monti Ferru e del Monte Arci.

Le rocce sedimentarie

Le rocce sedimentarie affioranti in Sardegna presentano caratteri estremamente variabili sia per l'età, che va dal tardo Paleozoico al Quaternario, che per la composizione litologica e per le modalità deposizionali.

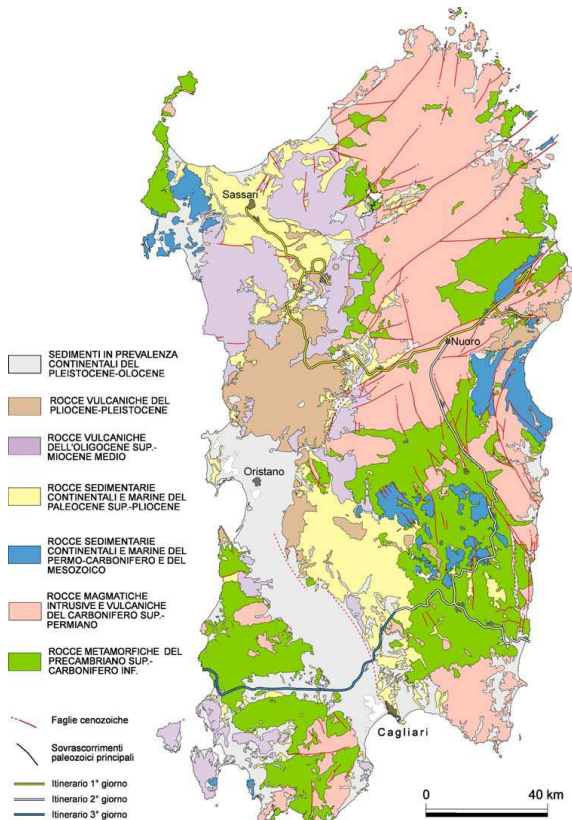
-Le rocce carbonatiche

I principali complessi calcarei mesozoici sono costituiti da calcari, calcari dolomitici, dolomie talora con intercalati marne e argille, arenarie e microconglomerati, gessi e la cui età va dal Trias al Cretaceo. Affiorano nella Sardegna orientale (Isola Tavolara, Baronie, Golfo di Orosei, Supramonte, "Tacchi" e "Tonneri" dell'Ogliastra e del Sarcidano) e nella Sardegna occidentale (Nurra, S. Antioco e Golfo di Palmas). Diffuse in affioramento sono anche le rocce carbonatiche mioceniche; si tratta in generale di calcari organogeni, calcareniti, calcari biodetritici fossiliferi con intercalati e/o in alternanza con marne e argille, arenarie e microconglomerati. Sono presenti in vaste aree del Sassarese, dell'Anglona e del Logudoro nella Sardegna settentrionale, nel Sarcidano ed nel settore del bordo orientale della pianura campidanese (Marmilla, Trexenta e Cagliariitano) nella Sardegna meridionale.

-Le rocce clastiche

Rocce argillose e marnose in alternanza o intercalate a depositi arenaceo-conglomeratici e talora carbonatici. Si rinvencono a partire dal Permo-Trias all'attuale, ma le formazioni più rilevanti afferiscono ai depositi Terziari e Quaternari.

Le formazioni argilloso-marnose Oligo-mioceniche si trovano soprattutto nel Sassarese, nel bordo orientale della piana del Campidano e nella valle del Cixerri.



Le formazioni argillose Plio-quadernarie sono diffuse principalmente nella piana del Campidano, dal Golfo di Oristano a quello di Cagliari, nel Sulcis, nella Nurra ed in generale lungo tutte le piane costiere dell'isola.

Arenarie più o meno cementate e depositi conglomeratici sono presenti nelle serie Oligo-mioceniche e soprattutto rappresentano i depositi continentali Plio-pleistocenici che hanno formato le piane alluvionali recenti ed attuali.

Tali formazioni sono diffuse in tutta la Sardegna: in particolare le arenarie ed i conglomerati Oligo-miocenici si trovano soprattutto nell'area nord-occidentale, lungo il bordo sud-orientale del Campidano e nel Sulcis; gli accumuli sabbiosi sono relativamente abbondanti lungo le coste basse delle insenature occidentali (Piana Turritana, Penisola del Sinis, Funtanazza, Portixeddu, Portoscuso) mentre i depositi alluvionali costituiscono gran parte del Campidano, i fondovalle e parte delle limitate piane costiere dell'Isola.

Schema Geologico della Sardegna (Tratto da Carmignani L. et Al.: La geologia della Sardegna. Geol.F.Trips, Vol.4 No.2.2 (2012))

La prima fase nella predisposizione della proposta progettuale è consistita nella definizione di un quadro geologico generale di riferimento. A tale scopo è stata presa in considerazione la Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000, pubblicata sul sito istituzionale della Regione Sarda, nell'area del sito tematico denominato "Sardegna Geoportale".

Tale carta, realizzata in modo omogeneo e conformemente alle indicazioni del Servizio Geologico d'Italia, interessa tutto il territorio regionale ed è stata resa disponibile dal Sistema Informativo Territoriale Regionale (SITR) per adeguare i diversi Piani di interesse regionale agli obiettivi di pianificazione del Piano Paesaggistico Regionale (PPR). La Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000, di grande dettaglio, individua complessivamente circa 1.000 Unità geolitologiche.

Sulla base delle informazioni presenti nel SITR si è quindi proceduto ad una analisi della distribuzione dell'edificato in Sardegna ("Inviluppi urbani").

L'interazione per sovrapposizione del layer "Carta Geologica" col layer "Inviluppi urbani" ha permesso di determinare che le aree abitate dei 377 comuni della Sardegna interessano 319 Unità Geolitologiche delle circa 1.000 che costituiscono la carta geologica al 25.000.

Successivamente si è provveduto ad una semplificazione delle Unità geolitologiche elementari interessate riconducendole, in funzioni degli obiettivi del progetto, a "Classi Geolitologiche" di ordine superiore, per età, origine, caratteristiche geolitologiche e chimiche.

Pertanto ogni Classe geolitologica contiene un insieme di Unità geolitologiche ritenute omogenee e funzionali alla successiva classificazione del territorio, e che consentiranno di poter realizzare cartografie di sintesi a piccola scala (dalla scala 1:200:000 alla scala 1:500.000 e più) comunemente utilizzate in progetti simili, e facilmente gestibili per una loro diffusione e divulgazione.

Classe Geolitologica	Descrizione
1	Depositi sedimentari Olocenico-Pleistocenici
2	Formazioni basaltiche Plio-Pleistoceniche
3	Trachiti, trachiti fonolitiche e fonoliti plio-pleistoceniche
4	Successione sedimentaria, argilliti, siltiti e arenarie Plio-Pleistoceniche
5	Successione sedimentaria marnosa, carbonatica e arenacea Oligo-Mioceniche
6	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa conglomeratica Oligo-Mioceniche
7	Complesso vulcanico piroclastico riolitico rioacitico Oligo-Miocenico
8	Vulcaniti dacitiche e riodacitiche Plio-Pleistoceniche
9	Complesso vulcanico andesitico basaltico Oligo-Miocenico
10	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa-conglomeratica Paleogenica
11	Successione sedimentaria carbonatica Paleogenica
12	Successione sedimentaria carbonatica Mesozoica
13	Successione vulcano sedimentaria Permo-Trias
14	Successione sedim. arenaceo-argillosa-conglomeratica-marnosa-carbonatica Mesozoica
15	Complesso vulcanico riolitico dacitico e flussi piroclastici Permiano
16	Filoni basici complesso intrusivo Tardo Paleozoico
17	Filoni da intermedi a acidi del complesso intrusivo Tardo Paleozoico
18	Complesso granitoidale monzogranitico Carbonifero sup.-Permiano
19	Complesso granitoidale leucogranito Carbonifero sup.-Permiano
20	Complesso granitoidale granodioritico Carbonifero sup.-Permiano
21	Complesso granitoidale tonalitico Carbonifero sup. Permiano
22	Complesso migmatitico acido Pre Cambriano
23	Complesso migmatitico basico Pre Cambriano-Paleozoico
24	Complesso granitoidale gabbroide Carbonifero sup.-Permiano
25	Rocce parametamorfiche, filladi, micascisti e gneiss del Paleozoico
26	Rocce ortometamorfiche, porfiroidi, metarioliti, matriodaciti, metaepiclastiti dell'Ordoviciano
27	Formazioni carbonatiche e marmi del Paleozoico
Totale	

Complessivamente tale processo ha consentito di definire e di ricondurre le Unità geolitologiche di interesse dalle 319 interessate dall'edificato alle 27 Classi geolitologiche funzionali al Progetto Radon.

Di seguito, nella Tabella a fianco, l'elenco delle Classi geolitologiche così definite; l'ordine delle Classi geolitologiche è organizzato per età, dalle più recenti (Classe 1) alle più antiche (Classe 27):

Classi geolitologiche unificate presenti all'interno degli inviluppi urbani della Regione Sardegna

3.3. Distribuzione demografica ed abitativa nei Comuni della Sardegna

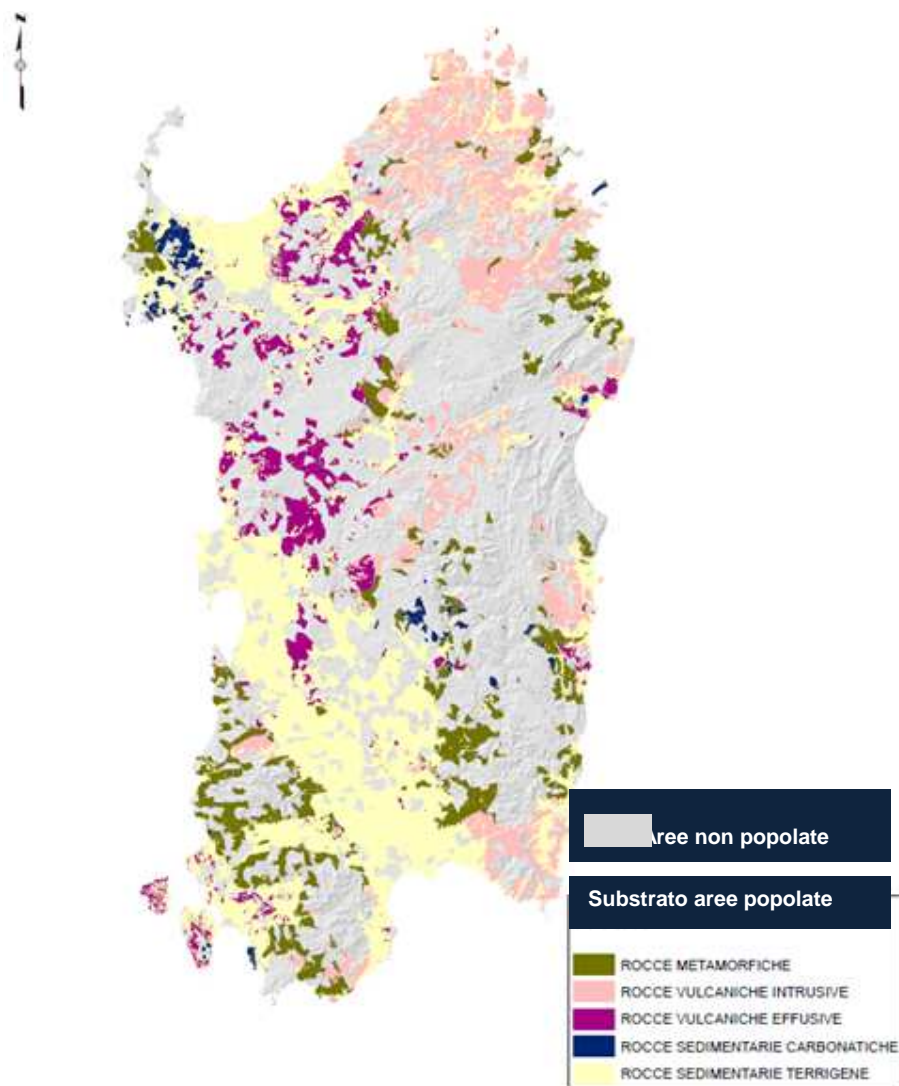
Per l'analisi della distribuzione demografica ed abitativa nei diversi comuni della Sardegna sono stati acquisiti i dati ISTAT 2016; per quanto riguarda le possibili interazioni col progetto sono stati presi in considerazione i seguenti dati:

- Popolazione (Maschi e femmine)
- Edificato residenziale:
 - Numero di piani fuori terra (1-4 e più)
 - Numero di interni per abitazione (1-16 e più)
 - Tipo di materiale da costruzione :
 - Muratura portante
 - Calcestruzzo armato
 - Diverso dalle tipologie precedenti
- Epoca di costruzione (1918 e precedenti-2006 e successivi)

Nella Tabella seguente si riportano i dati relativi organizzati per Provincia.

Dati Istat 2016	Popolazione	Edifici residenziali	Tipologia Costruttiva Edifici residenziali				N° Piani edifici residenziali				
	Totale	Totale	Muratura portante	Calcestruzzo armato	Altre tipologie	Totale	1	2	3	4 e più	Totale
Provincia											
Cagliari	554.328	131.587	72.890	32.994	25.703	131.587	37.422	66.934	20.659	6.572	131.587
Carbonia-Iglesias	129.138	41.479	27.098	4.905	9.476	41.479	12.968	21.302	6.057	1.152	41.479
Medio Campidano	101.023	40.045	27.188	4.982	7.875	40.045	7.587	25.438	6.598	422	40.045
Nuoro	160.565	54.138	40.827	7.952	5.359	54.138	8.728	22.818	18.454	4.138	54.138
Ogliastra	58.220	24.090	13.344	4.416	6.330	24.090	3.999	9.258	7.464	3.369	24.090
Olbia-Tempio	149.389	62.119	47.673	5.215	9.231	62.119	24.551	27.559	8.200	1.809	62.119
Oristano	161.321	69.551	57.518	5.554	6.479	69.551	18.228	39.001	10.916	1.406	69.551
Sassari	327.347	89.301	73.950	6.611	8.740	89.301	24.230	42.907	15.680	6.484	89.301
Sardegna	1.641.331	512.310	360.488	72.629	79.193	512.310	137.713	255.217	94.028	25.352	512.310
Italia	60.457.909	12.187.698	6.975.977	3.594.695	1.617.026	12.187.698	2.083.389	5.981.256	2.948.147	1.174.906	12.187.698

Per la valutazione della loro distribuzione sul territorio sono stati presi in considerazione le incidenze percentuali ottenute per le diverse Classi geolitologiche per ogni Comune e queste sono state messe in relazione con i dati ISTAT.



Una prima elaborazione dei dati sulla distribuzione della popolazione dei diversi Comuni all'interno delle principali unità geolitologiche della Sardegna ha consentito di evidenziare che la popolazione residente risulta distribuita, come evidenziato dalla figura a lato.

La carta, ottenuta dall'interazione tra la Carta geologica (semplificata) e le Sezioni censuarie dei Comuni mette in evidenza come gran parte del territorio (zone in grigio) della Sardegna non sia interessato dalla presenza di popolazione residente.

I dati così ottenuti consentono di poter disporre di un quadro approssimativo di riferimento all'interno delle diverse Classi geolitologiche con la distribuzione delle Unità residenziali e la popolazione ivi ricadenti.

Nelle Tabelle seguenti si riporta la distribuzione all'interno delle 27 Classi Geolitologiche della popolazione e degli edifici residenziali per ogni Classe geolitologica. La seconda Tabella è organizzata per ordine decrescente per una lettura semplificata.

Progetto "Classificazione del Territorio Regionale con individuazione delle Aree a rischio radon"

Classe Geolitologica	Descrizione	Totale edifici per Classe Geo	% Edifici per Classe Geo	Totale Popolazione per Classe Geo	% Popolazione per Classe Geo	Totale area Nuclei urbani per Classe Geo Area (ha)	% Area Nuclei urbani per Classe Geo (m2)
1	Depositi sedimentari Olocenico-Pleistocenici	226.292	45,29%	832.415	51,56%	17.594	48,08%
2	Formazioni basaltiche Plio-Pleistoceniche	25.024	5,01%	57.754	3,58%	1.678	4,58%
3	Trachiti, trachiti fonolitiche e fonoliti plio-pleistoceniche	1.274	0,26%	2.005	0,12%	78	0,21%
4	Successione sedimentaria, argilliti,siltiti e arenarie Plio-Pleistoceniche	715	0,14%	1.455	0,09%	37	0,10%
5	Successione sedimentaria marmoso, carbonatica e arenacea Oligo-Mioceniche	81.631	16,34%	299.078	18,53%	6.820	18,64%
6	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa conglomeratica Oligo-Mioceniche	17.392	3,48%	63.783	3,95%	1.721	4,70%
7	Complesso vulcanico piroclastico riolitico rioacitico Oligo-Miocenico	14.898	2,98%	33.630	2,08%	990	2,71%
8	Vulcaniti dacitiche e rioidacitiche Plio-Pleistoceniche	21	0,00%	48	0,00%	2	0,00%
9	Complesso vulcanico andesitico basaltico Oligo-Miocenico	4.682	0,94%	11.092	0,69%	227	0,62%
10	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa-conglomeratica Paleogenica	1.679	0,34%	4.363	0,27%	116	0,32%
11	Successione sedimentaria carbonatica Paleogenica	70	0,01%	430	0,03%	8	0,02%
12	Successione sedimentaria carbonatica Mesozoico	2.406	0,48%	11.392	0,71%	147	0,40%
13	Successione vulcano sedimentaria Permo-Trias	14	0,00%	97	0,01%	1	0,00%
14	Successione sedim. arenaceo-argillosa-conglomeratica-marmoso-carbonatica Mesozoica	2.251	0,45%	5.451	0,34%	169	0,46%
15	Complesso vulcanico riolitico dacitico e flussi piroclastici Permiano	231	0,05%	396	0,02%	14	0,04%
16	Filoni basici complesso intrusivo Tardo Paleozoico	180	0,04%	474	0,03%	13	0,04%
17	Filoni da intermedi a acidi del complesso intrusivo Tardo Paleozoico	470	0,09%	1.255	0,08%	33	0,09%
18	Complesso granitoido monzogranitico Carbonifero sup.-Permiano	46.839	9,37%	124.228	7,70%	2.936	8,02%
19	Complesso granitoido leucogranito Carbonifero sup.-Permiano	4.574	0,92%	7.255	0,45%	192	0,53%
20	Complesso granitoido granodioritico Carbonifero sup.-Permiano	18.642	3,73%	36.171	2,24%	914	2,50%
21	Complesso granotoido tonalitico Carbonifero sup. Permiano	10.602	2,12%	25.905	1,60%	665	1,82%
22	Complesso migmatitico acido Pre Cambriano	2.159	0,43%	3.582	0,22%	176	0,48%
23	Complesso migmatitico basico Pre Cambriano-Paleozoico	55	0,01%	91	0,01%	5	0,01%
24	Complesso granitoido gabbroide Carbonifero sup.-Permiano	204	0,04%	508	0,03%	10	0,03%
25	Rocce parametamorfiche, filladi, micasisti e gneiss del Paleozoico	31.484	6,30%	70.068	4,34%	1.659	4,53%
26	Rocce ortometamorfiche, porfiroidi, metarioliti, matariodaciti , metaepiclastiti dell'Ordoviciano	1.118	0,22%	1.786	0,11%	57	0,16%
27	Formazioni carbonatiche e marmi del Paleozoico	4.217	0,84%	17.445	1,08%	272	0,74%
nc		511	0,10%	2.144	0,13%	61	0,17%
Totale		499.633	100%	1.614.302	100%	36.593	100%

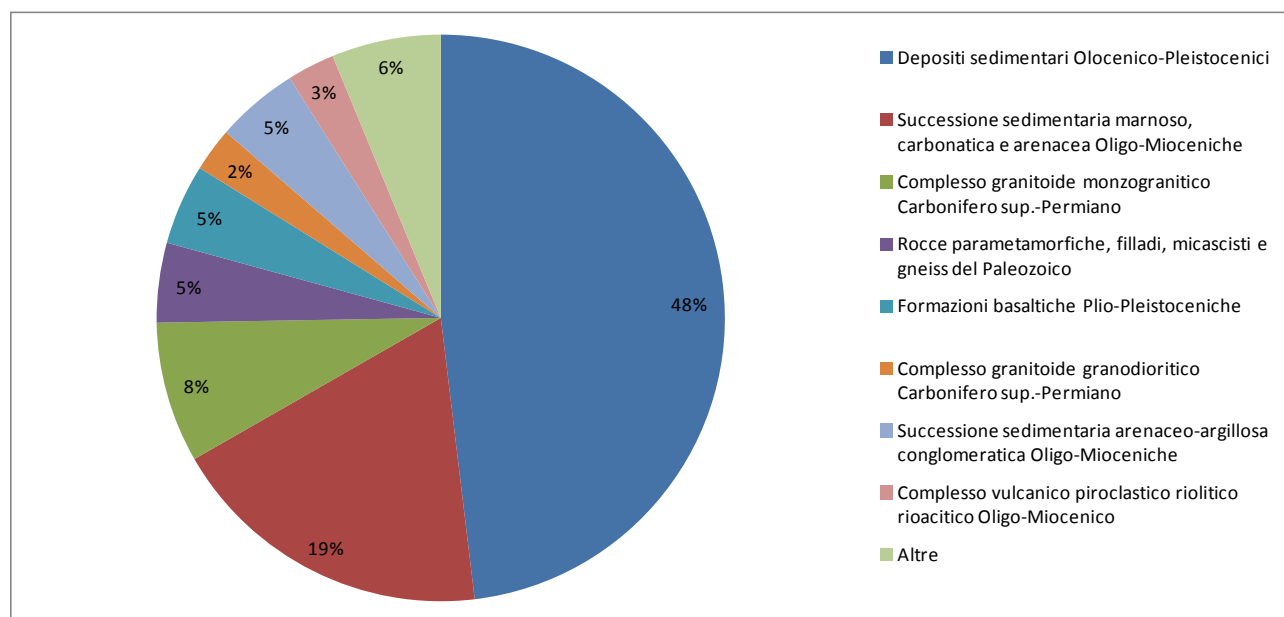
Progetto "Classificazione del Territorio Regionale con individuazione delle Aree a rischio radon"

Classe Geolitologica	Descrizione	Totale edifici per Classe Geo	% Edifici per Classe Geo	Totale Popolazione per Classe Geo	% Popolazione per Classe Geo	Totale area Nuclei urbani per Classe Geo Area (ha)	% Area Nuclei urbani per Classe Geo (m2)
1	Depositi sedimentari Olocenico-Pleistocenici	226.292	45,29%	832.415	51,56%	17.594	48,08%
5	Successione sedimentaria marnoso, carbonatica e arenacea Oligo-Mioceniche	81.631	16,34%	299.078	18,53%	6.820	18,64%
18	Complesso granitoido monzogranitico Carbonifero sup.-Permiano	46.839	9,37%	124.228	7,70%	2.936	8,02%
25	Rocce parametamorfiche, filladi, micascisti e gneiss del Paleozoico	31.484	6,30%	70.068	4,34%	1.659	4,53%
6	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa conglomeratica Oligo-Mioceniche	17.392	3,48%	63.783	3,95%	1.721	4,70%
2	Formazioni basaltiche Plio-Pleistoceniche	25.024	5,01%	57.754	3,58%	1.678	4,58%
20	Complesso granitoido granodioritico Carbonifero sup.-Permiano	18.642	3,73%	36.171	2,24%	914	2,50%
7	Complesso vulcanico piroclastico riolitico rioacitico Oligo-Miocenico	14.898	2,98%	33.630	2,08%	990	2,71%
21	Complesso granitoido tonalitico Carbonifero sup. Permiano	10.602	2,12%	25.905	1,60%	665	1,82%
27	Formazioni carbonatiche e marmi del Paleozoico	4.217	0,84%	17.445	1,08%	272	0,74%
12	Successione sedimentaria carbonatica Mesozoico	2.406	0,48%	11.392	0,71%	147	0,40%
9	Complesso vulcanico andesitico basaltico Oligo-Miocenico	4.682	0,94%	11.092	0,69%	227	0,62%
19	Complesso granitoido leucogranito Carbonifero sup.-Permiano	4.574	0,92%	7.255	0,45%	192	0,53%
14	Successione sedim. arenaceo-argillosa-conglomeratica-marnoso-carbonatica Mesozoica	2.251	0,45%	5.451	0,34%	169	0,46%
10	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa-conglomeratica Paleogenica	1.679	0,34%	4.363	0,27%	116	0,32%
22	Complesso migmatitico acido Pre Cambriano	2.159	0,43%	3.582	0,22%	176	0,48%
3	Trachiti, trachiti fonolitiche e fonoliti plio-pleistoceniche	1.274	0,26%	2.005	0,12%	78	0,21%
26	Rocce ortometamorfiche, porfiroidi, metaroliti, matariodaciti, metaepiclastiti dell'Ordoviciano	1.118	0,22%	1.786	0,11%	57	0,16%
4	Successione sedimentaria, argilliti, siltiti e arenarie Plio-Pleistoceniche	715	0,14%	1.455	0,09%	37	0,10%
17	Filoni da intermedi a acidi del complesso intrusivo Tardo Paleozoico	470	0,09%	1.255	0,08%	33	0,09%
24	Complesso granitoido gabbroide Carbonifero sup.-Permiano	204	0,04%	508	0,03%	10	0,03%
16	Filoni basici complesso intrusivo Tardo Paleozoico	180	0,04%	474	0,03%	13	0,04%
11	Successione sedimentaria carbonatica Paleogenica	70	0,01%	430	0,03%	8	0,02%
15	Complesso vulcanico riolitico dacitico e flussi piroclastici Permiano	231	0,05%	396	0,02%	14	0,04%
13	Successione vulcano sedimentaria Permo-Trias	14	0,00%	97	0,01%	1	0,00%
23	Complesso migmatitico basico Pre Cambriano-Paleozoico	55	0,01%	91	0,01%	5	0,01%
8	Vulcaniti dacitiche e riolodacitiche Plio-Pleistoceniche	21	0,00%	48	0,00%	2	0,00%
nc		511	0,10%	2.144	0,13%	61	0,17%
Totale		499.633	100%	1.614.302	100%	36.593	100%

3.4. Quadro riferimento regionale della distribuzione delle unità abitative e della popolazione all'interno delle classi geolitologiche

Come si osserva dalla tabella e dal grafico a torta delle figura seguente, le aree urbane ricadono per il 48% sui depositi sedimentari recenti quaternari (Classe geolitologica 1), per il 19% sui sedimenti marnoso carbonatici ed arenacei Oligomiocenici, per un totale del 67% dell'edificato ricadente all'interno di solo due Classi geolitologiche. All'interno di queste due classi ricadono circa 300.000 edifici (pari al 62% dell'edificato) e circa 1.100.000 abitanti pari a circa il 70% della popolazione della Sardegna.

Classe Geolitologica	Descrizione	Totale edifici per Classe Geo	% Edifici per Classe Geo	Totale Popolazione per Classe Geo	% Popolazione per Classe Geo	Totale area Nuclei urbani per Classe Geo Area (ha)	% Area Nuclei urbani per Classe Geo (ha)
1	Depositi sedimentari Olocenico-Pleistocenici	226.292	45,29%	832.415	51,56%	17.594	48,08%
5	Successione sedimentaria marnoso, carbonatica e arenacea Oligo-Mioceniche	81.631	16,34%	299.078	18,53%	6.820	18,64%
18	Complesso granitoido monzogranitico Carbonifero sup.-Permiano	46.839	9,37%	124.228	7,70%	2.936	8,02%
25	Rocce parametamorfiche, filladi, micascisti e gneiss del Paleozoico	31.484	6,30%	70.068	4,34%	1.659	4,53%
2	Formazioni basaltiche Plio-Pleistoceniche	25.024	5,01%	57.754	3,58%	1.678	4,58%
20	Complesso granitoido granodioritico Carbonifero sup.-Permiano	18.642	3,73%	36.171	2,24%	914	2,50%
6	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa conglomeratica Oligo-Mioceniche	17.392	3,48%	63.783	3,95%	1.721	4,70%
7	Complesso vulcanico piroclastico riolitico rioacitico Oligo-Miocenico	14.898	2,98%	33.630	2,08%	990	2,71%
Altre	Altre	37.432	7,49%	97.174	6,02%	2.280	6,23%
Totale		499.633	100,00%	1.614.302	100,00%	36.593	100%



Rappresentazione a torta delle percentuali dei gruppi litologici interessati dagli involucri urbani

Se alle prime due classi precedenti si sommano anche le aree dei sedimenti arenaceo-argillosi Oligomiocenici della classe n° 6, si ottiene che circa 71% dei nuclei urbani, circa 325.000 edifici (pari al 65%

dell'edificato) e circa 1.200.000 abitanti pari a circa il 74% della popolazione della Sardegna ricadono nelle 3 Classi geolitologiche che, complessivamente, rappresentano i termini più terrigeno-clastici delle classi geolitologiche presenti sul territorio regionale.

Sui terreni del Complesso vulcanico piroclastico riolitico-riodacitico dell'Oligo-miocene (Classe geolitologica 7) insiste il 2,7 % dei nuclei abitativi, circa 15.000 edifici (pari al 3% dell'edificato) e circa 33.000 abitanti pari a circa il 2,7% della popolazione della Sardegna; mentre sulle formazioni basaltico-andesitiche terziarie (Classe geolitologica 2+3) insistono il 4,8 % dei territori, circa 26.000 edifici (pari al 5% dell'edificato) e circa 60.000 abitanti pari a circa il 3,7% della popolazione della Sardegna

Sul Complesso granitoide (Classe geolitologica 18-21) in totale insiste il 13 % degli inviluppi urbani, circa 80.000 edifici (pari al 16% dell'edificato) e circa 190.000 abitanti pari a circa il 12% della popolazione della Sardegna

Sul Complesso metamorfico Paleozoico costituito da filladi, micascisti e gneiss orto e meta vulcaniti a chimismo acido ed intermedio (Classe geolitologica 25-27) insiste il 5,5 % dei nuclei urbani, e circa 36.000 edifici (pari al 7% dell'edificato) e circa 89.000 abitanti pari a circa il 5,5% della popolazione della Sardegna

L'insieme dei terreni delle Classe geolitologiche indicate nella tabella e nel grafico precedente assommano al 94 % del totale dei terreni interessati dagli inviluppi urbani mentre tutte le altre formazioni rappresentano solo il 6% (vedi grafico a torta).

3.5. Campagne indagini misure precedenti (Indoor e rocce)

3.6. Campagna di misura nelle abitazioni 1991/1992 :

Il campione di abitazioni nell'ambito dell'indagine nazionale sulla concentrazione di radon nelle abitazioni, promossa dall'Enea e dall'Istituto Superiore di Sanità, era costituito da 124 abitazioni site in 9 comuni (attualmente risultano 10 comuni in quanto il comune di Monserrato inizialmente faceva parte del comune di Cagliari) con un livello medio di concentrazione di Radon pari a 64 Bq/m³.

Il campione è stato selezionato in maniera randomizzata tra i residenti in Sardegna al 1990, previo contatto epistolare, seguito da appuntamento telefonico. In ciascuna abitazione sono stati consegnati ed esposti due dosimetri passivi a traccia di tipo LR115. I dosimetri sono stati posizionati in due ambienti distinti dell'abitazione, situati preferibilmente al piano terra e collocati in un luogo non accessibile. Durata esposizione un anno (due semestri).

3.7. Campagna di misura sulla concentrazione di Radon nelle scuole elementari 1995

Allo scopo di approfondire l'indagine ed estenderne l'ambito, il Laboratorio Regionale di Radioattività allora in capo alla USL n. 20 di Cagliari, in collaborazione con l'Assessorato Regionale alla Sanità della Regione Sardegna e con la collaborazione del Provveditorato Regionale agli Studi e dei Provveditorati provinciali, ha realizzato nel corso del 1995 un programma di monitoraggio dei livelli concentrazione di Radon nelle scuole elementari della Sardegna.

Nel corso dell'anno scolastico 1994/1995 sono state eseguite misure di radon nelle scuole elementari su un campione di 115 scuole in 97 comuni, a partire da un campione selezionato di 141 scuole (16% del totale) in 112 comuni (pari al 30% del totale dei comuni della Sardegna) inizialmente coinvolte ma che, per vari motivi non hanno dato successivamente riscontro (perdita dei dosimetri, difficoltà nell'avviare o concludere il lavoro etc.), I dosimetri sono stati esposti per circa un anno scolastico (da settembre a giugno). Il livello medio di concentrazione di Radon in ambito regionale è risultato pari a 113 Bq/m³, l'88 % del totale delle scuole compreso nel range fra 10 e 200 Bq/m³ e il 96% livelli inferiori a 400 Bq/m³.

3.8. Campagna di misura sulla concentrazione di Radon nelle acque minerali – 1996

Allo scopo di approfondire le conoscenze sulla radioattività ambientale e sulla presenza di radon in Sardegna, il Laboratorio Regionale di Radioattività della USL n. 20 di Cagliari in collaborazione con l'Assessorato Regionale alla Sanità della Regione Sardegna, ha realizzato un programma di monitoraggio dei livelli concentrazione di Radon nelle acque minerali commerciali della Sardegna, come da tabella seguente.

Concentrazione di Radon nelle acque minerali commerciali della Sardegna - misure alla sorgente

Località	Provincia	punto di campionamento	data misura	Attività [Bq/l]
Siliqua	CA	Sorgente w9	30/04/1996	244
Siliqua	CA	Sorgente w8	30/04/1996	169
Siliqua	CA	Sorgente w7	10/05/1996	190
Siliqua	CA	Sorgente w6	22/04/1996	202
Siliqua	CA	Sorgente w6	23/04/1996	97
Siliqua	CA	Sorgente w6	22/04/1996	211
Siliqua	CA	Sorgente w6	23/04/1996	99
Siliqua	CA	Sorgente w6	30/04/1996	218
Siliqua	CA	Sorgente w5	30/04/1996	256
Siliqua	CA	Sorgente w4	01/05/1996	8
Siliqua	CA	Sorgente w4	16/05/1996	3
Siliqua	CA	Sorgente w3	16/05/1996	174
Siliqua	CA	Sorgente w2	01/05/1996	199
Siliqua	CA	Sorgente w1	10/05/1996	74
Santulussurgiu	OR	Sorgente S2	14/01/1997	41
Santulussurgiu	OR	Sorgente S2	21/01/1997	40
Santulussurgiu	OR	Sorgente S1	14/01/1997	13
Santulussurgiu	OR	Sorgente S1	21/01/1997	14
Codrongianus	SS	Sorgente D	11/04/1997	255
Codrongianus	SS	Sorgente D	14/04/1997	249
Codrongianus	SS	Sorgente B	11/04/1997	753
Codrongianus	SS	Sorgente B	14/04/1997	755
Villasor	CA	Sorgente	27/09/1996	70
Villasor	CA	Sorgente	02/10/1996	290
Guspini	CA	Sorgente	05/12/1996	729
Guspini	CA	Sorgente	10/12/1996	733
Macomer	NU	Sorgente	18/12/1996	42
Bonorva	SS	Sorgente	23/01/1997	97
Tempio	SS	Sorgente	20/02/1997	955
Bonorva	SS	Sorgente	26/02/1997	85

3.9. Campagna di misura in alcune delle principali classi geolitologiche– 1996-1997

Allo scopo di approfondire le conoscenze sulla radioattività ambientale nel corso del 1996 vennero prelevati e successivamente analizzati 279 campioni di alcune delle principali tipologie litologiche presenti nel settore meridionale della Sardegna, con misure radiometriche in laboratorio finalizzate alla determinazione della concentrazione dei principali radioisotopi naturali (U, Ra, Th, K).

I campioni prelevati stati ricondotti alle 27 Classi geolitologiche di sintesi; tutti i campioni ricadono all'interno di 12 classi geolitologiche, e prevalentemente all'interno delle rocce del Complesso metamorfico Paleozoico (Classi 25-27) per un totale di 192 campioni; i dati sulle metamorfiti sono sufficientemente rappresentativi per una prima valutazione del loro contenuto in minerali radioattivi.

Ben rappresentato risulta essere il Complesso granitoido (Classi 18-20) con un totale 33 campioni e l'insieme delle classi dei sedimenti terrigeni (Classi 1+10) con 35 campioni. Nelle unità vulcaniche Plio-pleistoceniche ed Oligomioceniche (Classi 2+7) sono stati prelevati 12 campioni.

Classe Geolitologica	Descrizione	n° campioni di roccia
1	Depositi sedimentari Olocenico-Pleistocenici	5
2	Formazioni basaltiche Plio-Pleistoceniche	6
7	Complesso vulcanico piroclastico riolitico rioacitico Oligo-Miocenico	6
10	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa-conglomeratica Paleogenica	30
14	Successione sedim. arenaceo-argillosa-conglomeratica-marnoso-carbonatica Mesozoica	2
17	Filoni da intermedi a acidi del complesso intrusivo Tardo Paleozoico	5
18	Complesso granitoide monzogranitico Carbonifero sup.-Permiano	3
19	Complesso granitoide leucogranito Carbonifero sup.-Permiano	12
20	Complesso granitoide granodioritico Carbonifero sup.-Permiano	18
25	Rocce parametamorfiche, filladi, micascisti e gneiss del Paleozoico	95
26	Rocce ortometamorfiche, porfiroidi, metarioliti, matariodaciti , metaepiclastiti dell'Ordoviciano	63
27	Formazioni carbonatiche e marmi del Paleozoico	34
Totale		279

3.10. ELABORAZIONI STATISTICHE DEI DATI RADON 1991-92

Nel corso del mese di Settembre-Ottobre 2016 sono state eseguite, in funzione della nuova classificazione su base geolitologica già intrapresi, nuove elaborazioni sui dati di radon indoor relativi alle indagini svolte negli precedenti.

In una prima fase sono state prodotte delle analisi statistiche suddividendo i dati per province (vedi Tabella successiva). I comuni della Sardegna interessati dall'indagine sono stati 102 e i punti di misura riguardano prevalentemente le scuole mentre le indagini indoor in abitazioni private riguardano solamente solo 10 comuni.

La tabella seguente contiene i parametri statistici fondamentali e i dati relativi ai percentili. Dalla tabella si nota che i valori più elevati con riferimento alla mediana della concentrazione di radon riguardano la Provincia di Oristano (80 Bq/mc) con a seguire Sassari, Nuoro e Cagliari.

Variable	NumObs	Minimum	Maximum	Mean	Median	Variance	SD	MAD/0.675	Skewness	Kurtosis	CV
Concentrazione Rn (Bq/mc) (CA)	87	16,68	195,2	62,52	46,67	1677	40,95	26,11	1,476	1,663	0,655
Concentrazione Rn (Bq/mc) (NU)	72	19,02	838	102,3	58,15	19964	141,3	35,41	3,403	12,63	1,381
Concentrazione Rn (Bq/mc) (OR)	36	33,35	282,1	96,33	79,97	3684	60,69	44,91	1,478	2,081	0,63
Concentrazione Rn (Bq/mc) (SS)	44	18,59	453,5	103,1	66,47	8149	90,27	41,68	1,951	4,38	0,876
Percentiles for Raw Full Data Sets											
Variable	NumObs	5%ile	10%ile	20%ile	25%ile(Q1)	50%ile(Q2)	75%ile(Q3)	80%ile	90%ile	95%ile	99%ile
Concentrazione Rn (Bq/mc) (CA)	87	23,79	26,74	30,5	32,85	46,67	76,47	87,1	131,9	149,7	191,8
Concentrazione Rn (Bq/mc) (NU)	72	23,58	26,23	33,89	36,72	58,15	87,87	108,2	189,9	418,5	657,6
Concentrazione Rn (Bq/mc) (OR)	36	35,82	40,05	49,46	50,96	79,97	113,3	135,3	174,2	215,6	272,6
Concentrazione Rn (Bq/mc) (SS)	44	30,22	37,25	41,49	43,63	66,47	135,8	168	213,7	253,8	393,2

Tabella 3: Analisi statistica dei 239 dati suddivisi per province

I dati suddivisi per tipologia di indagine (vedi Tabella seguente) mostrano la situazione complessiva rilevata nelle scuole e nelle abitazioni private e che si attestano, per quanto riguarda i valori della mediana, su 68 Bq/mc nelle scuole e 51 Bq/mc nelle abitazioni.

Variable	NumObs	Minimum	Maximum	Mean	Median	Variance	SD	MAD/0.675	Skewness	Kurtosis	CV
Concentrazione Rn (Bq/mc) (abitazione)	124	19,02	282,1	63,74	51,19	1742	41,74	24,38	2,269	6,953	0,655
Concentrazione Rn (Bq/mc) (scuola)	115	16,68	838	112,2	68,18	15528	124,6	49,16	3,119	12,33	1,111
Percentiles for Raw Full Data Sets											
Variable	NumObs	5%ile	10%ile	20%ile	25%ile(Q1)	50%ile(Q2)	75%ile(Q3)	80%ile	90%ile	95%ile	99%ile
Concentrazione Rn (Bq/mc) (abitazione)	124	27,72	30,3	34,19	35,3	51,19	75,85	82,15	119,1	139,4	209,6
Concentrazione Rn (Bq/mc) (scuola)	115	22,95	26,41	39,08	42,17	68,18	138,7	165,2	222,3	327,1	576,5

Tabella 4: Analisi statistica dei dati suddivisi per tipologia

Nella Tabella seguente si mostrano le analisi statistiche di base per le classi geolitologiche interessate da misurazioni; non sono presenti misure di radon indoor precedenti per tutte le classi geolitologiche che interessano gli involucri urbani.

I gruppi litologici maggiormente rappresentati, e quindi con un buon livello di significatività statistica, sono:

- i depositi sedimentari quaternari con 95 misure appartenenti alla classe 1;

- le formazioni basaltiche plio-pleistoceniche con 52 misure appartenenti alla classe 2;
- le successioni sedimentarie marnoso-carbonatiche arenacee dell'oligo-miocene con 37 misure appartenenti alla classe 5;
- le successioni sedimentarie arenace-argilloso-conglomeratiche dell'oligo-miocene con 18 misure appartenenti alla classe 6.

Come si osserva, per le 4 classi geolitologiche maggiormente rappresentate sono presenti 203 misure; di queste, 118 sono rilevate nelle abitazioni private mentre 83 sono state effettuate nelle scuole.

Variable	NumObs	Minimum	Maximum	Mean	Median	Variance	SD	MAD/0.67	Skewness	Kurtosis	CV
Concentrazione Rn (Bq/mc) (01)	95	16,68	490,9	77,7	58,99	4759	68,99	41,82	3,295	15,33	0,887
Concentrazione Rn (Bq/mc) (02)	52	19,02	139,2	52,8	49,92	558	23,62	21,06	1,344	2,512	0,447
Concentrazione Rn (Bq/mc) (03)	1	171	171	171	171	N/A	N/A	0	N/A	N/A	N/A
Concentrazione Rn (Bq/mc) (05)	37	25,66	453,5	88,2	63,95	6957	83,41	32,35	2,822	9,732	0,945
Concentrazione Rn (Bq/mc) (06)	18	30,41	282,1	94,3	75,2	4726	68,75	55,23	1,434	1,938	0,729
Concentrazione Rn (Bq/mc) (07)	5	42,88	128,1	73,7	69,5	1049	32,39	18,03	1,542	2,97	0,439
Concentrazione Rn (Bq/mc) (09)	5	27,91	101,1	60,3	55,43	859,8	29,32	32,23	0,499	-1,013	0,486
Concentrazione Rn (Bq/mc) (10)	1	154	154	154	154	N/A	N/A	0	N/A	N/A	N/A
Concentrazione Rn (Bq/mc) (12)	1	50,05	50,05	50,05	50,05	N/A	N/A	0	N/A	N/A	N/A
Concentrazione Rn (Bq/mc) (14)	1	32,87	32,87	32,87	32,87	N/A	N/A	0	N/A	N/A	N/A
Concentrazione Rn (Bq/mc) (18)	6	158,9	838	314,3	234	67469	259,7	64,28	2,315	5,495	0,826
Concentrazione Rn (Bq/mc) (19)	1	198,7	198,7	198,7	198,7	N/A	N/A	0	N/A	N/A	N/A
Concentrazione Rn (Bq/mc) (20)	4	36,84	531,4	254,7	225,2	47084	217	204,9	0,615	-0,997	0,852
Concentrazione Rn (Bq/mc) (21)	4	66,09	285,6	138,6	101,8	9992	99,96	36,95	1,757	3,17	0,72
Concentrazione Rn (Bq/mc) (25)	8	21,86	583,9	121,3	51,68	36628	191,4	41,05	2,585	6,87	1,576
Percentiles for Raw Full Data Sets											
Variable	NumObs	5%ile	10%ile	20%ile	25%ile(Q1)	50%ile(Q2)	75%ile(Q3)	80%ile	90%ile	95%ile	99%ile
Concentrazione Rn (Bq/mc) (01)	95	22,95	26,52	32,38	34,67	58,99	95,46	108,9	143,2	182	367,2
Concentrazione Rn (Bq/mc) (02)	52	25,99	29,71	34,94	35,29	49,92	62,58	64,62	84,87	95,04	121,9
Concentrazione Rn (Bq/mc) (03)	1	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
Concentrazione Rn (Bq/mc) (05)	37	28,85	30,31	39,22	43,88	63,95	85,92	106,5	190,8	220,3	382
Concentrazione Rn (Bq/mc) (06)	18	33,38	35,67	40,57	42,22	75,2	131,4	145,1	167,5	214,5	268,5
Concentrazione Rn (Bq/mc) (07)	5	45,77	48,66	54,44	57,33	69,5	71,19	82,57	105,3	116,7	125,8
Concentrazione Rn (Bq/mc) (09)	5	30,32	32,72	37,53	39,94	55,43	77,16	81,96	91,55	96,34	100,2
Concentrazione Rn (Bq/mc) (10)	1	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154
Concentrazione Rn (Bq/mc) (12)	1	50,05	50,05	50,05	50,05	50,05	50,05	50,05	50,05	50,05	50,05
Concentrazione Rn (Bq/mc) (14)	1	32,87	32,87	32,87	32,87	32,87	32,87	32,87	32,87	32,87	32,87
Concentrazione Rn (Bq/mc) (18)	6	161	163	167,1	179	234	253,7	253,8	545,9	691,9	808,8
Concentrazione Rn (Bq/mc) (19)	1	198,7	198,7	198,7	198,7	198,7	198,7	198,7	198,7	198,7	198,7
Concentrazione Rn (Bq/mc) (20)	4	51,88	66,93	97,03	112,1	225,2	367,8	400,5	465,9	498,6	524,8
Concentrazione Rn (Bq/mc) (21)	4	69,34	72,58	79,08	82,32	101,8	158,4	183,8	234,7	260,2	280,5
Concentrazione Rn (Bq/mc) (25)	8	21,94	22,03	23,62	24,95	51,68	87,09	115,4	278,6	431,2	553,3

Tabella 5: Analisi statistica dei dati suddivisi per gruppi litologici omogenei

La Figura seguente mostra il grafico dei box plot multipli (valore minimo, massimo, mediana e hot spot) per i vari gruppi litologici per tutti i dati a disposizione. Alcune classi geolitologiche sono rappresentate da un esiguo numero di campioni e pertanto i valori statistici non hanno rilevante significato.

Il grafico a box plot consente di osservare che i valori più elevati si riscontrano nel Complesso intrusivo dei "Graniti" con un valore medio quasi doppio (superiore ai 200 Bq/mc) rispetto alla totalità delle altre classi litologiche (inferiore ai 100 Bq/mc).

Le vulcaniti Oligomioceniche (Classi 7 e 9) e le vulcaniti Pliopleistoceniche presentano valori inferiori ai 100 Bq/mc, in linea con le unità geolitologiche clastiche e con il Complesso Metamorfico Paleozoico.

Infine, le rocce carbonatiche del Mesozoico sono caratterizzate dai più bassi valori di Rn riscontrati, ma attualmente risultano caratterizzate da un numero limitato di misure.

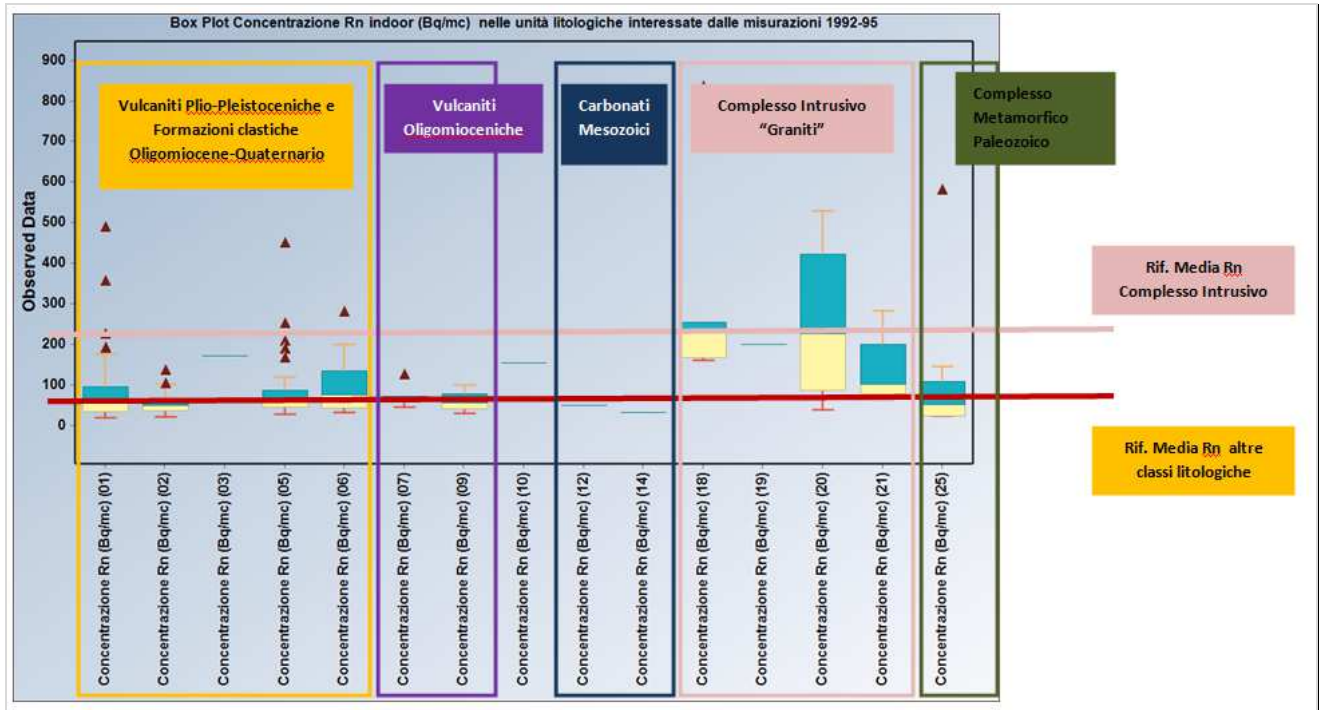


Figura 2: Box plot multipli per i gruppi litologici presenti tra i dati della campagna radon indoor 1992-1995

La distribuzione dei dati di concentrazione di radon indoor disponibili per le varie litologie hanno mostrato distribuzioni lognormali per le classi 1, 2 e 6, mentre la classe 5 mostra attualmente una distribuzione più complessa e non facilmente identificabile.

Nella figura seguente è riportato grafico di tipo QQ plot multiplo che mette a confronto gli andamenti dei dati tra i vari gruppi litologici.

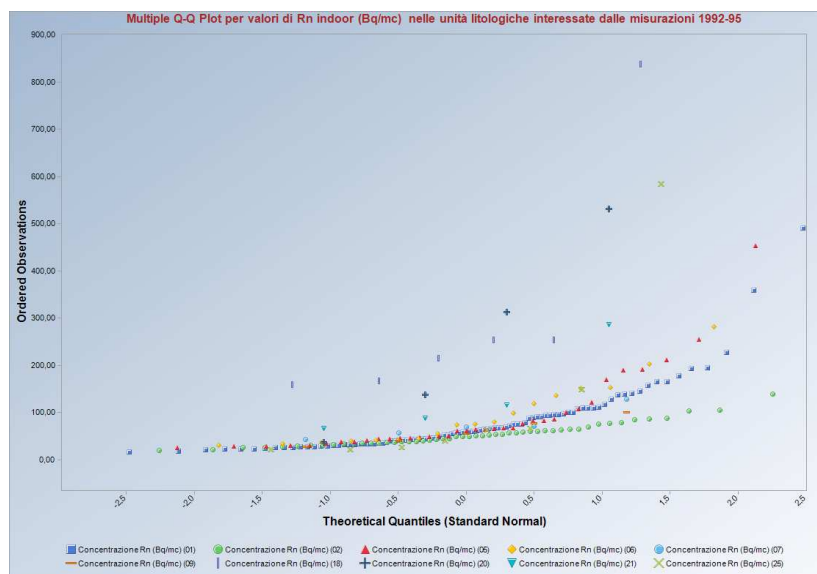


Figura : QQ plot multipli per i gruppi litologici presenti tra i dati della campagna radon indoor 1992-1995

In considerazione di quanto presentato nel grafico box plot e nelle distribuzioni dei dati, è stata successivamente studiata la presenza di eventuali outlier tra i dati appartenenti alle suddette formazioni geologiche; tramite il programma ProUCL sono stati applicati i test di Rosner per le popolazioni superiori a 25 dati e di Dixon per quelle inferiori a 25 dati. Per le 4 classi 1,2,5 e 6, caratterizzati da un discreto numero di dati, al 5% di significatività si individuano alcuni outlier, che sono stati quindi eliminati.

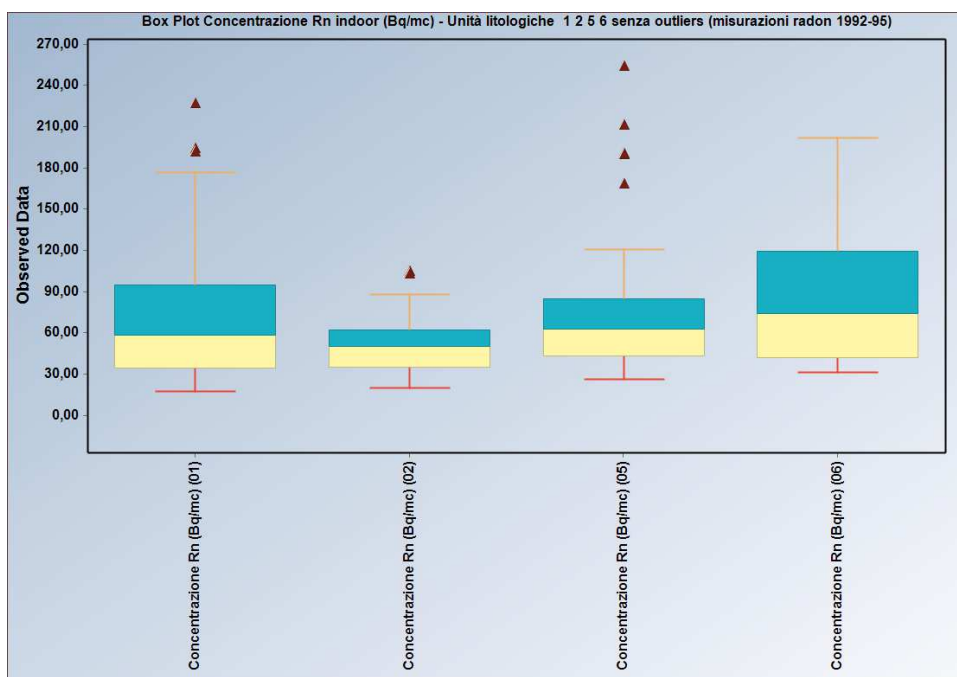
Nella tabella seguente si riportano le nuove statistiche di base per le 4 classi geolitologiche.

Variable	NumObs	Minimum	Maximum	Mean	Median	Variance	SD	MAD/0.67	Skewness	Kurtosis	CV
Concentrazione Rn (Bq/mc) (01)	93	16,68	227,4	70,3	58,17	2093	45,75	39,67	1,279	1,285	0,65
Concentrazione Rn (Bq/mc) (02)	51	19,02	105,3	51,1	49,89	417	20,42	20,5	0,807	0,261	0,399
Concentrazione Rn (Bq/mc) (05)	36	25,66	254,9	78,1	62,72	3239	56,92	30,94	1,73	2,346	0,729
Concentrazione Rn (Bq/mc) (06)	17	30,41	202,5	83,2	74,33	2688	51,85	51,69	0,95	-0,0399	0,623

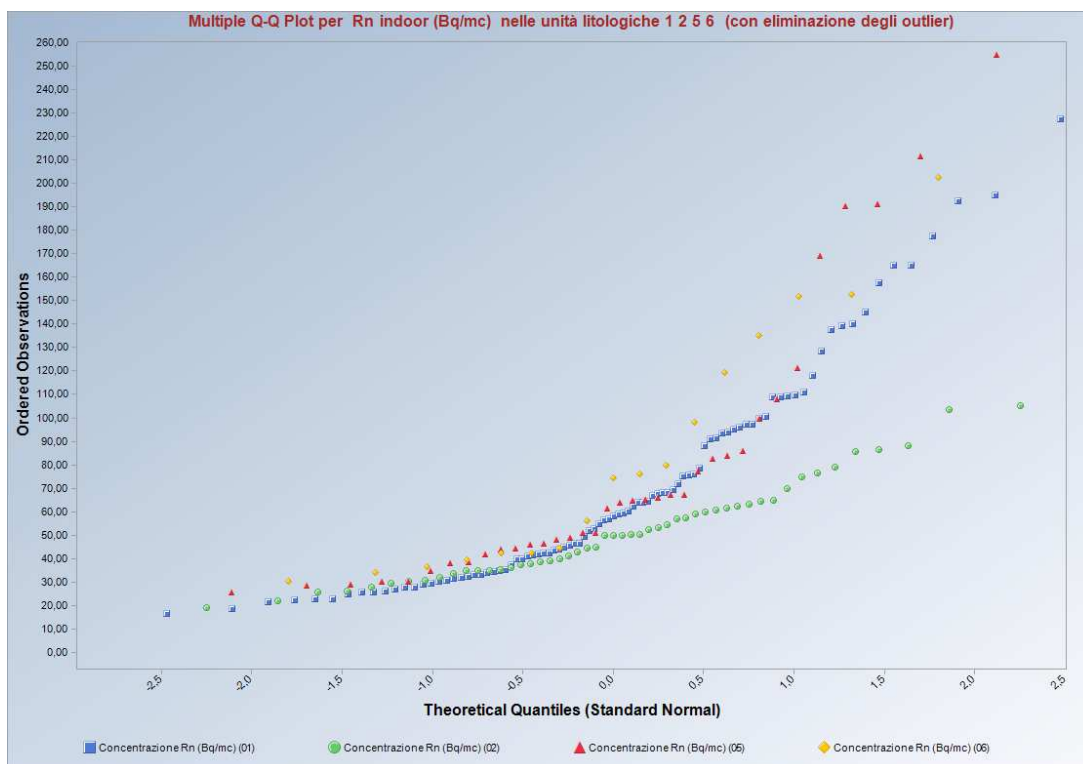
Percentiles for Raw Full Data Sets											
Variable	NumObs	5%ile	10%ile	20%ile	25%ile(Q1)	50%ile(Q2)	75%ile(Q3)	80%ile	90%ile	95%ile	99%ile
Concentrazione Rn (Bq/mc) (01)	93	22,93	26,3	32,21	34,31	58,17	95,02	100,3	139,1	165,2	197,8
Concentrazione Rn (Bq/mc) (02)	51	25,98	29,65	34,9	35,23	49,89	61,96	64,49	78,96	87,37	104,3
Concentrazione Rn (Bq/mc) (05)	36	28,83	30,29	38,5	43,44	62,72	84,37	99,68	179,9	196,3	239,8
Concentrazione Rn (Bq/mc) (06)	17	33,21	35,42	40,02	42,22	74,33	119,5	132,1	152	162,5	194,5

Analisi statistica dei dati suddivisi per classi geolitologiche omogenee – classi 1 2 5 6 senza outlier

Nella figura seguente sono mostrati i box plot ottenuti dopo eliminazione degli outlier e successivamente i relativi grafici QQ plot.



Box plot multipli per i quattro gruppi litologici maggiormente rappresentati tra i dati della campagna radon indoor 1992-1995, dopo eliminazione degli outlier



QQ plot multipli per i quattro gruppi litologici maggiormente rappresentati tra i dati della campagna radon indoor 1992-1995, dopo eliminazione degli outlier

I dati insistenti sulle 4 litologie ritenute più significative sono stati inoltre suddivisi tra abitazioni private e scuole; nella tabella seguente si possono confrontare le loro statistiche di base.

Variable	NumObs	Minimum	Maximum	Mean	Median	variance	SD	MAD/0.67	Skewness	Kurtosis	CV
Concentrazione Rn (Bq/mc) (01)	43	21,56	157,5	60,51	46,5	1237	35,18	22,38	1,287	0,749	0,581
Concentrazione Rn (Bq/mc) (01 scuole)	50	16,68	227,4	78,85	68,13	2711	52,06	47,53	1,048	0,571	0,66
Concentrazione Rn (Bq/mc) (02)	47	19,02	103,3	49,93	49,89	342,7	18,51	19,91	0,699	0,278	0,371
Concentrazione Rn (Bq/mc) (02 scuole)	4	25,88	105,3	65,61	65,63	1393	37,32	46,19	-0,00128	-4,051	0,569
Concentrazione Rn (Bq/mc) (05)	13	30,19	211,7	66,06	48,17	2381	48,8	25,65	2,502	7,174	0,739
Concentrazione Rn (Bq/mc) (05 scuole)	23	25,66	254,9	84,93	63,95	3720	60,99	29,52	1,529	1,666	0,718
Concentrazione Rn (Bq/mc) (06)	13	30,41	202,5	93,44	79,9	3041	55,15	64,45	0,559	-0,697	0,59
Concentrazione Rn (Bq/mc) (06 scuole)	4	39,47	74,33	50,17	43,44	264	16,25	3,843	1,898	3,669	0,324
Percentiles for Raw Full Data Sets											
Variable	NumObs	5%ile	10%ile	20%ile	25%ile(Q1)	50%ile(Q2)	75%ile(Q3)	80%ile	90%ile	95%ile	99%ile
Concentrazione Rn (Bq/mc) (01)	43	26,38	29,69	32,52	34,16	46,5	71,78	84,26	116,4	136,8	149,9
Concentrazione Rn (Bq/mc) (01 scuole)	50	22,55	24,6	31,53	35,65	68,13	99,13	108,9	165,2	185,8	211,6
Concentrazione Rn (Bq/mc) (02)	47	26,55	30,02	34,94	35,23	49,89	61,2	63,12	75,48	83,55	95,59
Concentrazione Rn (Bq/mc) (02 scuole)	4	28,45	31,02	36,15	38,72	65,63	92,52	95,07	100,2	102,7	104,8
Concentrazione Rn (Bq/mc) (05)	13	30,31	31,29	36,22	38,21	48,17	66,27	78,06	96,93	144,5	198,2
Concentrazione Rn (Bq/mc) (05 scuole)	23	28,63	31,55	44,8	46,38	63,95	96,02	116,1	186,3	191,1	240,9
Concentrazione Rn (Bq/mc) (06)	13	32,51	34,41	38,75	42,23	79,9	135,3	145,1	152,3	172,5	196,5
Concentrazione Rn (Bq/mc) (06 scuole)	4	39,88	40,3	41,12	41,53	43,44	52,07	56,53	65,43	69,88	73,44

3.11. Elaborazione dati radon campagna di misura rocce– 1996-1997

Le analisi sui campioni di roccia hanno evidenziato, in linea generale, un contenuto di U/Ra 226 variabile da 12 a 51 Bq/kg.

Classe Geolitologica	Descrizione	n° campioni di roccia	media U/Ra-226 in roccia
1	Depositi sedimentari Olocenico-Pleistocenici	5	16
2	Formazioni basaltiche Plio-Pleistoceniche	6	13
7	Complesso vulcanico piroclastico riolitico rioacitico Oligo-Miocenico	6	12
10	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa-conglomeratica Paleogenica	30	20
14	Successione sedim. arenaceo-argillosa-conglomeratica-marnoso-carbonatica Mesozoica	2	12
17	Filoni da intermedi a acidi del complesso intrusivo Tardo Paleozoico	5	47
18	Complesso granitoide monzogranitico Carbonifero sup.-Permiano	3	51
19	complesso granitoide leucogranito Carbonifero sup.-Permiano	12	40
20	Complesso granitoide granodioritico Carbonifero sup.-Permiano	18	43
25	Rocce parametamorfiche, filladi, micascisti e gneiss del Paleozoico	95	32
26	Rocce ortometamorfiche, porfiroidi, metarioliti, matariodaciti , metaepiclastiti dell'Ordoviciano	63	42
27	Formazioni carbonatiche e marmi del Paleozoico	34	16
Totale		279	

La tabella seguente, organizzata sul contenuto di radon nelle rocce, dal più alto al più basso, evidenzia che l'U/Ra-226 si rinviene maggiormente all'interno del Complesso intrusivo granitoide con valori che variano tra 40 e 51 Bq/kg e con un trend di crescita dai termini Granodioritici verso i termini Monzogranitici; i termini Leucogranitici presentano valori leggermente inferiori.

Tra le rocce che contengono valori mediamente più bassi di U/Ra-226 sono ricomprese le rocce di origine vulcanoclastica Ordoviciane con valori leggermente più elevati rispetto agli altri termini francamente clastici del Complesso metamorfico Paleozoico.

I risultati delle analisi forniscono un interessante quadro del contenuto di minerali radioattivi nelle rocce del Basamento Paleozoico che risultano avere i valori relativi più elevati di tutte le rocce della Sardegna (da 32 a 51 Bq/Kg) mentre i termini più carbonatici presentano i valori più bassi (16 Bq/Kg).

Classe Geolitologica	Descrizione	n° campioni di roccia	media U/Ra-226 in roccia
18	Complesso granitoide monzogranitico Carbonifero sup.-Permiano	3	51
17	Filoni da intermedi a acidi del complesso intrusivo Tardo Paleozoico	5	47
20	Complesso granitoide granodioritico Carbonifero sup.-Permiano	18	43
26	Rocce ortometamorfiche, porfiroidi, metarioliti, matariodaciti , metaepiclastiti dell'Ordoviciano	63	42
19	complesso granitoide leucogranito Carbonifero sup.-Permiano	12	40
25	Rocce parametamorfiche, filladi, micascisti e gneiss del Paleozoico	95	32
10	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa-conglomeratica Paleogenica	30	20
1	Depositi sedimentari Olocenico-Pleistocenici	5	16
27	Formazioni carbonatiche e marmi del Paleozoico	34	16
2	Formazioni basaltiche Plio-Pleistoceniche	6	13
14	Successione sedim. arenaceo-argillosa-conglomeratica-marnoso-carbonatica Mesozoica	2	12
7	Complesso vulcanico piroclastico riolitico rioacitico Oligo-Miocenico	6	12
Totale		279	

I sedimenti clastici (con le classi 10,11 e 14 che comprendono i sedimenti dal Paleogene al Pleistocene) presentano generalmente valori di concentrazione di Ra226 relativamente bassi (da 12 a 16 Bq/Kg).

Il quadro riassuntivo delle informazioni sui dati disponibili indoor e su roccia viene riportato nella tabella seguente.

Al momento non si dispone di una copertura di misure completa per tutte le Classi geolitologiche.

Classe Geolitologica	Descrizione	N° misure indoor	Rn indoor (Bq/m3) Mean geom	n° campioni rocce	media U/Ra-226 rocce
1	Depositi sedimentari Olocenico-Pleistocenici	95	61	5	16
2	Formazioni basaltiche Plio-Pleistoceniche	52	48	6	13
3	Trachiti, trachiti fonolitiche e fonoliti plio-pleistoceniche	1	171		
4	Successione sedimentaria, argilliti, siltiti e arenarie Plio-Pleistoceniche				
5	Successione sedimentaria marnoso, carbonatica e arenacea Oligo-Mioceniche	37	68		
6	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa conglomeratica Oligo-Mioceniche	18	75		
7	Complesso vulcanico piroclastico riolitico riocaltico Oligo-Miocenico	5	69	6	12
8	Vulcaniti dacitiche e riocaltiche Plio-Pleistoceniche				
9	Complesso vulcanico andesitico basaltico Oligo-Miocenico	5	55		
10	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa conglomeratica Paleogenica	1	154	30	20
11	Successione sedimentaria carbonatica Paleogenica				
12	Successione sedimentaria carbonatica Mesozoico	1	50		
13	Successione vulcano sedimentaria Perno-Trias				
14	Successione sedim. arenaceo-argillosa-conglomeratica-marnoso-carbonatica Mesozoica	1	33	2	12
15	Complesso vulcanico riolitico dacitico e flussi piroclastici Permiano				
16	Filoni basici complesso intrusivo Tardo Paleozoico				
17	Filoni da intermedi a acidi del complesso intrusivo Tardo Paleozoico			5	47
18	Complesso granitoidi monzogranitico Carbonifero sup.-Permiano	6	260	3	51
19	Complesso granitoidi leucogranito Carbonifero sup.-Permiano	1	199	12	40
20	Complesso granitoidi granodioritico Carbonifero sup.-Permiano	4	170	18	43
21	Complesso granitoidi tonalitico Carbonifero sup. Permiano	4	118		
22	Complesso migmatitico acido Pre Cambriano				
23	Complesso migmatitico basico Pre Cambriano-Paleozoico				
24	Complesso granitoidi gabbroidi Carbonifero sup.-Permiano				
25	Rocce parametamorfiche, filladi, micascisti e gneiss del Paleozoico	8	61	95	32
26	Rocce ortometamorfiche, porfiroidi, metaroliti, matariodaciti, metaepiclastiti dell'Ordoviciano			63	42
27	Formazioni carbonatiche e marmi del Paleozoico			34	16

In linea generale si riscontra una buona corrispondenza tra misure di radon e concentrazione di radioattività naturale nelle rocce, soprattutto per i termini relativi al Complesso granitoidi, mentre una certa discrasia si osserva attualmente per il Complesso delle rocce metamorfiche del Paleozoico.

Progetto "Classificazione del Territorio Regionale con individuazione delle Aree a rischio radon"

Classe Geolitologica	Descrizione	N° misure indoor	Rn indoor (Bq/m3) Mean geom	n° campioni rocce	media U/Ra-226 rocce
18	Complesso granitoido monzogranitico Carbonifero sup.-Permiano	6	260	3	51
19	Complesso granitoido leucogranito Carbonifero sup.-Permiano	1	199	12	40
3	Trachiti, trachiti fonolitiche e fonoliti plio-pleistoceniche	1	171		
20	Complesso granitoido granodioritico Carbonifero sup.-Permiano	4	170	18	43
10	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa-conglomeratica Paleogenica	1	154	30	20
21	Complesso granitoido tonalitico Carbonifero sup. Permiano	4	118		
6	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa conglomeratica Oligo-Mioceniche	18	75		
7	Complesso vulcanico piroclastico riolitico riocitico Oligo-Miocenico	5	69	6	12
5	Successione sedimentaria marnoso, carbonatica e arenacea Oligo-Mioceniche	37	68		
25	Rocce parametamorfiche, filladi, micasisti e gneiss del Paleozoico	8	61	95	32
1	Depositi sedimentari Olocenico-Pleistocenici	95	61	5	16
9	Complesso vulcanico andesitico basaltico Oligo-Miocenico	5	55		
12	Successione sedimentaria carbonatica Mesozoico	1	50		
2	Formazioni basaltiche Plio-Pleistoceniche	52	48	6	13
14	Successione sedim. arenaceo-argillosa-conglomeratica-marnoso-carbonatica Mesozoica	1	33	2	12
4	Successione sedimentaria, argilliti,siltiti e arenarie Plio-Pleistoceniche				
8	Vulcaniti dacitiche e riocitiche Plio-Pleistoceniche				
11	Successione sedimentaria carbonatica Paleogenica				
13	Successione vulcano sedimentaria Permo-Trias				
15	Complesso vulcanico riolitico dacitico e flussi piroclastici Permiano				
16	Filoni basici complesso intrusivo Tardo Paleozoico				
17	Filoni da intermedi a acidi del complesso intrusivo Tardo Paleozoico			5	47
22	Complesso migmatitico acido Pre Cambriano				
23	Complesso migmatitico basico Pre Cambriano-Paleozoico				
24	Complesso granitoido gabbroide Carbonifero sup.-Permiano				
26	Rocce ortometamorfiche, porfiroidi, metarioliti, matariodaciti , metaepidastiti			63	42
27	Formazioni carbonatiche e marmi del Paleozoico			34	16

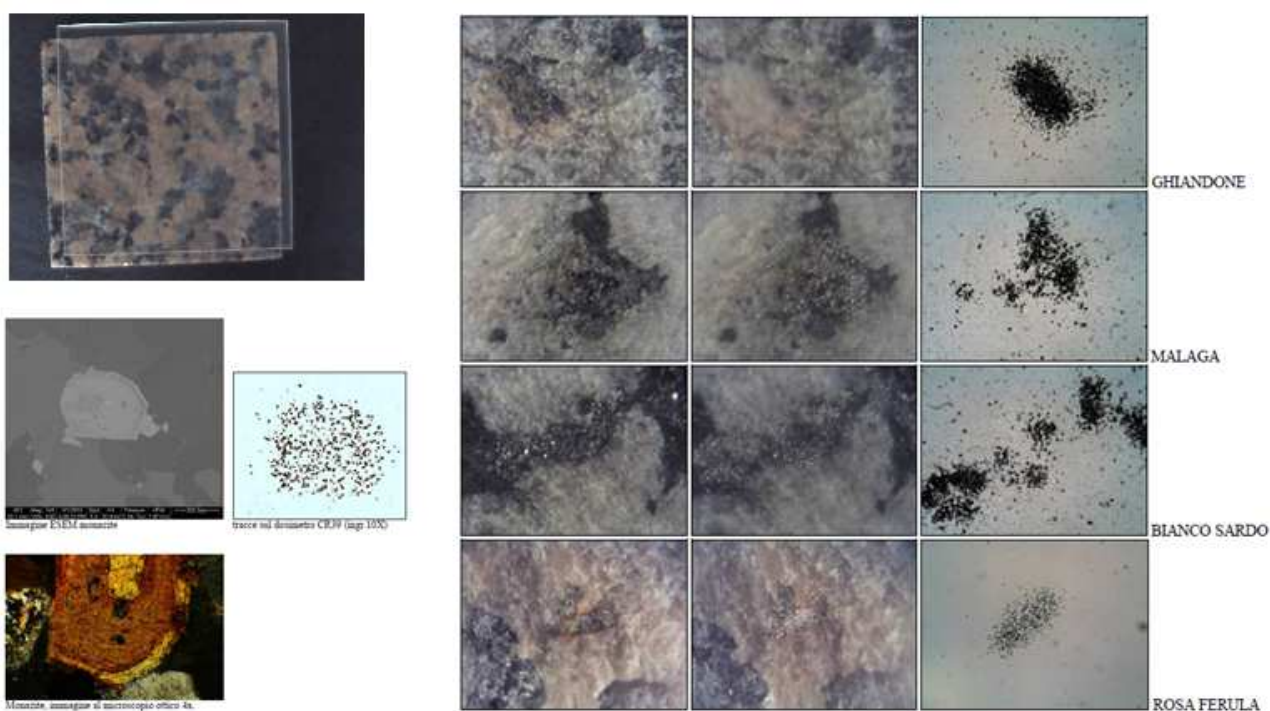
3.12. Singolarità ed aree a possibile elevato potenziale contenuto di radioattività naturale

Alcuni studi eseguiti dall'Università degli Studi di Cagliari, sul contenuto in minerali radioattivi nei materiali lapidei da costruzione estratti e lavorati in Sardegna e dall'Università degli Studi di Sassari sul contenuto di radionuclidi naturali nelle rocce del Complesso magmatico intrusivo ("Graniti e Granitoidi") del Batolite Sardo del nord est della Sardegna ne hanno evidenziato la presenza al loro interno.

Lo studio dell'Università di Cagliari sul contenuto in minerali radioattivi nei graniti lapidei sardi ha evidenziato che l'uranio e il torio sono generalmente presenti come elementi vicarianti in minerali accessori rappresentati principalmente dai zirconi, dalle allaniti e dalle monaziti e nella thorite (minerale principale al cui interno si rinviene il torio).

La figura seguente mostra in modo evidente l'identificazione dei minerali radioattivi all'interno dei minerali che costituiscono la roccia granitica, dove solo le emissioni di radiazione alfa da parte dei minerali radioattivi determina la formazione delle "tracce" su un supporto plastico (tipo CR39).

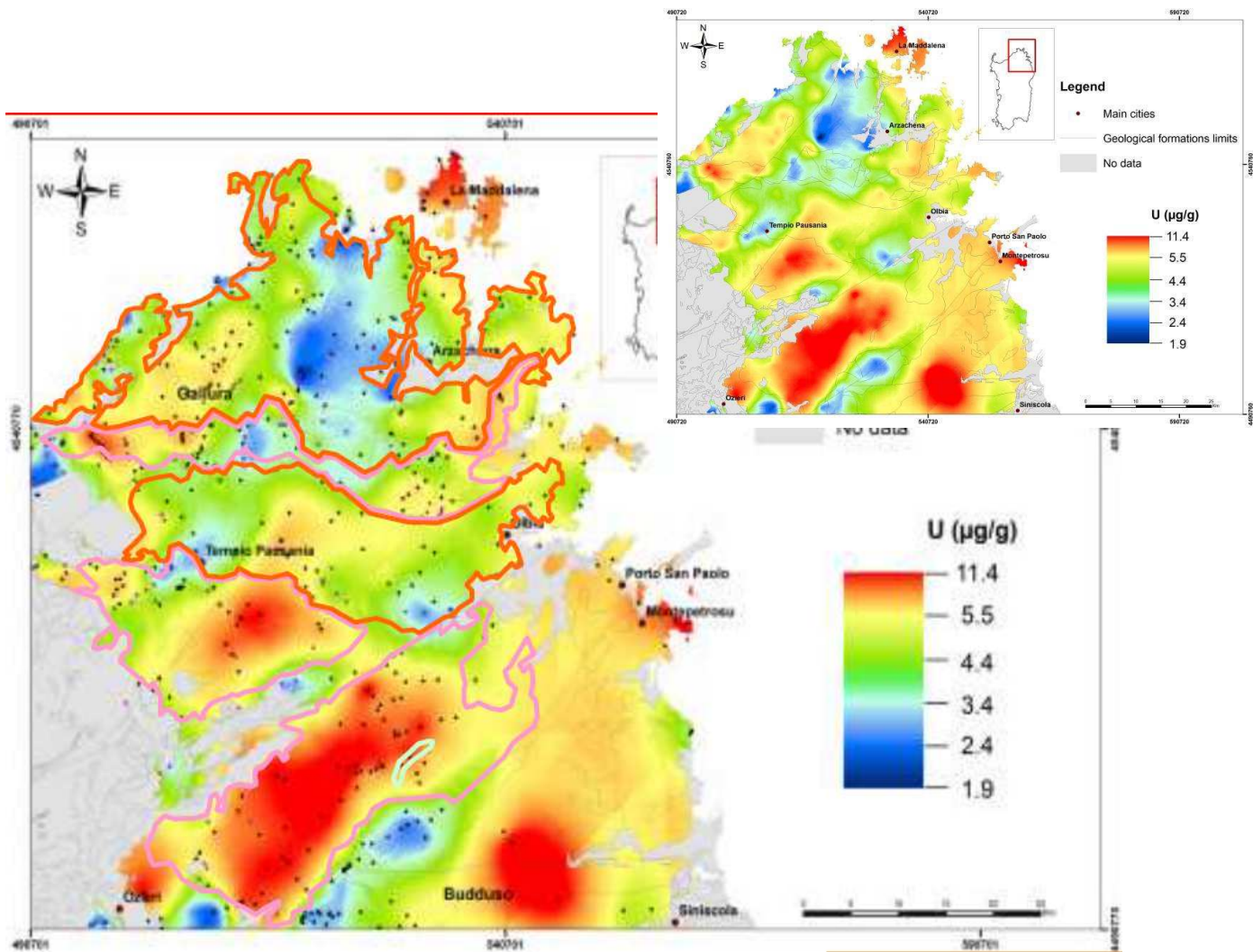
E' evidente che la maggior parte degli altri minerali presenti nei graniti non emettono radiazioni.



Tratto da: Progetto Cluster : Sardegna Ricerche & Dipartimento di Fisica- Università degli studi di Cagliari. Radioattività naturale nei materiali da costruzione. 2009

Questa stessa tipologia di supporto plastico costituisce la parte sensibile dei dosimetri che verranno utilizzati per il rilevamento del gas radon all'interno delle abitazioni durante l'indagine.

L'Università di Sassari ha determinato sul Batolite Granitico della Sardegna nord-orientale il contenuto di ^{40}K , U e Th con 545 misure di spettroscopia gamma in situ e 167 misure di radionuclidi naturali su campioni di roccia. Sulla base dei dati ottenuti sono state elaborate mappe tematiche della distribuzione dei radionuclidi (vedi figura seguente) nonché mappe radiometriche ternarie ad alta risoluzione, le quali mostrano ottimi accordi con le carte geologiche della regione.



Tratto da : Kaçeli Xhixha M. : *New gamma-ray spectrometry methods for estimating K U, Th concentrations in rocks of the Sardinia Batholith.* (Tesi dottorato). 2013

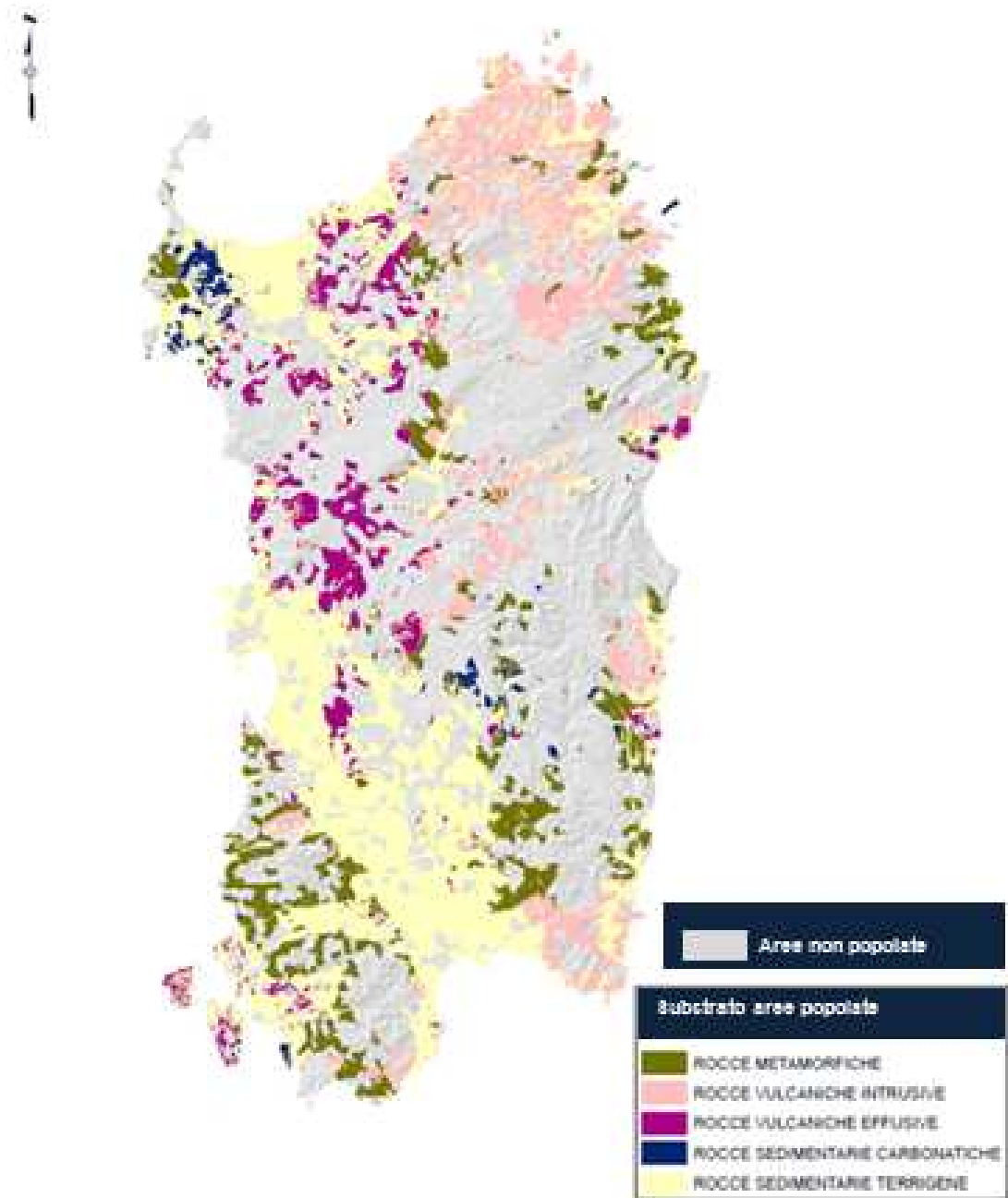
I risultati di tali analisi consentono di poter affermare che alcune unità cartografiche corrispondenti ad alcuni ben individuati litotipi possono dar luogo, nel quadro dei processi di decadimento, alla formazione di radon e pertanto potrebbero determinare situazioni di "potenziale rischio radon" per la salute umana.

La presenza di radon, seppur in concentrazioni molto contenute, è stata evidenziata in studi sulle acque sotterranee del Graben del Campidano e sulle sorgenti geotermali presenti in Sardegna, legate principalmente alla forti strutturazioni tettoniche che raggiungono notevoli profondità e lungo le quali si sviluppa una intensa circolazione idrica sotterranea.

3.13. Distribuzione demografica all'interno delle classi geolitologiche

Una prima elaborazione dei dati sulla distribuzione della popolazione dei diversi Comuni all'interno delle principali unità geolitologiche della Sardegna ha consentito di evidenziare che la popolazione residente risulta distribuita, come evidenziato nella figura seguente, ottenuta dall'interazione tra una Carta geologica (semplificata) e le Sezioni censuarie "popolate" dei Comuni .

La figura mette in evidenza come gran parte del Territorio (zone in grigio) della Sardegna non sia interessato dalla presenza di popolazione residente.



4. STRATEGIA OPERATIVA

4.1. Strategia per l'indagine regionale sul radon indoor

Gli ambienti chiusi risultano il luogo di maggior esposizione della popolazione e dei lavoratori al radon.

La concentrazione del Radon indoor è funzione di molteplici fattori, e dipende in particolare dalle caratteristiche del substrato geolitologico, dalle modalità costruttive e dalle modalità di fruizione dell'abitazione.

I numerosi studi eseguiti finora nel mondo, finalizzati alla predisposizione della mappatura del radon, indicano che la metodologia della misurazione del contenuto di radon all'interno degli edifici permette di poter valutare ed individuare le aree di maggiore pericolosità e rischio per la popolazione.

Tale tipologia di indagini non consente di poter prevedere il contenuto di radon in un singolo edificio ma consente di poter stimare il contenuto medio di radon per area.

La mappatura del territorio sulla dispersione del radon può essere determinata anche tramite indagini su basi geologiche, ma poiché lo scopo delle mappe è quello di stimare i livelli medi di concentrazione di radon negli edifici (o la probabilità che le concentrazioni di radon superino certi livelli di riferimento) i risultati delle misure reali di radon negli edifici sono i dati più direttamente rilevanti.

E' possibile realizzare una mappatura della concentrazione del radon basandola su diverse "unità geografiche" quali ad esempio i limiti amministrativi comunali, i limiti delle unità geolitologiche o divisioni arbitrarie del territorio in maglie e ciascuno di queste metodologie presenta vantaggi e svantaggi.

L'utilizzo dei confini amministrativi presenta il vantaggio di semplificare ogni successiva azione amministrativa, ma il potenziale radon può variare notevolmente all'interno di tali confini in quanto possono essere interessati da molteplici tipologie litologiche.

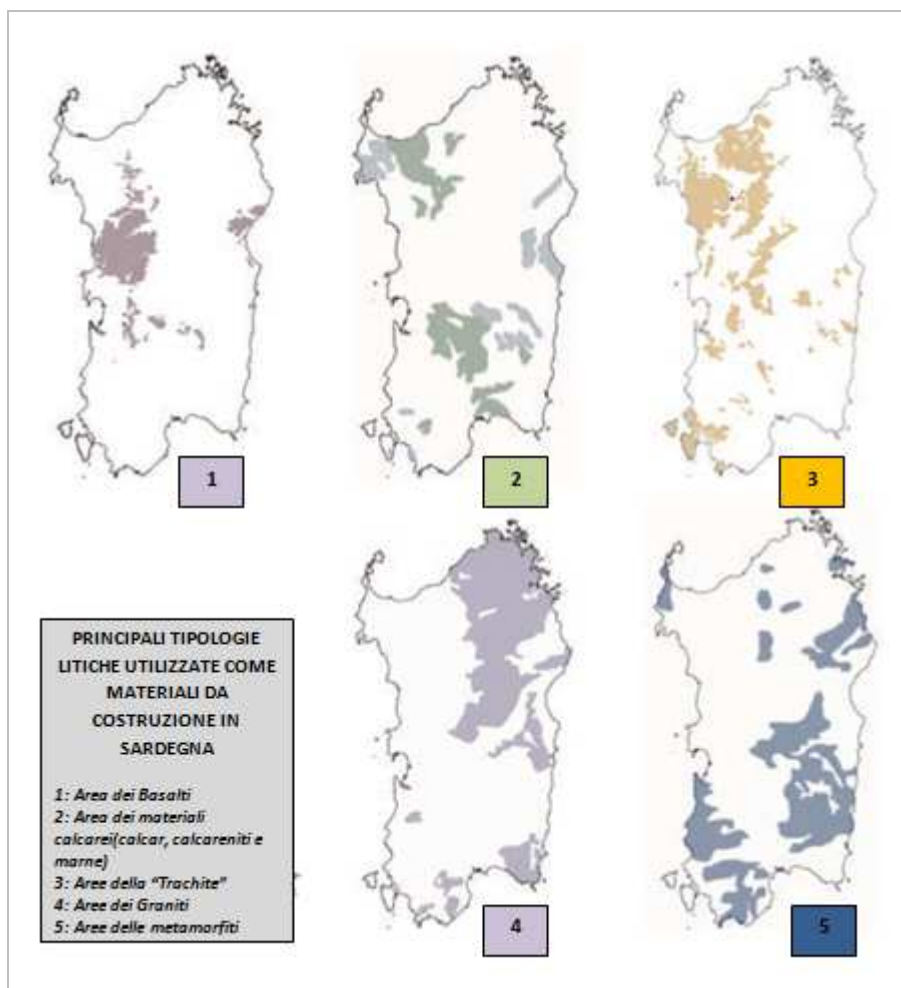
I limiti geologici delineano differenze di contenuto di potenziale in maniera molto più appropriata e definita ma è necessario disporre di rilevanti informazioni che consentano di poter valutare il contenuto medio di radioisotopi all'interno di ogni singola unità geolitologica.

L'utilizzo di una maglia consente di poter impostare uno schema di campionamento basato su un numero di campioni regolare e costante, ma è ben evidente che all'interno di ogni singola maglia possono essere presenti molteplici confini comunali e molteplici limiti geolitologici.

Numerosi studi sul radon hanno mappato la potenziale presenza di radon indoor utilizzando i risultati delle misurazioni di radon nelle abitazioni (dati indoor) riferiti a maglie a griglia regolare. Altri hanno mappato il potenziale radon utilizzando le stesse misurazioni di radon nelle abitazioni (dati indoor) ma riferendoli alle classi geolitologiche del substrato su cui è localizzata l'abitazione oggetto di misura.

Per superare queste limitazioni sono stati recentemente proposte metodologie di **valutazione integrata** che tiene conto contemporaneamente delle tre tipologie di limiti di riferimento (amministrativo-geologico-maglia) e basate sia su misurazioni di radon nelle abitazioni (dati indoor) che direttamente su roccia (unità geolitologiche) [vedasi la bibliografia allegata].

I dati disponibili, come presentati precedentemente, evidenziano per la Sardegna una situazione complessa sia sotto il profilo geologico, caratterizzato da una strutturazione geolitologica molto variabile in ogni sua area territoriale, che per le modalità costruttive spesso ad esse direttamente connesse, almeno per l'edificato storico, come evidenziato nella figura seguente.



Tratto da : I Manuali di recupero dei Centri Storici – Il Manuale tematico della Pietra. http://www.sardegna.territorio.it/documenti/6_288_20121227105934.pdf

In considerazione di tali aspetti, si intende impostare la presente indagine, finalizzata alla mappatura del radon indoor in Sardegna, predisponendo una campagna di misurazioni di radon da effettuare nelle abitazioni della Sardegna, che possano essere ritenute rappresentative dei diversi contesti territoriali definiti e valutati sulla base della seguente struttura di riferimento:

1. **Base geologica:** l'analisi geologica ha consentito di definire 27 "Classi geolitologiche" all'interno delle quali risulta distribuito tutto l'edificato della Sardegna ("Inviluppi Urbani") e, tramite questo, poter valutare, seppur approssimativamente la "Popolazione" ed il "Numero di Edifici" ricadente all'interno di ogni classe.
2. **Base amministrativa:** ogni "Comune" rappresenta una identità geografica a cui possono essere riferiti i dati su Popolazione ed Edificato e, in una fase successiva, ogni riferimento di tipo normativo, pianificatorio, programmatico e gestionale. In Sardegna sono presenti 377 comuni ricadenti nelle attuali 8 Province.

Non potendo, per motivi logistici ed organizzativi, eseguire attualmente misure rappresentative della concentrazione di radon in tutti i comuni della Sardegna, si è scelto un criterio che consenta di mantenere una rappresentatività sia a livello territoriale che a livello amministrativo.

Per garantire tale rappresentatività si è scelto di introdurre un ulteriore criterio, definito:

3. **Base territoriale:** il territorio regionale è stato rappresentato per maglie regolari di dimensioni equiparabile a quello utilizzato in indagini simili svolte in altre regioni italiane (Lazio, Abruzzo, Lombardia...). Per la suddivisione del territorio della Sardegna in maglie regolari è stata presa in considerazione la maglia definita² dalla Carta Tecnica Regionale di dimensioni pari a 5 x 7.5 km, che rappresenta la griglia di maggior dettaglio (scala 1:10.000).

Considerati i limiti della dotazione strumentale, delle risorse disponibili e dei tempi necessari per lo svolgimento dell'indagine, è stato definito un campione costituito da 1.750 abitazioni che, in considerazione di quanto già svolto in altre regioni, può essere considerato sufficientemente rappresentativo per il raggiungimento degli obiettivi del progetto di mappatura e classificazione del territorio regionale.

Su specifica richiesta dell'Assessorato della Sanità e della Azienda Sanitaria Locale di Cagliari la Campagna di indagine del 2017 interesserà anche le Scuole Materne e le Scuole Elementari pubbliche di tutti i Comuni che rientrano nel campione della campagna, stimati preliminarmente in 250 edifici (di cui circa 180 scuole elementari e 70 scuole materne in considerazione che non tutti i comuni del campione disporranno di tali edifici). Nel caso durante l'impostazione operativa della campagna si riscontrasse una situazione diversa da tale ipotesi, la campagna di indagine sarà rimodulata per indagare comunque fino ad un massimo di 250 Scuole Materne ed Scuole Elementari per semestre.

² La maglia della cartografia IGM in scala 1:50.000 (denominato Foglio "X") identifica porzioni di territorio (quando interamente ricoperte) di 600 Km². Ogni Foglio 50.000 è suddiviso in quattro porzioni uguali che definiscono la cartografia in scala 1:25.000 (denominata Tavoleta "Y"), che identifica porzioni di territorio di 150 Km². La Carta Tecnica regionale si appoggia sulla maglie delle Tavolette IGM suddivise in quattro porzioni (denominate Sezione "Z") e che identifica porzioni di territorio (quando interamente ricoperte) di 37.5 Km² ovvero una maglia pari a 5 x 7.5 km.

Pertanto la Campagna di indagine 2017 avrà come riferimento misurazioni su 2000 edifici, di cui 239 sono state realizzate negli anni precedenti e 1.761 misure ($2.000-239=1.761$) devono essere eseguite per 1511 su abitazioni private e 250 su edifici pubblici scolastici (Scuole Materne e Scuole Elementari).

La campagna di indagine prevede la misura annuale suddivisa in due semestri consecutivi, realizzata mediante 1 dosimetro per ogni abitazione e scuola, da distribuire sull'intero territorio regionale in modo omogeneo per ogni classe geolitologica e per sua rappresentatività a livello provinciale.

Il campione su cui eseguire la campagna di indagine è stato definito come riportato nelle tabelle seguenti, che contengono le seguenti informazioni:

sez. 1: Elenco delle 27 classi geolitologiche all'interno delle quali si rinviene tutto l'edificato regionale ("Inviluppi urbani").

sez. 2 : Totale Edifici e Popolazione (con relativa percentuale riferita al totale Edifici e Popolazione) stimate presenti/ricadenti all'interno di ogni classe geolitologica. Sulle classi 1 e 5 si è ridotto, essendo queste due classi come già commentato precedentemente iper rappresentate rispetto alle altre, in maniera significativa il campione di riferimento;

sez. 3: Totale superfici delle aree urbane (con relativa percentuale riferita al totale area) ricadenti all'interno di ogni classe geolitologica;

sez. 4: Distribuzione dosimetri per classe geolitologica e per numero di abitazioni, in relazione alla loro rappresentatività nella specifica classe (per un totale ipotizzato di riferimento pari a 1.750 abitazioni e 250 scuole).

Sulla base di tali criteri è possibile definire quante abitazioni oggetto di misura (per un totale programmato di 1.750 abitazioni) ricadono in ogni classe geolitologica.

Sez. 5: N° Sezioni /Comuni (Unità di riferimento geografico/territoriale) che rappresentano la classe geolitologica (per l'assunzione strategica di utilizzare 8 misure per ciascuna Unità di riferimento geografico/territoriale).

Sez. n. 6:

(Colonna n) Numero di stazioni su cui sono state già eseguite delle misura indoor nelle precedenti campagne di misura (239).

(Colonna o) Numero di stazioni di misura rappresentative per ogni classe geolitologica da realizzare (al netto di quelle già realizzate: pari a $1.750-239=1.511$)

Sez. n. 7: Numero Unità di riferimento geografico/territoriale per ogni classe geolitologica (per l'assunzione strategica di utilizzare 8 misure per ciascuna Unità di riferimento) al netto delle stazioni di misura già realizzate per quanto riguarda le abitazioni private.

Come evidenziato dalle tabelle successive, alcune Classi geolitologiche (Classe 8, 11, 13, 15, 16,17, 23 e 24), per la loro scarsa presenza in relazione alle aree degli "Inviluppi urbani", non hanno consentito di identificare un Comune come specifico riferimento. Tali Classi geolitologiche ricadono all'interno dei Comuni definiti dal Campione.

Unità di riferimento geografico/territoriale campione per in ogni singola Classe Geolitologica, come definito nella tabella precedente ed in relazione alla loro rappresentatività all'interno di ogni specifica Provincia.

In tale modo ogni Unità di riferimento geografico/territoriale rappresenta una porzione di territorio al cui interno distribuire le stazioni di misura in modo omogeneo per l'intero territorio regionale.

E' stata inoltre aggiunta una classe specifica che individua le aree geotermali (classe 28) al fine di verificare l'eventuale influenza delle circolazioni idriche sotterranee di acqua calda sulle concentrazioni di radon indoor, con l'individuazione di 5 comuni di riferimento.

Nella tabella successiva vengono riportate il numero di Unità di riferimento geografico/territoriale così risultanti per ogni Provincia.

Classe geolitologica	Descrizione /Provincia	CA	CI	NU	OG	OR	OT	SS	VS	Totale complessivo
1	Depositi sedimentari Olocenico-Pleistocenici	8			1	6			5	20
2	Formazioni basaltiche Plio-Pleistoceniche	1		3		8		1		13
3	Trachiti, trachiti fonolitiche e fonoliti plio-pleistoceniche					1				1
4	Successione sedimentaria, argilliti, siltiti e arenarie Plio-Pleistoceniche			1						1
5	Successione sedimentaria marnosa, carbonatica e arenacea Oligo-Mioceniche	5				5		16	3	29
6	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa conglomeratica Oligo-Mioceniche	6				4		1	1	12
7	Complesso vulcanico piroclastico riolitico rioacitico Oligo-Miocenico	1	4	1		5		3	1	15
8	Vulcaniti dacitiche e rioclitiche Plio-Pleistoceniche									
9	Complesso vulcanico andesitico basaltico Oligo-Miocenico	1				3		1		5
10	Successione sedimentaria arenaceo-argillosa-conglomeratica Paleogenica	1	1							2
11	Successione sedimentaria carbonatica Paleogenica		1							1
12	Successione sedimentaria carbonatica Mesozoico							2		2
13	Successione vulcano sedimentaria Permo-Trias									
14	Successione sedim. arenaceo-argillosa-conglomeratica-marnoso-carbonatica Mesozoica	1			1					2
15	Complesso vulcanico riolitico dacitico e flussi piroclastici Permiano									
16	Filoni basici complesso intrusivo Tardo Paleozoico									
17	Filoni da intermedi a acidi del complesso intrusivo Tardo Paleozoico									
18	Complesso granitoidi monzogranitico Carbonifero sup.-Permiano	1		14	3		13			31
19	Complesso granitoidi leucogranito Carbonifero sup.-Permiano	1					3		2	6
20	Complesso granitoidi granodioritico Carbonifero sup.-Permiano	2		2	3		4		1	12
21	Complesso granitoidi tonalitico Carbonifero sup. Permiano			4	1			1		6
22	Complesso migmatitico acido Pre Cambriano						1			1
23	Complesso migmatitico basico Pre Cambriano-Paleozoico									
24	Complesso granitoidi gabbroide Carbonifero sup.-Permiano									
25	Rocce parametamorfiche, filladi, micascisti e gneiss del Paleozoico	6	3	7	5	1		3		25
26	Rocce ortometamorfiche, porfiroidi, metaroliti, metaiodaciti, metaepidastiti dell'Ordoviciano				1					1
27	Formazioni carbonatiche e marmi del Paleozoico		1	1				1		3
28	Aree Geotermali					1		3	1	5
Totale complessivo		34	10	33	15	34	21	32	14	193

Per ogni Sezione CTR, definita sulla base dello schema precedente, è stato individuato un Comune rappresentativo al cui interno dovrà essere portata avanti la campagna di indagine.

Complessivamente sono così individuati 193 Comuni ma, in considerazione del fatto che in nove di questi si dispone di misure radon indoor sufficienti per una loro classificazione, le indagini verranno eseguite sui 184 Comuni ricadenti all'interno di 180 Sezioni della CTR.

Per citare le quattro Classi principali, nella Classe geolitologica 1 sono stati individuati 20 comuni/sezioni (8 in provincia di Ca, 1 OG, 6 OR e 5 in VS). Nella Classe 5 sono stati individuati 29 comuni/sezioni (5 CA, 5 OR, 16 SS e 3 VS) Nella Classe 18 sono stati individuati 31 comuni/sezioni (1 CA, 14 NU, 3 OG, 13 OT). Nella classe 25 sono stati individuati 25 Comuni/sezioni (6 CA, 3 CI, 7 NU, 5 Og, 1 OR e 3 SS).

La campagna di indagine sulle 180 Sezioni ed i relativi 193 Comuni consentirà di poter disporre di informazioni omogenee relative a tutte le 27 Classi geolitologiche già definite ed alla Classe 28 delle aree geotermali.

Nella tabella seguente si riporta l'elenco completo delle Sezioni e dei Comuni interessati.

Progetto "Classificazione del Territorio Regionale con individuazione delle Aree a rischio radon"

SEZIONE CTR	COMUNE	PROVINCIA	POPOLAZIONE	N° EDIFICI RESIDENZIALI	CLASSE GEO-LITOLOGICA	AREA CLASSE GEO-LITOLOGICA (HA)	INDAGATI 1991-92
443050	AGGIUS	OT	1.595	730	18	44,1	
427100	AGLIENTU	OT	1.123	2.390	19	9,0	
461120	ALÀ DEI SARDI	OT	1.912	1.029	19	72,3	
539020	ALES	OR	1.492	659	5	62,3	
478040	ALGHERO	SS	40.595	5.915	12	389,2	
546080	ARBUS	VS	6.607	4.542	20	87,8	
460140	ARDARA	SS	794	371	5	14,8	
530030	ARITZO	NU	1.339	625	25	33,6	
428090	ARZACHENA	OT	11.369	5.507	18	134,4	
531070	ARZANA	OG	2.427	1.120	20	84,3	
530010	ATZARA	NU	1.164	567	21	35,5	
516100	AUSTIS	NU	885	528	18	34,6	
442030	BADESI	OT	1.840	1.054	20	26,5	
531160	BARI SARDO	OG	3.819	1.746	21	103,2	
540050	BARUMINI	VS	1.414	605	5	25,8	
515130	BAULADU	OR	677	295	9	17,9	
517160	BAUNEI	OG	3.622	1.637	25	24,8	
481110	BENETUTTI	SS	1.872	788	28	39,5	
461030	BERCHIDDA	OT	2.756	1.550	18	53,2	
482090	BITTI	NU	2.897	1.342	21	71,0	
498080	BOLOTANA	NU	2.702	1.388	4	31,6	
481130	BONO	SS	3.547	1.496	25	112,1	
498140	BORORE	NU	2.188	984	2	95,6	
497100	BOSA	OR	7.882	2.435	7	111,3	
481040	BUDDUSÒ	OT	3.990	1.653	18	111,3	
463050	BUDONI	OT	4.839	3.336	22	104,4	
481090	BULTEI	SS	1.018	507	28	21,3	
442150	BULZI	SS	529	300	7	8,1	INDAGATO
558050	BURCEI	CA	2.865	949	25	64,8	
515150	BUSACHI	OR	1.350	923	7	50,3	
528070	CABRAS	OR	8.902	4.024	1	220,7	
557140	CAGLIARI	CA	150.752	13.484	1	2.299,9	INDAGATO
443070	CALANGIANUS	OT	4.247	1.217	18	101,8	
565040	CAPOTERRA	CA	23.735	6.214	19	241,5	
564030	CARBONIA	CI	30.396	4.546	11	484,7	
563080	CARLOFORTE	CI	6.039	4.572	7	..	
558140	CASTIADAS	CA	1.548	1.161	20	18,1	
460060	CHIARAMONTI	SS	1.773	902	5	49,6	
460090	CODRONGIANOS	SS	1.379	616	5	40,8	
514030	CUGLIERI	OR	2.681	2.511	2	51,8	
556080	DECIMOMANNU	CA	7.835	1.910	1	145,1	
516150	DESULO	NU	2.421	1.225	25	72,3	
557030	DOLIANOVA	CA	9.266	2.857	6	210,3	
573070	DOMUS DE MARIA	CA	1.598	1.643	18	32,6	
548140	DONORI	CA	2.106	710	6	29,6	
500080	DORGALI	NU	8.442	2.775	2	125,2	INDAGATO
557090	ELMAS	CA	8.966	1.729	1	98,8	
541130	ESCALAPLANO	CA	2.166	980	10	64,0	
546150	FLUMINIMAGGIORE	CI	2.882	1.508	25	55,9	
516080	FONNI	NU	3.888	1.451	18	86,0	
529020	FORDONGIANUS	OR	1.092	606	28	29,7	
547040	FURTEI	VS	1.647	644	6	25,3	
531150	GAIRO	OG	1.480	605	25	28,4	
516030	GAVOI	NU	2.762	954	18	79,8	
515060	GHILARZA	OR	4.561	2.153	2	119,8	
531040	GIRASOLE	OG	1.177	454	1	26,3	
546120	GONNOSFANADIGA	VS	6.608	2.523	19	183,5	
555070	IGLESIAS	CI	27.550	5.741	27	229,9	
482160	IRGOLI	NU	2.253	952	18	81,2	
540060	ISILI	CA	2.956	952	5	96,4	
531150	JERZU	OG	3.155	1.698	25	37,2	
412140	LA MADDALENA	OT	10.886	3.891	18	308,5	
530090	LACONI	OR	1.919	959	25	47,6	
531110	LANUSEI	OG	5.404	1.466	20	103,5	

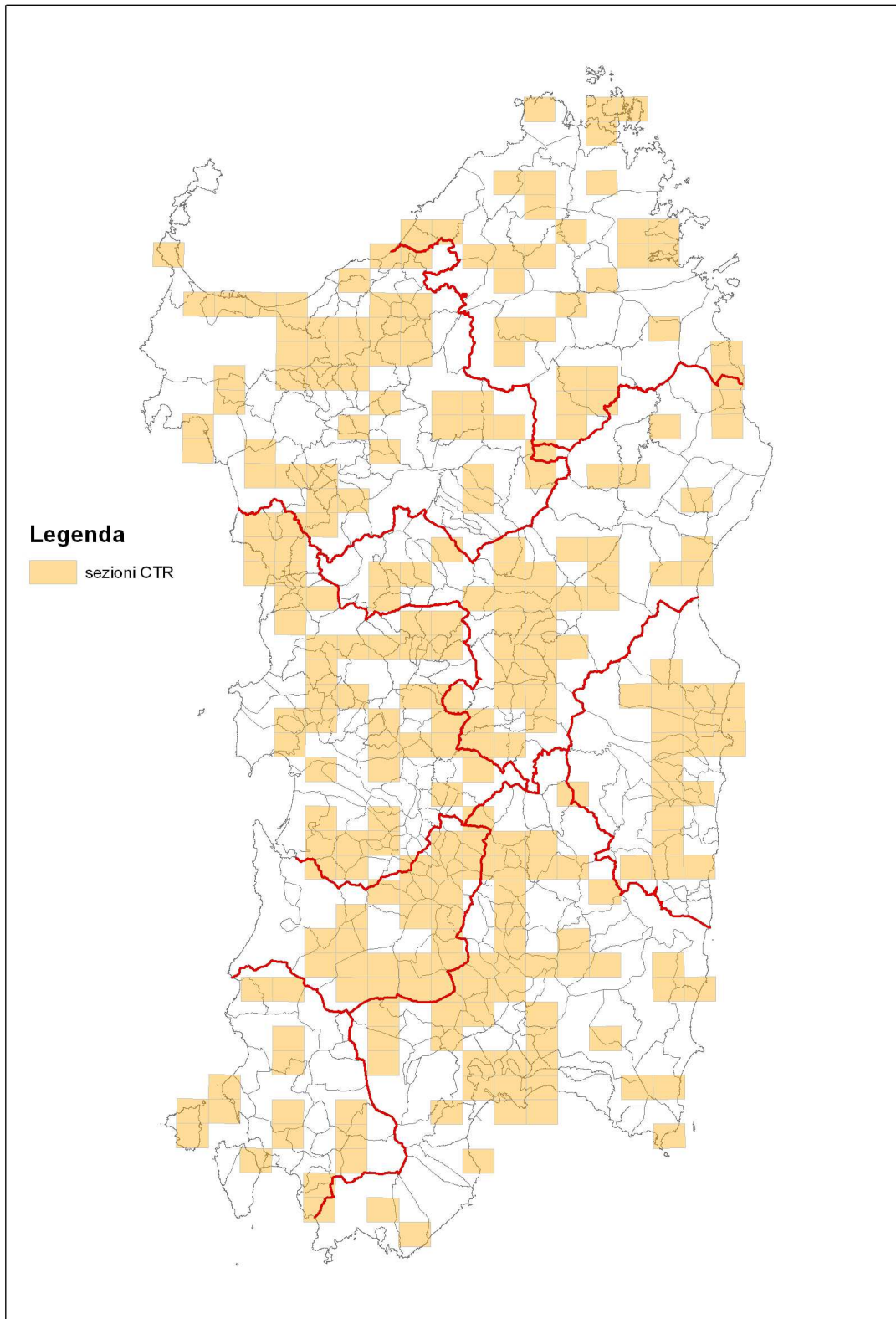
Progetto "Classificazione del Territorio Regionale con individuazione delle Aree a rischio radon"

SEZIONE CTR	COMUNE	PROVINCIA	POPOLAZIONE	N° EDIFICI RESIDENZIALI	CLASSE GEO-LITOLOGICA	AREA CLASSE GEO-LITOLOGICA (HA)	INDAGATI 1991-92
482030	LODÈ	NU	1.831	947	20	36,0	
531040	LOTZORAI	OG	2.093	821	25	47,1	
482100	LULA	NU	1.442	725	25	42,8	
539150	LUNAMATRONA	VS	1.715	764	5	71,1	
427110	LUOGOSANTO	OT	1.858	932	18	42,5	
498100	MACOMER	NU	10.121	2.510	2	224,3	
497110	MAGOMADAS	OR	623	775	5	24,5	
499160	MAMOIADA	NU	2.497	846	18	72,8	
540140	MANDAS	CA	2.217	969	5	85,3	
538040	MARRUBIU	OR	4.897	1.732	1	146,7	
530010	MEANA SARDO	NU	1.857	855	25	58,7	
514160	MILIS	OR	1.589	670	2	41,3	INDAGATO
557010	MONASTIR	CA	4.470	1.419	1	67,0	INDAGATO
443160	MONTI	OT	2.478	1.029	20	57,1	
497020	MONTRESTA	OR	518	362	9	13,3	
480060	MORES	SS	1.880	866	5	62,5	
539020	MORGONGIORI	OR	763	370	5	26,9	
459120	MUROS	SS	852	289	5	10,7	
565010	NARCAO	CI	3.405	1.204	10	48,5	
481010	NUGHEDU SAN NICOLÒ	SS	835	523	27	9,7	
515080	NUGHEDU SANTA VITTORIA	OR	479	281	7	18,8	
460010	NULVI	SS	2.800	1.319	7	34,7	
500050	NUORO	NU	37.987	4.938	20	327,6	
540010	NURAGUS	CA	904	552	5	44,4	
548130	NURAMINIS	CA	2.571	1.001	1	63,9	
529160	NURECI	OR	330	206	6	16,6	INDAGATO
540070	NURRI	CA	2.184	972	2	44,5	
444030	OLBIA	OT	53.876	14.295	18	612,4	
500090	OLIANA	NU	7.180	2.344	18	148,5	
459090	OLMEDO	SS	3.850	1.132	12	34,6	
516020	OLZAI	NU	917	501	18	33,0	
499110	ORANI	NU	2.926	1.077	18	43,1	
500130	ORGOSOLO	NU	4.376	1.400	18	67,0	
499100	OROTELLI	NU	2.081	868	18	67,2	
540070	ORROLI	CA	2.235	1.038	6	92,1	
515160	ORTUERI	NU	1.232	748	21	39,1	
461060	OSCHIRI	OT	3.378	1.476	18	72,2	
481070	OSIDDA	NU	226	137	21	6,9	
460050	OSILO	SS	3.091	1.471	9	23,3	
459120	OSSI	SS	5.836	1.926	5	56,7	
499130	OTTANA	NU	2.314	814	7	62,9	
516110	OVODDA	NU	1.606	645	18	51,8	
460160	OZIERI	SS	10.698	3.277	25	70,0	
547010	PABILLONIS	VS	2.842	984	1	53,8	
479160	PADRIA	SS	654	593	5	20,8	
462060	PADRU	OT	2.187	894	19	47,1	
428010	PALAU	OT	3.547	2.134	18	119,6	
481020	PATTADA	SS	3.091	1.245	21	47,1	
541100	PERDASDEFOGU	OG	4.488	846	14	53,9	
441140	PORTO TORRES	SS	23.022	3.209	5	1.030,5	
555130	PORTOSCUSO	CI	5.156	1.491	7	172,2	
463130	POSADA	NU	2.654	1.972	25	35,9	
480130	POZZOMAGGIORE	SS	2.638	1.640	2	98,1	
528030	RIOLA SARDO	OR	2.093	961	1	52,0	
479110	ROMANA	SS	558	314	5	18,8	
529070	RUINAS	OR	707	418	7	39,9	
530160	SADALI	CA	882	626	14	56,1	
547110	SAMASSI	VS	5.207	1.972	1	134,3	
548090	SAMATZAI	CA	1.775	686	6	49,6	
529040	SAMUGHEO	OR	3.109	1.511	7	128,1	
564070	SAN GIOVANNI SUERGIU	CI	6.112	2.306	7	99,1	
538120	SAN NICOLÒ D'ARCIDANO	OR	3.060	1.046	1	63,2	

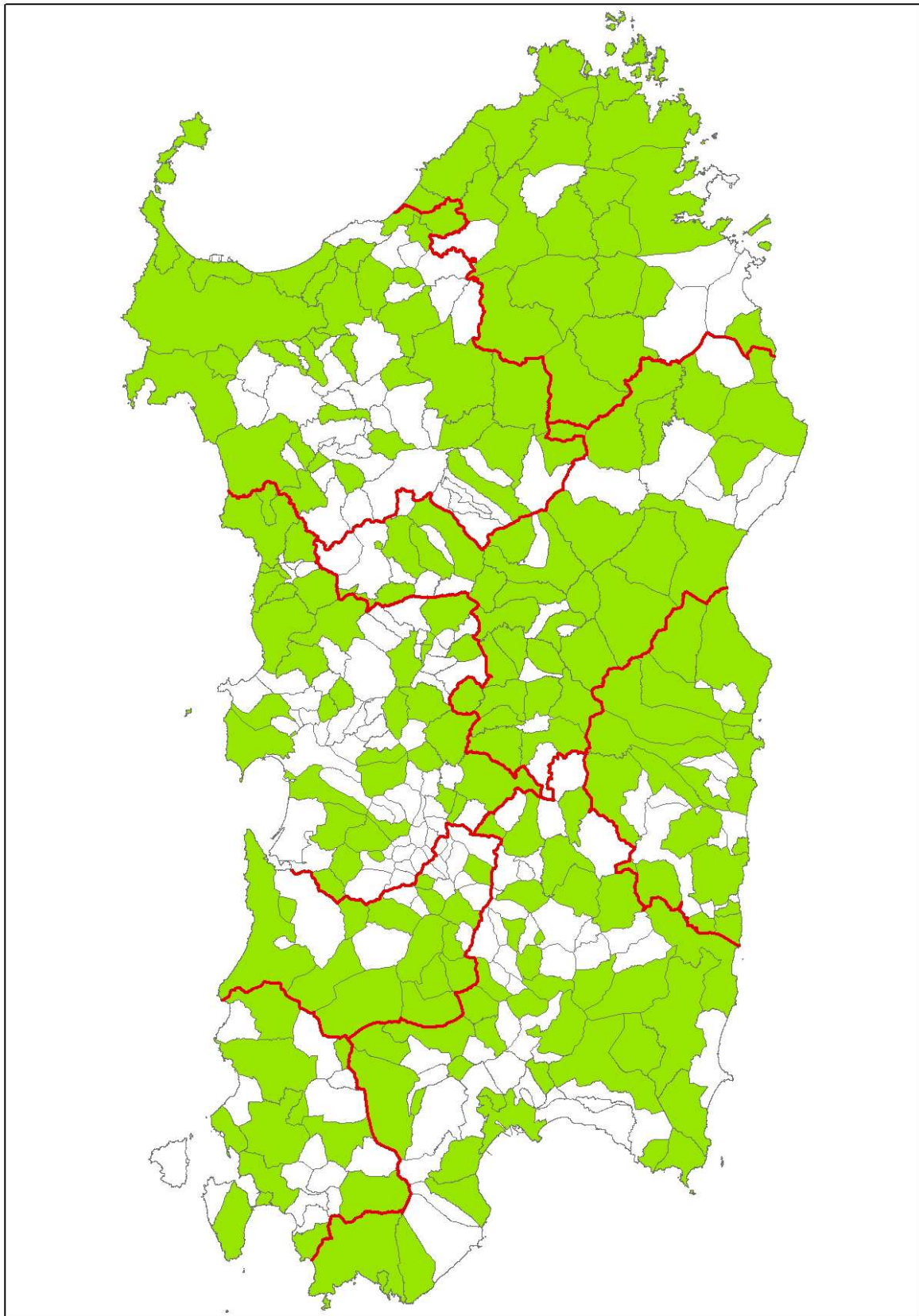
Progetto "Classificazione del Territorio Regionale con individuazione delle Aree a rischio radon"

SEZIONE CTR	COMUNE	PROVINCIA	POPOLAZIONE	N° EDIFICI RESIDENZIALI	CLASSE GEO-LITOLOGICA	AREA CLASSE GEO-LITOLOGICA (HA)	INDAGATI 1991-92
549110	SAN VITO	CA	3.706	2.177	25	65,4	
547030	SANLURI	VS	8.440	2.891	1	182,7	
548100	SANT'ANDREA FRIUS	CA	1.854	706	6	52,1	
572040	SANT'ANNA ARRESI	CI	2.588	1.748	25	46,4	
564100	SANT'ANTIOCO	CI	11.535	416	7	191,7	
443040	SANT'ANTONIO DI GALLURA	OT	1.594	632	20	30,6	
528120	SANTA GIUSTA	OR	4.787	1.394	1	71,1	
442070	SANTA MARIA COGHINAS	SS	1.382	546	5	30,6	
411150	SANTA TERESA GALLURA	OT	4.717	2.443	18	52,2	
565090	SANTADI	CI	3.497	1.489	25	55,1	
514080	SANTU LUSSURGIU	OR	2.430	1.450	3	63,9	
539140	SARDARA	VS	4.287	1.713	28	56,3	
566090	SARROCH	CA	5.303	2.179	7	95,6	
499150	SARULE	NU	1.700	703	18	57,2	
459080	SASSARI	SS	125.526	17.965	5	1.714,1	INDAGATO
497160	SCANO DI MONTIFERRO	OR	1.665	971	2	26,3	
515030	SEDILO	OR	2.140	1.097	2	60,7	
548020	SELEGAS	CA	1.445	587	5	32,2	
514120	SENEGHE	OR	1.763	962	2	55,2	
529160	SENIS	OR	442	282	6	25,7	INDAGATO
497150	SENNARIOLO	OR	178	152	2	5,2	
459040	SENNORI	SS	7.224	2.774	5	98,6	
548060	SENBORBI	CA	4.732	1.596	5	91,7	
547150	SERRAMANNA	VS	9.163	3.346	1	176,9	
547080	SERRENTI	VS	4.909	1.913	7	67,2	
557110	SETTIMO SAN PIETRO	CA	6.419	1.866	1	62,5	
530160	SEUI	OG	1.371	871	25	39,1	
529060	SIAMANNA	OR	800	347	6	26,8	
539110	SIDDI	VS	671	350	5	28,9	
498110	SILANUS	NU	2.124	1.020	27	44,0	
480010	SILIGO	SS	859	532	5	14,4	
556100	SILIQUA	CA	3.933	1.490	9	63,4	
548080	SILIUS	CA	1.251	399	25	20,2	
483010	SINISCOLA	NU	11.247	4.408	25	132,5	
557110	SINNAI	CA	16.588	5.691	6	65,1	
539060	SIRIS	OR	221	110	9	6,0	INDAGATO
516140	SORGONO	NU	1.760	852	18	40,7	
441150	SORSO	SS	14.162	6.367	5	151,6	
440070	STINTINO	SS	1.420	1.689	25	35,1	
497110	SUNI	OR	1.067	648	2	31,9	
515070	TADASUNI	OR	177	131	6	5,4	
517150	TALANA	OG	1.060	416	18	15,2	
444090	TELTI	OT	2.171	989	18	54,1	
443060	TEMPIO PAUSANIA	OT	13.749	3.416	18	151,7	
442090	TERGU	SS	614	264	5	22,1	
541070	TERTENIA	OG	3.683	2.511	26	83,0	
516060	TETI	NU	667	356	18	52,5	
573020	TEULADA	CA	3.797	1.922	25	80,4	
516140	TONARA	NU	2.035	1.128	25	26,1	
532050	TORTOLI	OG	10.198	3.191	20	216,9	
497150	TRESNURAGHES	OR	1.156	1.417	5	24,0	
442040	TRINITÀ D'AGULTU E VIGNOLA	OT	2.043	3.463	20	31,9	
539050	URAS	OR	2.891	1.227	1	136,0	
517110	URZULEI	OG	1.316	422	18	29,9	
459110	USINI	SS	4.250	1.509	5	56,8	
442060	VALLEDORIA	SS	4.029	1.749	6	98,8	
556020	VALLERMOSA	CA	2.030	840	1	42,2	
442070	VIDDALBA	SS	1.638	747	28	57,1	
547140	VILLACIDRO	VS	14.638	4.439	19	209,5	
531030	VILLAGRANDE STRISAILI	OG	3.282	1.212	18	48,7	
539160	VILLAMAR	VS	2.805	1.197	1	91,1	
479100	VILLANOVA MONTELEONE	SS	2.303	1.264	7	34,0	
549150	VILLAPUTZU	CA	4.763	1.855	25	51,2	
549090	VILLASALTO	CA	1.112	782	25	33,9	
567070	VILLASIMIUS	CA	3.291	2.094	20	52,0	
556040	VILLASOR	CA	7.258	2.199	1	159,7	
529100	VILLAURBANA	OR	1.680	737	5	49,7	
TOTALE INDAGINE			1.128.237	331.990		19.472	
TOTALE SARDEGNA			1.620.351	504.208		30.567,1	
INCIDENZA %			70%	66%		64%	

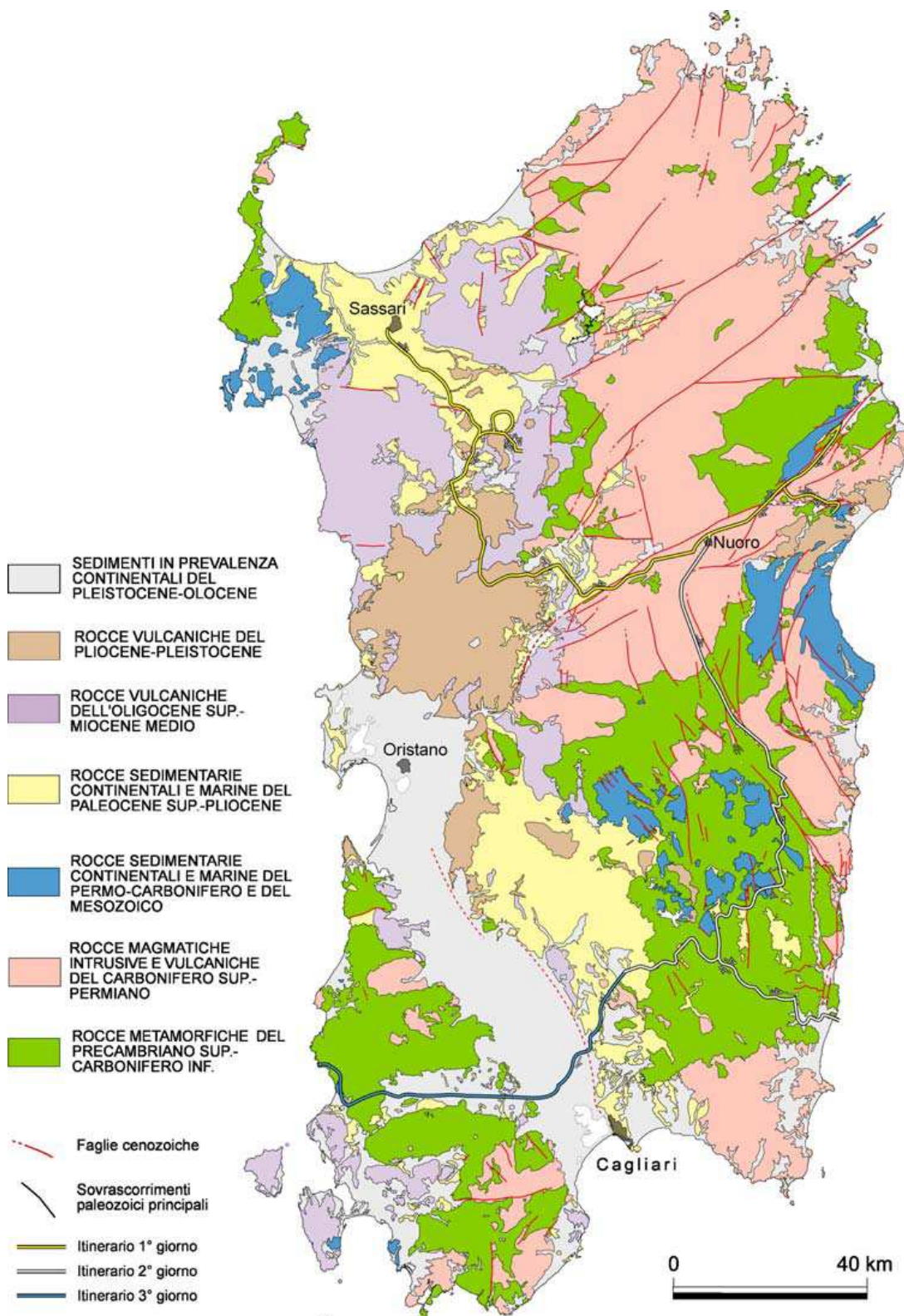
Carta delle Sezioni CTR, limiti comunali e centri abitati interessati dalla campagna di misurazione del radon.



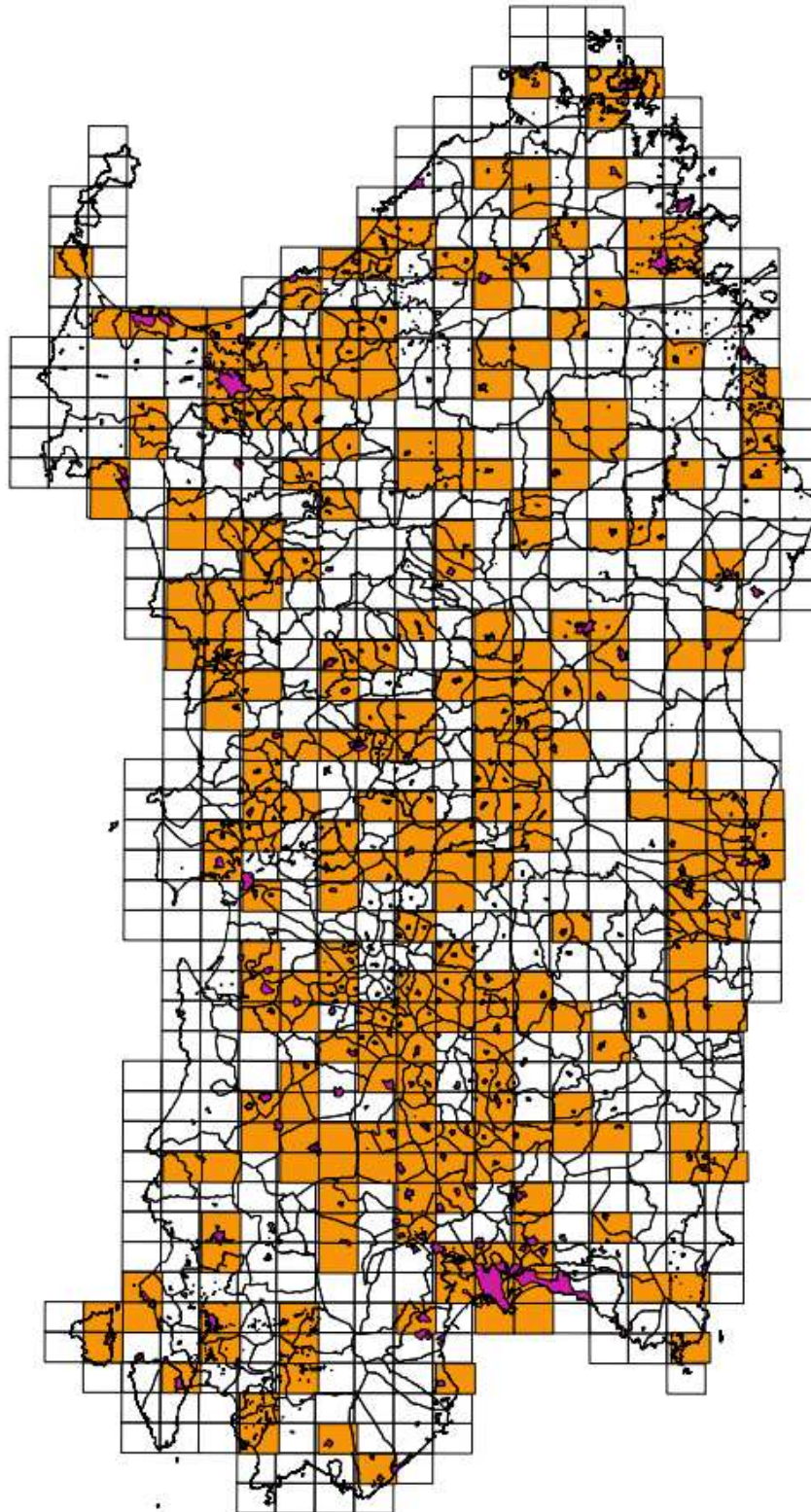
Carta dei limiti comunali e centri abitati interessati dalla campagna di misurazione del radon.



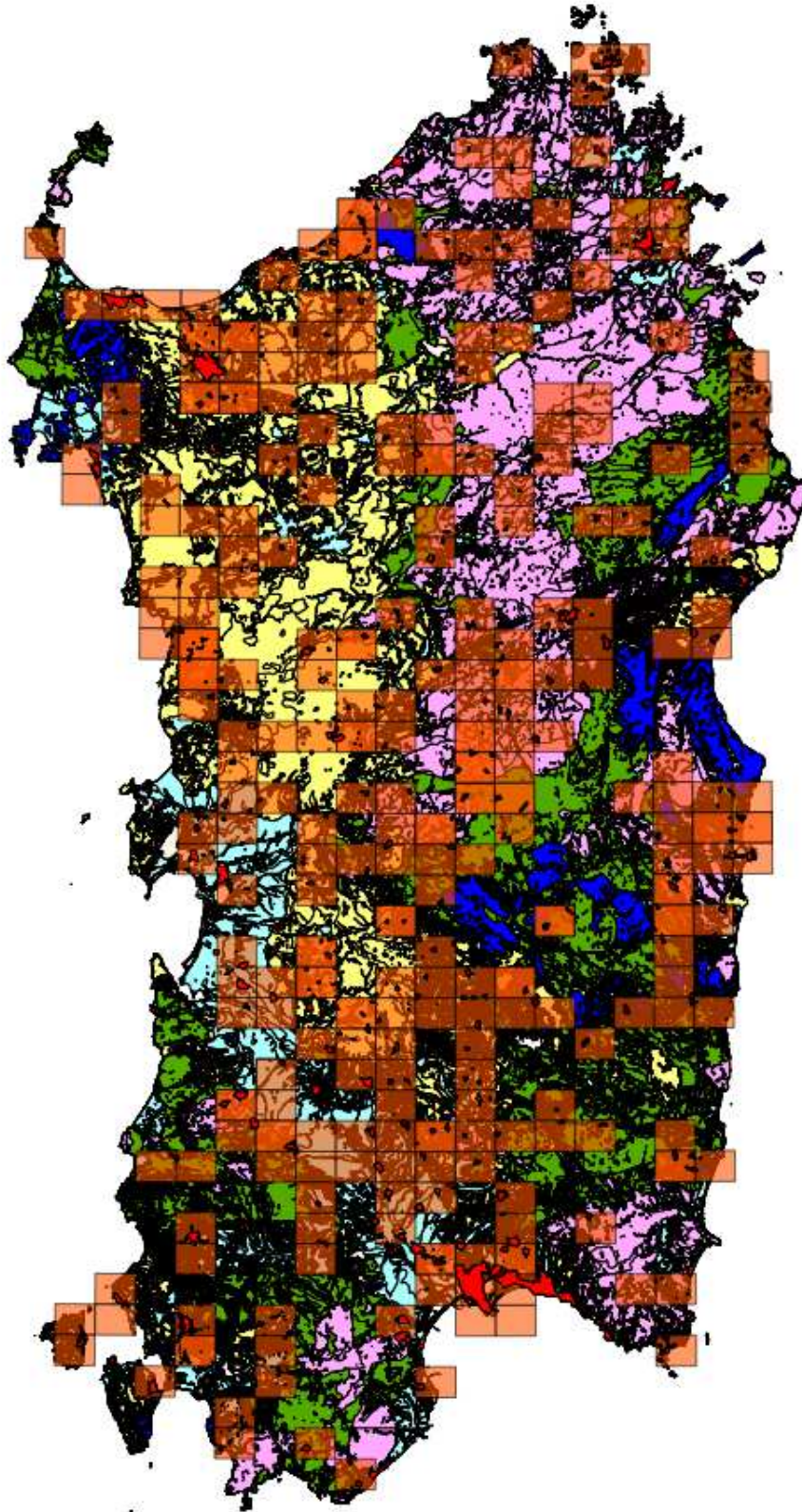
Carta geologica semplificata.



Carta delle Sezioni CTR, limiti comunali e centri abitati interessati dalla campagna di misurazione del radon.



Carta delle Sezioni CTR, carta geologica semplificata e centri abitati interessati dalla campagna di misurazione del radon.



4.2. La campagna di rilevamento per la misurazione dei dati nelle abitazioni selezionate

4.2.1. Predisposizione questionario sulle caratteristiche degli edifici in cui vengono posizionati i dosimetri

Sarà predisposto un "Questionario" che preveda:

- Codice di riferimento (univoco per ogni abitazione)
- dati generali ed indirizzo
- dati del compilatore
- indirizzo completo dell'abitazione
- coordinate geografiche dell'abitazione
- dati sugli abitanti
- informazioni sugli occupanti dell'abitazione:
- informazioni sull'edificio
- informazioni sull'abitazione
- informazioni sui locali in cui sono collocati i dosimetri

4.2.2. Strumenti e metodi di misura

Metodo di misura: per la determinazione della concentrazione di radon indoor sarà utilizzata la tecnica dei dosimetri passivi. I dosimetri sono dei contenitori in plastica di forma opportuna della dimensione max di 5 cm di diametro che contengono all'interno un materiale plastico (CR39) sensibile alla radiazione alfa emessa dal radon e dai relativi prodotti di decadimento. I dosimetri saranno esposti per un semestre e quindi ne verrà effettuata la lettura (conteggio delle tracce) previo attacco chimico, necessario per evidenziare le tracce lasciate sul rivelatore dalla radiazione. Il numero di tracce sul materiale plastico è direttamente proporzionale alla concentrazione di radon e al tempo di esposizione del dosimetro al radon.



Fig. : a Sx: Il contenitore in plastica aperto e la lastrina in plastica; a Dx: il dosimetro nella sua configurazione di misura.

4.2.3. Predisposizione dei dosimetri per la misura della concentrazione di Radon nelle abitazioni

Caratterizzazione e taratura dei rilevatori: tutto il materiale sensibile e i dosimetri verranno gestiti con procedure che garantiscano la riferibilità della misura secondo le norme di buona tecnica e i principi metrologici. Verranno eseguite esposizioni di taratura del materiale e della strumentazione utilizzata presso centri di taratura nazionali e/o internazionali accreditati.

Controlli di Qualità: il materiale e le procedure di lettura verranno gestiti secondo criteri di controllo di qualità che garantiscono la gestione delle incertezze di misura e la riferibilità metrologica.

Queste attività saranno effettuate sia nel Laboratorio di radioattività ambientale dell'ARPAS e, se necessario, in altri laboratori individuati per lo scopo.

Per ogni dosimetro di misura sarà predisposta una "**Scheda acquisizione dati**" che comprenderà le seguenti informazioni:

Codice di riferimento (univoco per ogni ambiente abitazione)

- Locale: definizione
- Codice dosimetro
- Periodo di misura
- Inizio periodo di esposizione
- Fine periodo di esposizione
- Concentrazione (Bq m⁻³)
- Incertezza estesa (Bq m⁻³)
- Fattore di copertura (k)

VALUTAZIONE CONCENTRAZIONE MEDIA ANNUALE DI RADON PER DOSIMETRO

- Concentrazione (Bq m⁻³)
- Incertezza estesa (Bq m⁻³)
- Fattore di copertura (k)
- Metodo di calcolo della media annuale.

Confezionamento-Consegna: i dosimetri, precedentemente assemblati e codificati, vengono conservati in buste sigillate impermeabili al radon che verranno aperte al momento della messa a dimora nel punto di misura.

Ritiro: i dosimetri saranno posizionati all'interno di buste sigillate impermeabili al radon che verranno aperte al momento dello sviluppo nel Laboratorio di radioattività ambientale dell'ARPAS.

4.2.4. Sviluppo e lettura dei dosimetri esposti al fine di determinare la concentrazione di radon nelle abitazioni campionate.

I dosimetri saranno sviluppati mediante attacco con soluzione di soda, secondo le procedure definite dal produttore.

Le letture dei dosimetri saranno effettuate con procedure automatizzate basate su strumentazione specifica (sistema TASL) ed elaborate con SW specifici.

4.3. Coinvolgimento delle Amministrazioni Comunali interessate e formazione dei tecnici delegati

L'individuazione delle famiglie campione che accetteranno di partecipare alla campagna di misura del radon nelle abitazioni (radon indoor) in Sardegna rappresenta un aspetto critico nello sviluppo del progetto.

Perché il progetto possa svilupparsi ed abbia una buona accettazione la popolazione tutta e le comunità locali devono essere informate e coinvolte in modo opportuno. Pertanto si ritiene che il progetto non possa fare a meno del coinvolgimento dei referenti istituzionali locali (Sindaco, Amministrazione Comunale e Struttura tecnica del Comune). L'intermediazione e la fattiva collaborazione delle Amministrazioni locali è indispensabile per l'individuazione dei residenti e delle relative abitazioni su cui eseguire le misurazioni.

Per facilitare la partecipazione dei Comuni al "Progetto Radon" si prevede il coinvolgimento dell'Associazione Nazionale Comuni Italiani della Sardegna (ANCI Sardegna).

L'ANCI farà da tramite con i comuni individuati ed in tale fase le attività che si intendono portare avanti sono le seguenti:

- Predisposizione di una lettera informativa sugli obiettivi del progetto
- Richiesta comunicazione referente comunale per progetto radon

Tali lettere saranno a firma congiunta dei diversi soggetti coinvolti (RAS-ASL-ARPAS)

Per i referenti comunali saranno organizzati dei "**Corsi Base Radon**", che forniranno informazioni sui seguenti aspetti:

- Caratteristiche chimico-fisiche del radon
- Sorgenti naturali di radioattività e del radon
- Effetti sulla salute del radon all'interno delle abitazioni
- Tecniche di misura del radon
- Cenni normativa di riferimento
- Presentazione "Progetto Radon Sardegna"
- Ruolo del Referente comunale a supporto dello sviluppo del progetto
- Modalità di sviluppo del Progetto
- Indicazioni generali per le modalità di individuazione degli edifici oggetto di misurazione
- Consegna "Pieghevole di informazione generale sul radon" da consegnare alle famiglie coinvolte in fase di accettazione.

I corsi saranno organizzati su base territoriale provinciale e sulla base delle distanze e del numero dei comuni saranno organizzati 1-2 eventi per Provincia. Il Corso base avrà una durata media di 3 ore per evento, concentrati in un lasso di tempo di 2-3 settimane.

La distribuzione dei dosimetri potrà essere portata avanti dai Referenti Comunali in collaborazione con l'ANCI e/o eventualmente da altre strutture individuate da ARPAS nel caso si rendesse necessario.

4.4. Distribuzione e ritiro dei rilevatori radon

La distribuzione dei dosimetri presso gli edifici selezionati dovrà avvenire nel tempo più breve possibile, per evitare di prolungare eccessivamente la durata della campagna di indagine e per cercare di rispettare la suddivisione stagionale semestrale standard (primavera-estate/autunno-inverno o viceversa), peculiare per questo tipo di indagine.

Il soggetto a cui sarà affidato il compito di consegna e ritiro dei dosimetri di misura sarà individuato da ARPAS. Il soggetto avrà le dovute capacità organizzative e tecniche funzionali all'esecuzione del Progetto Radon.

Al momento della consegna dei dosimetri dovranno essere fornite alla famiglia ospitante le informazioni sui tempi del progetto e le informazioni di base sul radon e sulla modalità di gestione del dosimetro finalizzata alla buona riuscita del progetto.

Schema riassuntivo dell'indagine

Numero Comuni	Numero Abitazioni	Dosimetri per Abitazione	Numero Scuole	Dosimetri per Scuola	SubTotale Misure	Semestri	Totale Misure
184	1.511	1	250	1	1.761	2	3.522

Popolazione Area Comuni campione	N° Edifici Area Comuni campione	Comuni CA	Comuni CI	Comuni NU	Comuni OG	Comuni OR	Comuni OT	Comuni SS	Comuni VS	Totale Comuni
1.128.000	332.000	34	10	33	15	34	21	32	14	193

4.5. Elaborazione e restituzione dati rilevatori radon

Per la gestione e l'elaborazione dei dati acquisiti saranno eseguite le seguenti attività:

- a) Progettazione Data Base Alfanumerico e del GIS cartografico
- b) Individuazione del SW elaborazione dati
- c) Caricamento dati (post 1° e 2° semestre)
- d) Elaborazione dati alfanumerica e cartografica (post 1° e 2° semestre)
- e) Predisposizione Report 1° semestre
- f) Predisposizione Report Finale

Il Report 1° Semestre fornirà informazioni sulle diverse attività finalizzate alla individuazione degli edifici di riferimento su ogni Sezione/Comune e fornirà un'analisi preliminare dei risultati **su un campione rappresentativo della Campagna di misura del radon nelle abitazioni (radon indoor) in Sardegna 2017. Le elaborazioni relative ai risultati delle misurazioni nelle scuole saranno riportate in modo complessivo nel Report Finale.**

Le elaborazioni statistiche dei dati alfanumerici comprenderanno elaborazioni di tipo statistico di base e di tipo geostatistico, che saranno funzionali al raggiungimento degli obiettivi dell'indagine.

Per ciascuna unità territoriale verranno prodotte elaborazioni di statistica descrittiva comprendenti valore media aritmetica, media geometrica, medianma, minimo, massimo. deviazione standard, livelli percentili e percentuali di valori che superano i livelli di riferimento nonché ulteriori elaborazioni statistiche di tipo più generale (studio delle distribuzioni etc.).

Le rappresentazioni cartografiche, derivate dall'elaborazione dei dati alfanumerici, saranno predisposte su una scala di riferimento 1:200.000, nel caso si rinverano situazioni particolari potranno essere predisposte cartografie in scala maggiore.

I report conterranno le informazioni sulla modalità di esecuzione delle indagini, sulle modalità di elaborazione dei dati alfanumerici e cartografici, tabelle di sintesi sui risultati raggiunti con commenti esplicativi supportati da rappresentazioni cartografiche.

CRITERI PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE AREE

La classificazione delle aree sarà effettuata a seguito dell'individuazione dei valori di riferimento per la concentrazione di radon indoor, derivanti dalla normativa vigente e da quanto eventualmente verrà definito sulla base del recepimento della Direttiva 59/2013/Euratom precedentemente citata.

Per calcolare la percentuale di abitazioni che superano un determinato livello di riferimento si deve costruire, in ogni cella del reticolo o per ciascuna unità territoriale, la funzione deviata normale standardizzata Z , definita come:

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

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

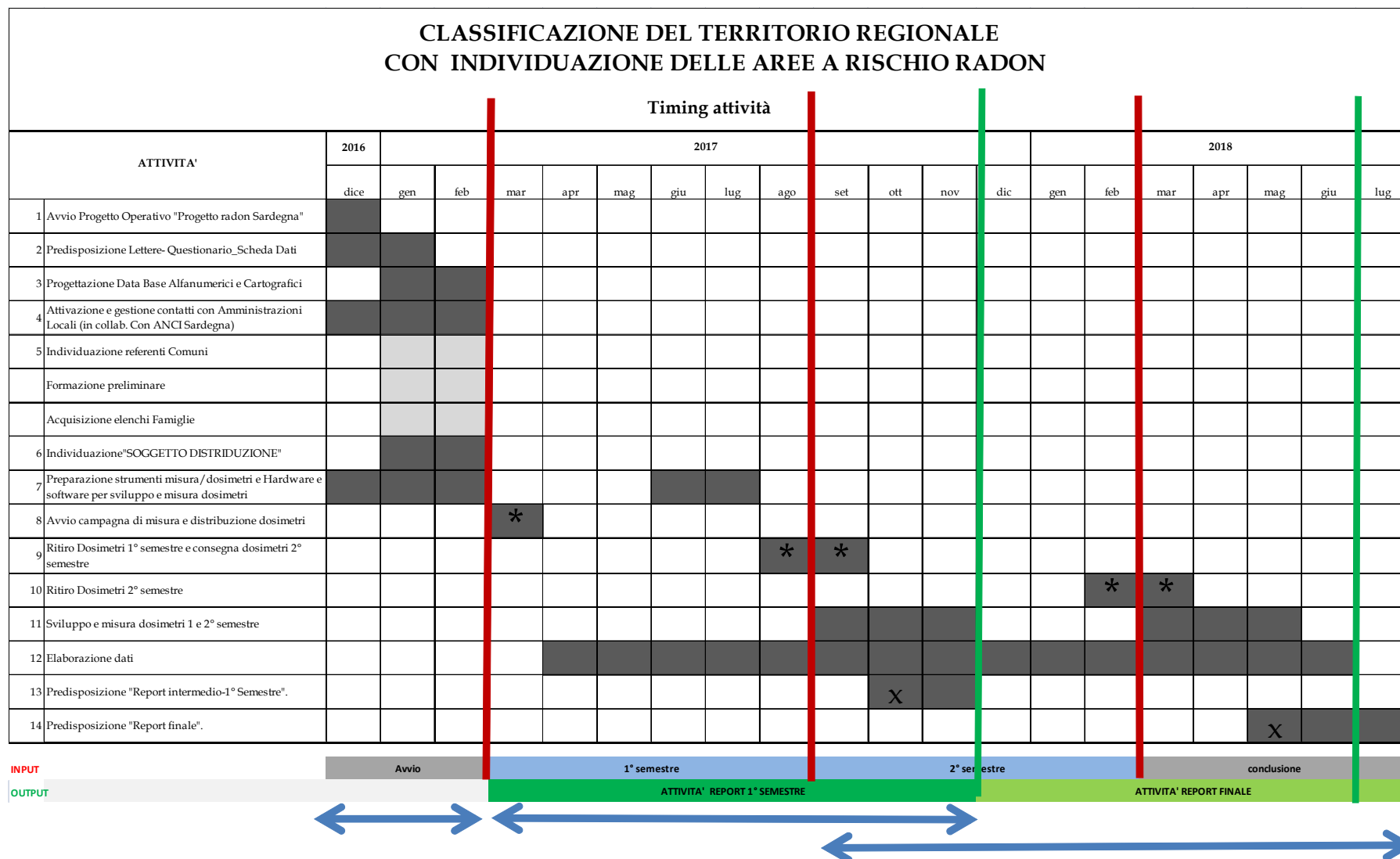
I risultati delle elaborazioni saranno riferiti ai limiti amministrativi comunali, classi geolitologiche e Sezioni CTR 1/10.000

5. CRONOPROGRAMMA DELLE ATTIVITÀ

Di seguito si riporta un tabella schematica, che individua le fasi principali del progetto con i relativi termini temporali per la loro realizzazione.

Il tempo complessivo per la realizzazione del progetto è stimata in circa 20 mesi.

Progetto "Classificazione del Territorio Regionale con individuazione delle Aree a rischio radon"



6. BIBLIOGRAFIA

Angelone M. et Al. : Fluid geochemistry of the Sardinian Rift-Campidano Graben (Sardinia, Italy): fault segmentation, seismic quiescence of geochemically "active" faults, and new constraints for selection of CO₂ storage sites. *Applied Geochemistry* 20 (2005) 317–340

APAT- Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici : Linee guida per le misure di radon in ambienti residenziali.

Appleton J. D. : Radon: sources, health risks and hazard mapping

Appleton J. D. et al. : A Statistical Evaluation of the Geogenic Controls on Indoor Radon Concentrations and Radon Risk . *J Environ Radioact* 101 (10), 799-803. 2009 Jul 03.

Appleton J. D. et al. : Geological controls on radon potential in Northern Ireland . *Proceedings of the Geologists Association* 126(3) · June 2015

Appleton J. D. et Al.: Comparison of Northern Ireland radon maps based on indoor radon measurements and geology with maps derived by predictive modelling of airborne radiometric and ground permeability data.

ARPA Piemonte: La mappatura del radon in Piemonte.

ARPA Veneto: Indagine Regionale per l'individuazione delle aree ad alto radon nel territorio del Veneto. 2000

Ball K. : The role of house surveys in geological radon potential mapping . http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/29/009/29009839.pdf

Bellottia E. et Al.: Gamma-ray Spectrometry of Soil Samples from the Provincia dell'Aquila (Central Italy). INFN - Laboratori Nazionali del Gran Sasso Published by SIS-Pubblicazioni 2006

Bezzo G.P. et Al.: Preliminary Results for the Characterization of the Radiological Levels of Rocks in Tuscany Region

Bezzon G.P. et Al : Preliminary results for the characterization of the radiological levels of rocks in Tuscany Region

Borgoni R. : A Geostatistical Approach to Assess the Spatial Association between Indoor Radon Concentration, Geological Features and Building Characteristics: The Case of Lombardy, Northern Italy. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2011, 8, 1420-1440; doi:10.3390/ijerph8051420

Borgoni R. : RADON IN LOMBARDIA: DAI VALORI DI CONCENTRAZIONE INDOOR

Carmignani L. et Al. : Geologia della Sardegna-Note illustrative della carta geologica della Sardegna in scala 1:200.000. Servizio geologico - IPZS 2001

Carmignani L. et Al.: La geologia della Sardegna. *Geol.F.Trips*, Vol.4 No.2.2 (2012), 104 pp., 64 figs. (DOI 10.3301/GFT.2012.04)

De Vivo B. et Al.: Baseline geochemical mapping of Sardinia (Italy). *Journal of Geochemical Exploration* 60 (1997) 77-90

Drolet J. P. : An approach to define potential radon emission level maps using indoor radon concentration measurements and radiogeochemical data positive proportion relationships. *Journal of Environmental Radioactivity* 124 (2013) 57e67

ERRICCA 2 (European Radon Research and Industry Collaboration Concerted Action European Commission): An Evaluation of Radon Mapping Techniques in Europe. March 2005

European Radon Association (ERA): Improving Awareness and reducing risk of radon exposure across Europe. <http://radoneurope.org/>

IAEA : National and Regional Surveys of Radon Concentration in Dwellings: Review of Methodology and Measurement Techniques. www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10646/National-and-Regional-Surveys-of-Radon-Concentration-in-Dwellings-Review-of-Methodology-and-Measurement-Techniques

IAEA : National and Regional Surveys of Radon Concentration in Dwellings: Review of Methodology and Measurement Techniques. www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10646/National-and-Regional-Surveys-of-Radon-Concentration-in-Dwellings-Review-of-Methodology-and-Measurement-Techniques

IAEA-TECDOC-1363 (2003) - Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data.

Ielsch G. : Estimation and mapping of uranium content of geological units in France. Journal of Environmental Radioactivity · June 2016

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale : Linee guida per il monitoraggio della radioattività. N° 83/2012 4/2004

ISPRA-ARPA Lazio: Il monitoraggio del gas radon nel Lazio. 2013

Istituto Superiore della sanità (ISS): Il radon e il Piano Nazionale Radon (PNR). <http://www.iss.it/radon/index.php?lang=1>

Istituto Superiore della sanità (ISS): Quanto radon c'è in Italia e come si misura. <http://www.iss.it/radon/index.php?lang=1>

Kaçeli Xhixha M. : New gamma-ray spectrometry methods for estimating K, U, Th concentrations in rocks of the Sardinia Batholith. (Tesi dottorato) University of Sassari - Ph.D. School in Natural Science - XXVI cycle- 2013

Kaçeli Xhixha M. : Uranium distribution in the Variscan Basement of Northeastern Sardinia. Journal of Maps, 2015

Miles J.C. et al. : Mapping Variation in Radon Potential Both Between and Within Geological Units. J Radiol Prot 25 (3), 257-276. 2005 Sep 06.

Minissale A. et Al.: The origin of natural gas emissions from Sardinia island, Italy. Geochemical Journal, Vol. 33, pp. 1 to 12, 1999

Misurati : Un approccio geostatistico all'individuazione dei comuni con elevata probabilità di alte concentrazioni. . AIRP – Convegno Nazionale di Radioprotezione: Sicurezza e qualità in radioprotezione 2007. ISBN 88-88648-06-2

Nissi E. et Al.: Radon Level in Dwellings and Uranium Content in Soil in the Abruzzo Region: A Preliminary Investigation by Geographically Weighted Regression.

Pasculli A. : A modelling methodology for the analysis of radon potential based on environmental geology and geographically weighted regression. Environmental Modelling & Software 54 (2014) 165e181

Pasculli A. : Radon Mapping in Abruzzo, Italy. <https://www.researchgate.net/publication/265395749>

Pegoretti S. : La Distribuzione del gas Radon Indoor - Analisi con Moderne Tecniche Statistiche (Tesi Dottorato). Università degli Studi di Trento- Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali Scuola di Dottorato in Fisica XXI ciclo – AA 2007-2008

Progetto Cluster : Sardegna Ricerche & Dipartimento di Fisica- Università degli studi di Cagliari. Radioattività naturale nei materiali da costruzione.

Puccini A. et Al.: Employment of portable gamma-ray spectrometer in survey and mapping of intrusive complexes: a case study from the Buddusù pluton (Sardinia).

Puccini A. et Al.: Radiological characterization of granitoid outcrops and dimension stones of the Variscan Corsica-Sardinia Batholith. *Environ Earth Sci* (2014) 71:393–405

Puccini A. : Radiometric methods in geological reconstruction, in the prospecting of georesources and evaluation of hazard. 2011 University of Sassari Ph.D. School In Natural Science -XXIV cycle-2011

Puccini A. et Al.: Natural radioactivity in Sardinian granite dimension stones.

Salis A.: La prevenzione delle radiazioni ionizzanti nella comunità. Rilevazioni di Radon in aule scolastiche della provincia di Nuoro (Tesi Dottorato) .Università degli Studi di Sassari – Corso di laurea in Tecniche della prevenzione nell'ambiente e nei luoghi di lavoro.

Scheib C. : Geological controls on radon potential in Scotland . *Scottish Journal of Geology* 45(2):147-160 · November 2009

Servizio Sanitario Regione Emilia Romagna: Il radon ambientale in Emilia-Romagna. 2007

Steck D. J. : Residential radon risk assessment - How well is it working in a high radon region?

Strati V. et Al : Studio preliminare del contenuto di radioattività delle principali formazioni rocciose delle aree alpine, prealpine e collinari della regione Veneto. Mus. civ. Rovereto Atti del Workshop in geofisica 14.12.2012. 2013

Talavera M. G. : Mapping radon-prone areas using α -radiation dose rate and geological information. *J. Radiol. Prot.* 33 (2013) 605–620

UNIFE: ITALRAD - Italian Radioactivity Project (Toscana, Veneto e Sardegna). <http://www.fe.infn.it/italrad/index.html>

Zhu HC et al. : Geological Controls to the Indoor Radon Distribution in Southern Belgium. *Sci Total Environ* 220 (2-3), 195-214. 1998 Sep 18.



**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 Generale
Servizio Supporti direzionali
Ufficio Comunicazione istituzionale, URP, Educazione ambientale

REFERTA DI AVVENUTA PUBBLICAZIONE

Determinazione del Direttore Generale n. 122 del 09 dicembre 2016.

Si certifica che la Determinazione 122/2016 DG trovasi in corso di pubblicazione nell'Albo pretorio on line ARPAS per quindici giorni consecutivi da martedì 13 dicembre 2016 a mercoledì 28 dicembre 2016.

Si certifica che l'Atto è conforme all'originale custodito negli Archivi dell'Agenzia.

per Il Responsabile

f.to Mauro Iacuzzi