REGIONE TOSCANA
UFFICI REGIONALI GIUNTA REGIONALE

ESTRATTO DEL VERBALE DELLA SEDUTA DEL 23/12/2024 *(punto N 44)*

Delibera *N 1579* *del 23/12/2024*

Proponente
SIMONE BEZZINI
MONIA MONNI
DIREZIONE TUTELA DELL'AMBIENTE ED ENERGIA

Pubblicità / Pubblicazione *Atto pubblicato su BURT e Banca Dati (PBURT/PBD)*
Dirigente Responsabile *David TEI*
Direttore *Andrea RAFANELLI*
Oggetto:
Individuazione delle aree prioritarie a rischio radon ai sensi dell'art.11 del D.Lgs 101/2020

Presenti

Eugenio GIANI	Stefania SACCARDI	Stefano BACCELLI
Simone BEZZINI	Stefano CIUOFFO	Leonardo MARRAS
Monia MONNI	Alessandra NARDINI	Serena SPINELLI

ALLEGATI N°1

ALLEGATI

Denominazione	*Pubblicazione*	*Riferimento*
A_	Si	Allegato A

STRUTTURE INTERESSATE

Denominazione
DIREZIONE SANITA', WELFARE E COESIONE SOCIALE
DIREZIONE TUTELA DELL'AMBIENTE ED ENERGIA

Allegati n. 1

*A_* *Allegato A*

a37e6b74fc9127ee534fabfdb1966ce298f273d9d3efea4b4beed10366187de3

LA GIUNTA REGIONALE

Premesso che la Direttiva 2013/59/Euratom, in sostituzione delle precedenti Direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom, ridefinisce le norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti;

Visto l'articolo 103 della Direttiva 2013/59/Euratom che prevede che gli Stati membri devono:

- "*definire 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*";
- *"adottare misure appropriate per prevenire l'ingresso del radon in nuovi edifici e che tali misure possono comportare l'introduzione di prescrizioni specifiche nelle norme edilizie nazionali"*
- *"individuare 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"*

Richiamato il Decreto Legislativo 31 luglio 2020, n. 101 (Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom) e in particolare:

- l'articolo 10, contenente indicazioni per la redazione del Piano nazionale d'azione per il radon e in particolare il comma 1 che sancisce che entro dodici mesi dalla data della sua entrata in vigore, con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, su proposta dei Ministri dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare e della salute, di concerto con i Ministri dello sviluppo economico, del lavoro e delle politiche sociali e delle infrastrutture e dei trasporti, d'intesa con la Conferenza Stato-Regioni, sentito l'ISIN e l'Istituto superiore di sanità (ISS), venga adottato il Piano nazionale d'azione per il radon, concernente i rischi di lungo termine dovuti all'esposizione al radon; al comma 2, lettera b), è precisato altresì che il suddetto Piano individua tra l'altro i criteri per la classificazione delle zone in cui si prevede che la concentrazione di radon come media annua superi il livello di riferimento nazionale in un numero significativo di edifici; al comma 3 è previsto infine che entro 24 mesi dalla data di entrata in vigore del Piano nazionale d'azione per il radon le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano adeguano i rispettivi ordinamenti alle indicazioni del piano;
- L'articolo 11, che contiene le indicazioni per l'individuazione, entro ventiquattro mesi dall'entrata in vigore del Piano nazionale d'azione per il radon e sulla base delle indicazioni e dei criteri tecnici ivi contenuti, delle aree prioritarie e la definizione delle priorità d'intervento per i programmi specifici di misurazione al fine della riduzione dei livelli di concentrazione al di sotto dei livelli di riferimento. Viene richiesto altresì che l'elenco delle aree venga pubblicato da ciascuna Regione e Provincia Autonoma sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana; al comma 3, prevede che nelle more dell'approvazione del Piano le Regioni sulla base di metodologie documentate, effettuino le misurazioni di radon, acquisiscano i relativi dati e individuino le aree prioritarie nelle quali la stima della percentuale di edifici che supera il livello di 300 Bq/m 3 è pari o superiore al 15 per cento, procedendo alla pubblicazione dell'elenco con le modalità di cui al comma 2. La percentuale degli edifici è determinata con indagini o misure di radon effettuate o riferite o normalizzate al piano terra;
- l'articolo 12, che fissa i livelli massimi di riferimento per le abitazioni e i luoghi di lavoro,

espressi in termini di valore medio annuo della concentrazione di attività di radon in aria;
- l'articolo 14, che richiede alle Regioni, su tutto il territorio di competenza, la promozione e l'attivazione di campagne di informazione riguardanti la misurazione della concentrazione media annua di attività di radon;
- l'articolo 19, che richiede alle Regioni, nelle aree definite prioritarie ai sensi dell'articolo 11, di promuovere campagne e azioni per incentivare i proprietari di immobili adibiti a uso abitativo, aventi locali situati al pianterreno o a un livello semi sotterraneo o sotterraneo, a provvedere a intraprendere specifici programmi di misurazione della concentrazione di radon nell'ambiente chiuso per il patrimonio di edilizia residenziale pubblica, provvedendo conseguentemente all'adozione di misure correttive. Nel caso in cui le misurazioni all'interno di abitazioni esistenti presentino una concentrazione media annua di attività di radon in aria superiore al livello di riferimento per gli edifici di nuova costruzione previsto nell'articolo 12, le Regioni e le Provincie autonome promuovono e monitorano l'adozione di misure correttive.

Richiamato il Piano Nazionale d'Azione per il Radon (PNAR) 2022-2032 adottato con DPCM 11 gennaio 2024 e pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n 43, del 21 febbraio 2024;

Ricordato che il PNAR ha validità decennale e che il suo scopo è quello di ridurre i rischi a lungo termine associati all'esposizione al gas radon;

Ricordato che il PNAR definisce i criteri di individuazione delle aree prioritarie successivi al criterio riportato all'articolo 11, comma 3, del decreto legislativo 31 luglio 2020 e che in particolare prevede:

1. dall'entrata in vigore del PNAR, il mantenimento del criterio di cui all'articolo 11, comma 3 del decreto legislativo 31 luglio 2020, n.101;
2. a partire dal VI° anno dall'entrata in vigore del PNAR, l'inclusione tra le aree prioritarie di quelle zone in cui si stima che il superamento dei livelli di riferimento avvenga in un numero di edifici superiore al 10%.

Ricordato altresì che gli obiettivi specifici di riduzione dell'esposizione al radon, da realizzarsi nell'arco di durata del PNAR, sono i seguenti:

- riduzione della concentrazione di radon nei luoghi di lavoro con concentrazione superiore ai 300 Bq/m3;
- riduzione della concentrazione di radon in almeno il 50% delle abitazioni (sia private che appartenenti al patrimonio di edilizia residenziale pubblica) ricadenti nelle aree prioritarie e in cui sia stata riscontrata una concentrazione superiore ai 200 Bq/m3, dando priorità a quelle con concentrazione superiore ai 300 Bq/m3;
- verifica che il livello di concentrazione sia inferiore ai 200 Bq/m3 nelle abitazioni costruite dopo il 31 dicembre 2024.

Richiamato il Piano Regionale della Prevenzione 2020-2025, approvato con DGR 1406 del 27/12/2021, che individua nell'ambito del Programma Predefinito 9 (PP9) "Ambiente,clima e salute" il riferimento al LEA "Tutela della collettività dal rischio radon";

Richiamato altresì il ruolo dei Dipartimenti di Prevenzione delle Aziende USL nell'attività di formazione/informazione negli ambienti di vita e di lavoro per la tutela della salute pubblica;

Richiamata la Legge Regionale 5 Novembre 2021, n. 40 (Disposizioni attuative del D.lgs 2020, n.101) e in particolare il Capo IV (Disposizioni per la protezione della popolazione dai rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti) che prevede che la Regione svolga, avvalendosi di ARPAT, le seguenti azioni:

a) individuazione delle aree prioritarie di cui all'articolo 11, comma 1, lettera a), del d.lgs 101/2020;

b) definizione delle priorità di interventi per i programmi specifici di misurazione di cui all'articolo 11, comma 1, lettera b), del d.lgs 101/2020, al fine della riduzione dei livelli di concentrazione al di sotto dei livelli di riferimento e previsione delle modalità attuative e dei tempi di realizzazione;

c) promozione di campagne di informazione riguardanti la misurazione delle concentrazioni di radon negli edifici ai sensi dell'articolo 14 del d.lgs 101/2020;

d) promozione, ai sensi dell'articolo 19, commi 1 e 3, del d.lgs 101/2020, di campagne e azioni per incentivare i proprietari degli immobili adibiti ad uso abitativo, prevalentemente nelle aree prioritarie, ad effettuare misurazioni di radon e monitoraggio delle eventuali misure correttive adottate dai proprietari stessi;

e) attuazione, ai sensi dell'articolo 19, comma 2, del d.lgs.101/2020, di programmi di misurazione del radon rivolti al patrimonio di edilizia residenziale pubblica, provvedendo all'adozione delle eventuali necessarie misure correttive.

Richiamato il Piano Ambientale ed Energetico Regionale (Paer), istituito dalla L.R. 14/2007 e approvato dal Consiglio regionale con deliberazione n.10 dell'11 febbraio 2015;

Visto che il Paer prevede, tra gli obiettivi specifici, la riduzione della percentuale di popolazione esposta all'inquinamento acustico, all'inquinamento elettromagnetico e alle radiazioni ionizzanti e all'inquinamento luminoso (Macrobiettivo C2);

Ricordato che il MASE con il Decreto 69/2023 ha istituito due specifici fondi per:

- il finanziamento di programmi specifici di misurazione della concentrazione media annua di attività di radon in aria da parte delle regioni (annualità 2023-2024-2025);
- il finanziamento di interventi di riduzione e prevenzione della concentrazione di radon indoor con l'obiettivo di assicurare l'adozione di interventi di prevenzione e riduzione della concentrazione del radon indoor e per una efficace compatibilità delle misure di efficientamento energetico con i programmi di qualità dell'aria negli ambienti chiusi e con gli interventi di prevenzione e riduzione della concentrazione di radon indoor (annualità 2023-2031);

Dato atto che dagli schemi dei decreti ministeriali sui criteri di ripartizione delle risorse, oggetto di intesa Stato-Regioni, alla Regione Toscana sono stati riconosciuti ad oggi 1.661.838,88 € (triennio 2023-2024-2025) per i programmi di misurazione e 176.470,59 € (annualità 2023) per le misure di riduzione e prevenzione;

Ritenuto che, tenendo conto dei criteri di ripartizione proposti, l'approvazione delle aree prioritarie deve avvenire entro il 31/12/2024 per incrementare, nelle annualità successive, la quota parte dei fondi necessari agli interventi di risanamento che viene prioritariamente

riconosciuta alle Regioni dotate dell'individuazione di tali aree;

Dato atto che con nota prot. n. 0381634 del 05/07/2024 il Settore regionale "Bonifiche e "siti orfani" PNRR" della Direzione Ambiente, ha chiesto ad ARPAT di dare corso a quanto stabilito all'articolo 11, comma 3, del D.lgs. 101/2020 attraverso un aggiornamento dell'attività di mappatura del radon, comunicando gli esiti delle valutazioni effettuate relativamente all'individuazione delle aree prioritarie;

Preso atto che con nota prot. n.0549043 pervenuta in data 18/10/2024 e successivamente con nota prot. n.0658746 pervenuta in data 19/12/2024, ARPAT ha trasmesso, ai sensi dell'articolo 13, comma 3, della L.R. n. 40/2021, il documento "Individuazione delle aree prioritarie", di cui all'allegato A facente parte integrante della presente deliberazione;

Rilevato che nella relazione, applicando il criterio provvisorio individuato dall'art.11, comma 3 del D.Lgs 101/2020, vengono individuate come aree prioritarie l'insieme di 11 Comuni (Abbadia San Salvatore, Arcidosso, Castel del Piano, Piancastagnaio, Pitigliano, Roccastrada, Santa Fiora, Sorano, Marciana, Marciana Marina, Isola del Giglio);

Ritenuto pertanto di approvare la relazione "Individuazione delle aree prioritarie", di cui all'allegato A facente parte integrante della presente deliberazione, quale relazione elaborata ai sensi dell'articolo 13, comma 1, della L.R. n. 40/2021 da pubblicarsi sul BURT e sulla Gazzetta Ufficiale;

Visto il parere del Comitato di Direzione espresso nella seduta del 14 Novembre 2024;

A VOTI UNANIMI

DELIBERA

- di approvare la relazione "Individuazione delle aree prioritarie" ai sensi dell'art.11 del D.Lgs 101/2020 di cui all'allegato A facente parte integrante della presente deliberazione;

- di individuare come aree prioritarie ai sensi dell'art.11, comma 3 del D.Lgs 101/2020 e in coerenza con il Piano d'Azione per il Radon (PNAR) 2022-2032, l'insieme di 11 Comuni costituito da: Abbadia San Salvatore, Arcidosso, Castel del Piano, Piancastagnaio, Pitigliano, Roccastrada, Santa Fiora, Sorano, Marciana, Marciana Marina, Isola del Giglio;

- di dare mandato, ai sensi dell'articolo 11, comma 2, del Decreto legislativo 101/2020, alla Direzione Tutela dell'Ambiente e Energia, la pubblicazione dell'elenco delle aree prioritarie, di cui alla presente deliberazione, sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana e, insieme alla soprarichiamata relazione di ARPAT, sul Bollettino Ufficiale della Regione Toscana (ai sensi dell'articolo 5 comma 1 lett. g della L.R. 23/2007) e sulla banca dati degli atti amministrativi della Giunta regionale ai sensi dell'articolo 18 comma 2 della medesima L.R. 23/2007;

- di prevedere la programmazione di nuove campagne di misurazioni a cura di ARPAT, d'intesa con la direzione Tutela dell'ambiente e Energia e della Direzione Sanita', welfare e coesione sociale, nei Comuni dove il numero di dati disponibili non è sufficiente, secondo un criterio di priorità stabilito sulla base sia dei risultati delle misure già effettuate, che sulla base di altre

informazioni e indicazioni anche fornite dagli enti centrali e SNPA;

- di aggiornare l'elenco dei Comuni ricadenti in area prioritaria sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, ogni volta che il risultato di nuove indagini o una modifica dei criteri lo renda necessario, a norma dell'articolo 11 comma 3 del d.lgs 101/2020 e in coerenza con il Piano d'Azione per il Radon (PNAR) 2022-2032;

- di dare mandato alla Direzione Tutela dell'Ambiente e Energia in collaborazione con ARPAT, nelle more del trasferimento dei fondi istituiti dal MASE, di predisporre specifici programmi di misurazione finalizzati alla riduzione dei livelli di concentrazione al di sotto dei livelli di riferimento, inserendo tra le priorità i programmi di misurazione rivolti al patrimonio di edilizia residenziale pubblica e individuando, di concerto con la Direzione Politiche abitative e con i soggetti gestori dell'ERP, individuati ai sensi della LR 77/98, le relative modalità attuative e i tempi di realizzazione;

- di organizzare tramite i Dipartimenti di Prevenzione delle Aziende USL, in collaborazione con ARPAT e con la Direzione Tutela dell'ambiente e Energia, attività di formazione, informazione e comunicazione negli ambienti di vita e di lavoro per la tutela della salute dal rischio di esposizione a radon;

- di dare atto che il presente provvedimento non comporta oneri aggiuntivi per il bilancio regionale.

Il presente atto è pubblicato integralmente sul BURT ai sensi degli articoli 4, 5 e 5 bis della l.r. 23/2007 e sulla banca dati degli atti amministrativi della Giunta regionale ai sensi dell'art.18 della l.r. 23/2007.

IL SEGRETARIO DELLA GIUNTA

Il Dirigente responsabile
David Tei

Il Direttore
Andrea Rafanelli

Il Dirigente responsabile
Giovanna Bianco

Il Direttore
Federico Gelli

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

ARPAT
Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana

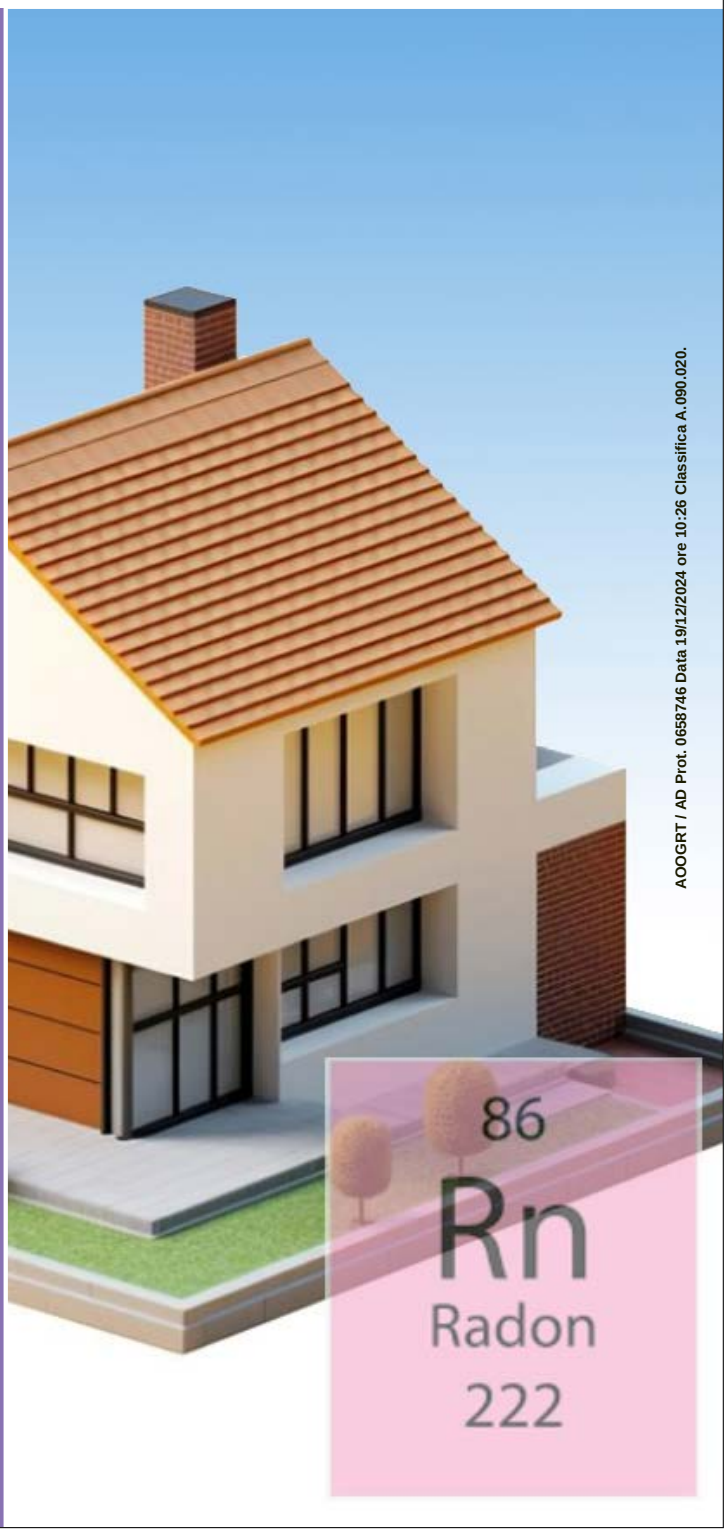
REGIONE TOSCANA

INDIVIDUAZIONE DELLE AREE PRIORITARIE IN TOSCANA

In applicazione dell'art. 11 del D.Lgs. 101/20

Anno 2024





AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

ARPAT
Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana

REGIONE TOSCANA

INDIVIDUAZIONE DELLE AREE PRIORITARIE IN TOSCANA

In applicazione dell'art. 11 del D.Lgs. 101/20

Anno 2024

Firenze, 2024

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

Individuazione delle aree prioritarie in Toscana

In applicazione dell'art. 11 del D.Lgs. 101/20

Autori:
Silvia Bucci, Gabriele Pratesi, Maria Letizia Viti

ARPAT - AREA VASTA CENTRO - Settore Laboratorio Centro - Unità operativa Radioattività e amianto

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

Copertina e editing: ARPAT, Settore Comunicazione, informazione e documentazione

CC BY NC SA

Firenze, dicembre 2024

Sommario

Introduzione 5

1. **Il radon cos'è** 5
2. **I rischi per la salute connessi all'esposizione al radon** 6
3. **Inquadramento geologico della Regione Toscana** 8
4. **I dati disponibili per l'individuazione delle aree prioritarie** 9
5. **L'elaborazione dei dati: metodi e risultati** 12
6. **L'individuazione dei Comuni in area prioritaria** 17

Bibliografia 19

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

Introduzione

Le aree prioritarie sono le zone dove si stima che la concentrazione media annua di radon in aria superi il livello di riferimento in un numero significativo di edifici. L'individuazione delle aree deve essere effettuata dalle Regioni e Province Autonome, sulla base delle indicazioni contenute nel Piano Nazionale di Azione per il Radon (PNAR), per stabilire le priorità di intervento nelle strategie per la riduzione progressiva dell'esposizione al radon.

Indipendentemente dai contenuti del PNAR riguardo alle metodologie per svolgere le indagini finalizzate all'individuazione delle aree prioritarie, le Regioni che hanno già a disposizione dati di concentrazione di radon negli edifici possono individuare le aree prioritarie [1-3] utilizzando un criterio provvisorio, come definito all'art. 11, comma 3, del D.Lgs. 101/20, ovvero identificando le zone *nelle quali la stima della percentuale di edifici che supera il livello di riferimento di 300* Bq/m^3 *è pari o superiore al 15%* [4]. La percentuale di edifici deve essere determinata sulla base di indagini o misure di radon effettuate o riferite al piano terra.

Questa relazione, elaborata da ARPAT come previsto dall'art. 13 della Legge Regionale n. 40/2021, costituisce dunque la base conoscitiva per la prima individuazione delle aree prioritarie in Toscana ai sensi della normativa più recente, in quanto la Regione Toscana aveva già effettuato in passato una individuazione con la DGRT 1019/2012.

1. Il radon cos'è

Il radon è un gas nobile radioattivo, inodore ed incolore, prodotto dal decadimento radioattivo del radio, che a sua volta proviene dall'uranio. Uranio, radio e radon sono sostanze radioattive presenti nella crosta terrestre; il radon esce continuamente dal suolo e dalle rocce disperdendosi all'aria aperta, ma si può accumulare negli ambienti chiusi, dove entra attraverso fessure a causa della piccola differenza di pressione e temperatura fra l'esterno e l'interno. Il radon è quindi presente a livelli di concentrazione molto variabili nell'aria interna di tutti gli edifici, provenendo principalmente dal suolo e, in misura minore, dai materiali di costruzione dell'edificio. Anche l'acqua proveniente da pozzi può talvolta costituire un'ulteriore sorgente di radon indoor (Figura 1.1).

La concentrazione di radon nell'aria interna agli edifici dipende principalmente dalle loro caratteristiche strutturali, e in particolare dall'interfaccia tra edificio e suolo.

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

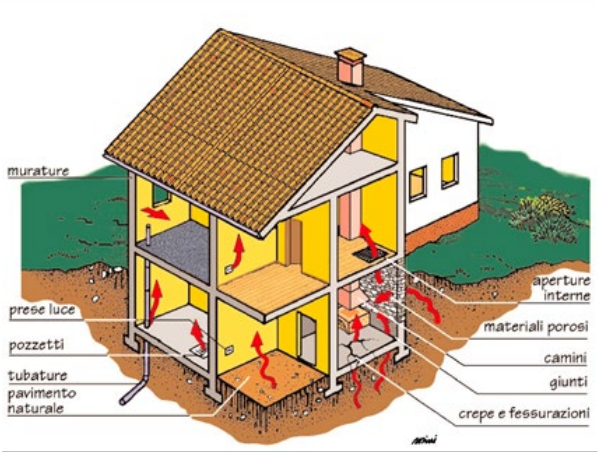


Figura 1.1 – Vie di ingresso del radon negli edifici.

Il suo isotopo più diffuso è il ^{222}Rn che decade nel giro di pochi giorni (dimezza la sua concentrazione in 3.8 giorni), emettendo radiazioni ionizzanti di tipo alfa e formando i cosiddetti "prodotti di decadimento del radon" o "figli del radon", tra cui il ^{218}Po e il ^{214}Po che emettono anch'essi radiazioni alfa e contribuiscono all'esposizione e a danneggiare i tessuti polmonari [5].

L'unità di misura della concentrazione di radon, secondo il Sistema di Unità Internazionale (SI) è espressa in Bq/m^3 (Becquerel per metro cubo), dove il Becquerel indica il numero di disintegrazioni al secondo di una sostanza radioattiva.

La concentrazione di radon all'aperto tipicamente è compresa tra pochi Bq/m^3 e poche decine di Bq/m^3, grazie alla diluizione dell'aria; al contrario, nei luoghi chiusi come case, uffici e scuole la concentrazione è mediamente superiore all'esterno e può arrivare anche a valori molto elevati, da poche centinaia a molte migliaia di Bq/m^3.

2. I rischi per la salute connessi all'esposizione al radon

Il radon è stato classificato nel 1988 dall'OMS, attraverso la International Agency for Research on Cancer (IARC), fra i fattori di rischio cancerogeni per il polmone del Gruppo I, di cui fanno parte le sostanze per cui sono disponibili evidenze forti della cancerogenicità e sono considerati cancerogeni certi, ovvero sulla base di studi epidemiologici condotti sugli esseri umani. Attualmente la lista del Gruppo 1 comprende 129 sostanze [6].

Sono stati condotti molti studi volti a identificare altri effetti sulla salute connessi all'esposizione di radon, come ad esempio l'incremento del rischio di leucemia [7], ma ad oggi non sono stati accertati altri effetti oltre all'aumento di rischio di tumore polmonare.

Per rendere più facilmente fruibili i contenuti di questo paragrafo, una sintesi dei principali risultati degli studi epidemiologici è presentata nel seguito sotto forma di FAQ, nella Tabella 2.1.

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

Domanda	Risposta
Il rischio di tumore polmonare è evidente solo per i livelli elevati di esposizione?	NO, il rischio risulta proporzionale al livello di radon, ovvero la relazione dose-risposta è lineare. Ci sono evidenze epidemiologiche anche per esposizioni continuative a livelli medi inferiori a 200 Bq/m^3
C'è una soglia al di sotto della quale il rischio di tumore polmonare è nullo?	NO, non ci sono evidenze di una soglia di sicurezza, né da studi epidemiologici né radiobiologici. Ovviamente ai livelli più bassi di esposizione le stime del rischio sono affette da maggiore incertezza
Il rischio di tumore polmonare è evidente solo per i fumatori?	NO, il rischio risulta evidente anche per i non fumatori e gli ex fumatori. Il rischio assoluto è circa 20 volte più alto per chi fuma un pacchetto al giorno
Quanti sono i casi di tumore polmonare attribuibili al radon in Italia?	L'ISS ha stimato che circa il 10% dei casi di tumore polmonare in Italia (circa 3400 ogni anno, di cui 900 solo in Lombardia) sia attribuibile all'esposizione al radon Di questi, circa i 4/5 sono attesi fra i fumatori per l'effetto combinato fra radon e fumo
Come ridurre i tumori polmonari da esposizione al radon?	Per ridurre il numero di tumori polmonari da radon bisogna: ➢ ridurre/prevenire l'ingresso del radon nel maggior numero possibile di edifici ➢ ridurre/prevenire il fumo nel maggior numero di persone possibile È necessario intervenire sulle abitazioni e edifici esistenti, dando priorità ai livelli medio-alti, e in tutte le abitazioni di futura costruzione Nelle aree prioritarie sono previsti adempimenti per la tutela dei lavoratori e interventi anche nelle abitazioni.

Tabella 2.1. Principali risultati degli studi epidemiologici, presentata sotto forma di FAQ.

Informazioni più specifiche su questo argomento sono disponibili sul sito dell'Istituto Superiore di Sanità; le stime più recenti del rischio di tumore polmonare per l'Italia e nel mondo sono rintracciabili nel lavoro dell'Istituto Superiore di Sanità [8], dove si mostra come la frazione di morti per tumore polmonare attribuibili all'esposizione al radon in Italia è circa il 10% del totale, con valori regionali che variano dal 4% al 16%. Inoltre, la maggior parte dei tumori polmonari attribuibili all'esposizione al radon si verifica tra fumatori di entrambi i sessi, in particolare il 72% negli uomini e il 60% nelle donne a livello nazionale, per un totale di 3366 casi all'anno.

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

3. Inquadramento geologico della Regione Toscana

Da un punto di vista sia morfologico che geolitologico la Toscana presenta caratteristiche molto articolate che rendono difficile una schematizzazione della regione in aree omogenee sufficientemente estese come mostrato in Figura 3.1.

A zone montuose e collinari si alternano infatti bacini intermontani e pianure di diversa grandezza. Da un punto di vista geologico la regione è caratterizzata dalla presenza di formazioni[1] di tipo prevalentemente sedimentario e, in misura minore, di tipo magmatico e metamorfico.

La complessità geologica del territorio non consente quindi di determinare a priori e in maniera semplice una correlazione tra la posizione geografica degli edifici e i livelli medi di radon indoor; tuttavia, un'analisi a posteriori della correlazione fra le formazioni geolitologiche e i dati di concentrazione di radon permette di identificare le aree di maggiore interesse per il rischio di elevata esposizione al radon.

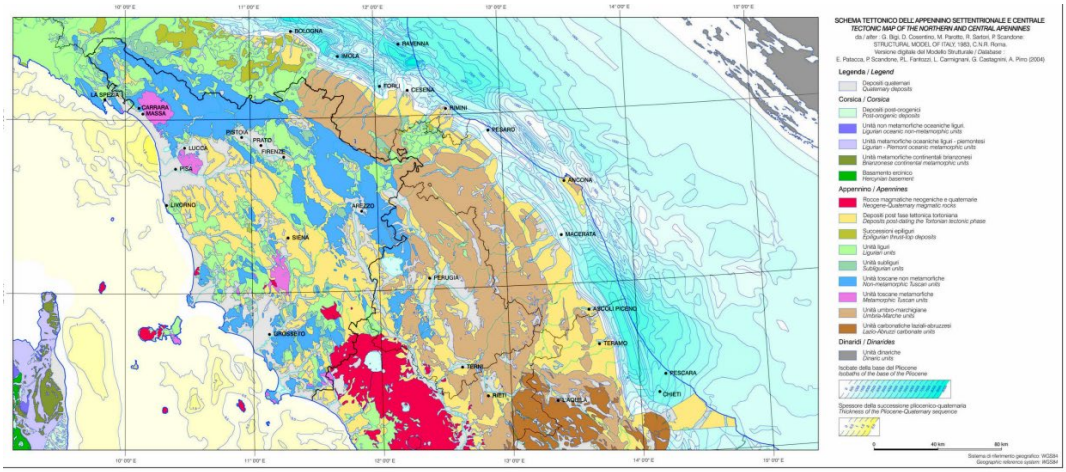


Figura 3.1 Schema tettonico dell'Appennino Centrale [9, 10].

Il potenziale di emanazione di radon di un suolo o una roccia dipende infatti da numerosi fattori, quali la composizione mineralogica, la dimensione dei granuli e dei pori, la presenza di fratture, la circolazione di acqua o di altri fluidi; la combinazione di tali fattori (non conosciuti ad un livello di dettaglio adeguato per quanto riguarda il radon) è pertanto molto variabile e molto complessa da valutare a priori e il suo potere predittivo limitato, motivo per cui è certamente preferibile e meno oneroso procedere a determinare i livelli di radon mediante la misura diretta della concentrazione nei singoli edifici.

I dati di letteratura sono però in accordo nello stabilire che le rocce magmatiche acide hanno un potenziale di emanazione di radon di norma alto, a causa dell'elevato contenuto di minerali contenenti ^{238}U e ^{226}Ra. Per quanto riguarda le rocce sedimentarie e metamorfiche, che sono caratterizzate da un contenuto relativamente basso di ^{238}U e ^{226}Ra, è più difficile definire in modo univoco un potenziale di emanazione

[1] Si definisce formazione un corpo roccioso a litologia uniforme o uniformemente alternante formatosi con continuità in uno stesso ambiente; deve essere cartografabile in superficie e tracciabile nel sottosuolo alla scala del lavoro. C.N.R. (1991) Atti 1° Convegno sulla cartografia geologica nazionale. C.N.R., Roma, Italia.

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

di radon, poiché questo dipende maggiormente dalla natura litologica dei clasti (o granuli), dalla permeabilità, dalla fratturazione, dallo stato di alterazione della roccia [11].

In Toscana gli edifici con i livelli medi di radon più elevati sono ubicati in aree in cui affiorano rocce magmatiche a chimismo acido, quali le Rocce magmatiche ed epiclastiche dell'Arcipelago Toscano e le Rocce magmatiche ed epiclastiche del Monte Amiata, e dell'area Bolsena-Latera; queste zone nel loro complesso rappresentano una porzione di territorio non particolarmente ampia e a bassa densità di popolazione residente.

Le formazioni, come i depositi alluvionali, che danno luogo a morfologie pianeggianti, in cui risiede la maggior parte della popolazione della regione, presentano invece livelli medi relativamente bassi delle concentrazioni di radon indoor.

La sovrapposizione della carta geologica con la superficie urbanizzata dei comuni consente in linea di principio di individuarne alcuni con una presenza nettamente prevalente delle formazioni in questione, nelle quali indirizzare eventuali campagne di approfondimento.

In sintesi, dall'insieme delle valutazioni effettuate nel corso di varie indagini, la correlazione radon-geologia costituisce una importante integrazione al quadro conoscitivo generale per l'individuazione delle aree prioritarie e la pianificazione delle nuove indagini, ma non è sufficiente da sola a spiegare la complessità del fenomeno/il comportamento della variabile che, come è noto, dipende da una complessa combinazione di fattori, solo in parte legati alla natura del substrato, oppure dipendenti da fattori quali permeabilità e fratturazione che anche all'interno di una formazione geologica hanno una variabilità e discontinuità su scala spaziale piccola.

Attualmente il compito di elaborare indicatori e mappe per orientare le indagini su base geolitologica e analizzarne i risultati, utilizzando criteri omogenei in Italia, è stato affidato dal MASE a ISPRA, come previsto dall'Azione 1.2 del Piano Nazionale di Azione per il Radon.

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

4. I dati disponibili per l'individuazione delle aree prioritarie

Le informazioni disponibili allo stato attuale per l'individuazione delle aree prioritarie sono costituite dall'insieme delle misure di concentrazione di radon indoor effettuate nel corso di diverse indagini campionarie realizzate da ARPAT in Toscana, a partire da quella nazionale del 1989-1991, fino a quella regionale più estesa del 2007-2010 che, a differenza delle precedenti, ha coinvolto anche i luoghi di lavoro, che costituisce l'unico caso in Italia.

La numerosità dei comuni coinvolti e degli edifici misurati, distinti per tipologia, è mostrata nella Tabella 4.1.

Indagine	Area geografica	Periodo	Tipologia edificio	Numero Comuni	Numero edifici	Numero locali
Nazionale	Toscana	1989-1996	abitazioni	10	308	308
Regionale	Aree geotermiche	1992-1994	abitazioni	15	132	132
Regionale	Toscana	2007-2010	abitazioni	273	1965	4225
Regionale	Toscana	2007-2010	luoghi di lavoro	212	1290	3578

Tabella 4.1 Misure di concentrazione di radon in aria effettuate nel corso di diverse indagini campionarie realizzate da ARPAT in Toscana.

Alle indagini riportate in Tabella 4.1 vanno aggiunte le misure di radon negli edifici scolastici, che hanno interessato scuole che vanno da asili a scuole medie superiori, nel contesto di indagini campionarie differenti, e non hanno avuto pertanto il livello di sistematicità sul territorio tale da poter essere considerate ai fini dell'elaborazione dei dati nel contesto dell'individuazione delle aree prioritarie.

La scelta operata dalla Regione Toscana di effettuare una indagine su tutto il territorio regionale, con un campionamento più fitto nelle zone dove si poteva prevedere un livello medio di radon più elevato sulla base delle caratteristiche geologiche, e di coinvolgere d'altro canto un gran numero di ambienti di lavoro, era motivata dal fatto che la legislazione vigente nel 2007-2012 prevedeva la regolamentazione dell'esposizione nei luoghi di lavoro, anche se la maggior parte dei paesi e delle regioni italiane ha effettuato la cosiddetta mappatura del territorio sulla base di dati rilevati solo nelle abitazioni.

I principali parametri statistici rappresentativi dei risultati delle misure effettuate nell'ambito delle indagini citate sono stati pubblicati nel Report ARPAT *Indagine regionale sulla concentrazione di radon negli ambienti di vita e di lavoro - Risultati nei Comuni della Toscana* (2010) e poi nella Delibera di Giunta n. 1019 del 26 novembre 2012 *Indagine regionale sul gas radon negli ambienti di vita e di lavoro. Individuazione delle aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon ai sensi dell'art. 10 sexies del D.Lgs. n. 230/95 e s.m.i. - Diffusione dei dati statistici per comune riassuntivi delle misurazioni effettuate*.

Dalle Tabelle A (abitazioni) e B (luoghi di lavoro) riportate in delibera appare chiaro in primo luogo come la numerosità delle misure sia molto variabile, dalle decine di unità in alcuni Comuni di maggiore interesse e nei capoluoghi di provincia, fino a poche unità nella maggior parte dei Comuni, per cui la rappresentatività dei parametri statistici della distribuzione delle concentrazioni è diversa fra i Comuni. Per una prima analisi, possiamo considerare la stima dei parametri statistici accettabile per un numero di dati non inferiore a 10 per Comune, come indicato anche nel PNAR (Appendice 1, Azione 1.2).

In secondo luogo, ma non meno rilevante, si sottolinea che il criterio per l'individuazione delle aree a elevata probabilità di alte concentrazioni di radon (così definite nella normativa precedente) utilizzato nel 2012 e non stabilito dalla normativa, era meno restrittivo dell'attuale (10% degli edifici con concentrazione superiore a 200 Bq/m^3 in confronto al 15% superiore a 300 Bq/m^3); il criterio adottato nel 2012 era infatti stato scelto in coerenza con l'approccio allora adottato in diversi paesi europei, e concordato con l'Istituto Superiore di Sanità.

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

Sempre in collaborazione con l'ISS, è stato effettuato un confronto fra i dati nelle abitazioni, nei luoghi di lavoro e nelle scuole, sulla base di una analisi statistica completata nel 2015 [12, 13, 14]. I 13 Comuni individuati come *aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon* in Toscana nella DGRT 1019/2012 sono riportati nelle Tabelle 4.2 (abitazioni) e 4.3 (luoghi di lavoro), con la numerosità del campione in funzione del piano.

Provincia	Comune	Piano Terra	Piano Primo	Piano Secondo	Piano oltre il secondo
Grosseto	Arcidosso	10	12	5	3
Grosseto	Castel del Piano	12	8	6	3
Grosseto	Isola del Giglio	7	10	4	2
Grosseto	Roccastrada	9	8	4	0
Grosseto	Pitigliano	8	11	3	0
Grosseto	Santa Fiora	14	11	4	1
Grosseto	Sorano	13	11	4	1
Livorno	Marciana	8	8	3	0
Livorno	Marciana Marina	6	6	4	0
Pisa	Montecatini Val di Cecina	8	7	5	0
Pistoia	Piteglio	15	9	0	0
Siena	Abbadia San Salvatore	8	16	12	7
Siena	Piancastagnaio	5	14	3	6

Tabella 4.2 Misure nelle abitazioni nei comuni individuati come aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon in Toscana nella DGRT 1019/2012.

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

Provincia	Comune	Piano Terra	Piano Primo	Piano Secondo	Piano oltre il secondo
Grosseto	Arcidosso	17	4	3	0
Grosseto	Castel del Piano	10	0	0	0
Grosseto	Isola del Giglio	7	0	0	0
Grosseto	Roccastrada	20	5	0	0
Grosseto	Pitigliano	24	7	0	0
Grosseto	Santa Fiora	20	6	0	0
Grosseto	Sorano	21	7	0	0
Livorno	Marciana	7	0	1	1
Livorno	Marciana Marina	12	1	0	0
Pisa	Montecatini Val di Cecina	15	1	0	0
Pistoia	Piteglio	9	0	0	0
Siena	Abbadia San Salvatore	26	3	3	0
Siena	Piancastagnaio	23	5	1	0

Tabella 4.3 Misure nei luoghi di lavoro nei comuni individuati come aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon in Toscana nella DGRT 1019/2012.

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

5. L'elaborazione dei dati: metodi e risultati

Per individuare le aree prioritarie in coerenza con il criterio stabilito dalla normativa attuale, ovvero i Comuni nei quali si stima che la percentuale di edifici che superano il livello di riferimento di 300 Bq/m^3 sia superiore al 15% sulla base di dati misurati o riferiti al piano terra, il nostro punto di partenza è stata l'analisi condotta a conclusione dell'indagine regionale nel 2012. Infatti, è chiaro che sia per la numerosità limitata del campione, sia per le percentuali stimate superiori al 10% del livello di riferimento di 200 Bq/m^3 all'epoca, i Comuni da prendere in considerazione in Toscana non possono che essere un sottoinsieme di quelli già individuati nel 2012 in Tabella 4.2 e 4.3.

La rielaborazione dei dati già disponibili è stata quindi limitata a questi Comuni; la metodologia applicata per l'analisi è stata discussa e concordata nelle sue linee generali con il Centro di radioprotezione dell'ISS.

L'analisi dei dati disponibili ha riguardato sia le abitazioni che i luoghi di lavoro e si è articolata per passi successivi nel modo seguente:

- ✓ il campione di abitazioni prese in considerazione è stato costituito selezionando le misure di concentrazione di radon media annua che sono state inviate alla banca dati ISIN nel 2021, secondo quanto previsto all'art. 13, comma 1, del D.Lgs. 101/20, a seguito di test effettuati successivamente al 2012;
- ✓ è stata valutata la numerosità dei campioni di abitazioni e luoghi di lavoro per piano, in ciascun Comune; tenendo conto di ciò, sono state scartate le misure ai piani secondo o superiori, per evitare il più possibile l'applicazione di operazioni di correzione al piano terra che possano distorcere la distribuzione statistica dei dati;
- ✓ sono state incluse solo le misure nei luoghi di lavoro che non presentano anomalie costruttive o di ventilazione, che quindi possono essere più facilmente assimilati alle abitazioni, escludendo ad esempio locali aperti oppure luoghi di lavoro dove sono presenti sistemi di circolazione di aria interna molto efficienti quali autofficine, aziende agricole, aziende edili, caseifici, ospedali e altri istituti di ricovero e cura;
- ✓ è stata verificata mediante test statistici la *bontà* (log-normalità) della distribuzione dei dati in ciascun Comune, in particolare mediante test di Shapiro-Wilks e q-qplot;
- ✓ sono stati determinati i parametri statistici rappresentativi della distribuzione dei dati in ciascun Comune (valore minimo, massimo, media, mediana, deviazione standard, 1° e 3° quartile per i dati grezzi e i logaritmi dei dati), applicando la correzione alla deviazione standard per tenere conto della numerosità limitata del campione [15]; non sono state applicate le correzioni per la sottrazione del fondo e per la variabilità annua della concentrazione di radon, avendo verificato che queste sostanzialmente si compensano;
- ✓ sono state determinate le percentuali di superamento del livello di riferimento previsto dalla normativa di 300 Bq/m^3, il criterio attualmente in vigore, e 200 Bq/m^3, il criterio che nel PNAR è previsto venga applicato dopo 5 anni;
- ✓ è stata verificata la possibilità di utilizzare insieme le misure nelle abitazioni e negli ambienti di lavoro, avendo ridotto la numerosità del campione originario rispetto al data set iniziale distribuito a tutti i piani, con un semplice test di correlazione fra le medie geometriche per ciascun Comune.

Il software di analisi statistica utilizzato è R, versione 4.2.2, scaricabile dal sito https://r-project.org.

Riguardo al confronto fra misure in ambienti di vita e di lavoro, il grafico nella Figura 5.1 mostra la correlazione fra le medie (geometriche) delle distribuzioni dei dati, correlazione che indica una buona omogeneità dei risultati fra le due tipologie di edifici, conclusione non generalizzabile dappertutto ma che

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

può essere spiegabile e quindi utilizzabile nel contesto specifico dei piccoli Comuni coinvolti con uniformi caratteristiche del territorio dal punto di vista geolitologico.

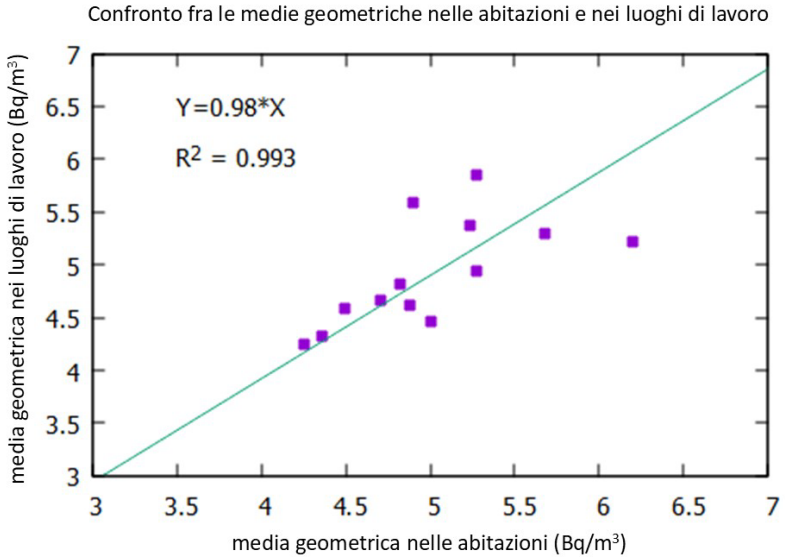


Figura 5.1 correlazione fra le medie (geometriche) delle distribuzioni dei dati nelle abitazioni e luoghi di lavoro.

La prima analisi è stata effettuata utilizzando soltanto i dati al piano terra delle abitazioni e dei luoghi di lavoro, al fine di evitare l'applicazione di fattori correttivi che forniscono valori di concentrazione di radon risultato di operazioni matematiche e non direttamente misurati. La percentuale di superamento P% > LR(300) per ciascun comune così ottenuta è riportata nella tabella seguente, considerando insieme sia le abitazioni che i luoghi di lavoro, oppure abitazioni e luoghi di lavoro corretti per la numerosità del campione, o infine solo le abitazioni e solo i luoghi di lavoro.

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

Comune	P% > LR(300)			
	Ab+LL	Ab+ LL *	Ab	LL
Abbadia San Salvatore	26.1 (34)	26.3	34.7 (8)	23.8 (26)
Arcidosso	21.7 (27)	21.9	11.1 (10)	22 (17)
Castel del Piano	12.2 (22)	12.4	15.7 (12)	8.5 (10)
Piancastagnaio	38.4 (28)	38.5	81.3 (5)	32.4 (23)
Pitigliano	34.8 (32)	35.0	23.0 (8)	37.5 (24)
Roccastrada	13.1 (29)	13.3	5 (9)	16 (20)
Santa Fiora	40.0 (34)	40.0	48.9 (14)	35.2 (20)
Sorano	55.2 (34)	55.2	51 (13)	57.1 (21)
Marciana	28.6 (15)	29.0	12.3 (8)	45.1 (7)
Marciana Marina	19.4 (18)	19.8	20.3 (6)	20 (12)
Isola del Giglio	19.3 (14)	19.8	23.2 (7)	17.3 (7)
Piteglio	4.9 (24)	5.1	7.4 (15)	1.8 (9)
Montecatini Val di Cecina	23.8 (23)	24.0	26.1 (8)	23.0 (15)
Montecatini Val di Cecina (esclusi dati > 4000 Bq/m^3)	6.8 (21)	7.1	2.0 (7)	10.2 (14)

Tabella 5.2 Riepilogo delle percentuali di superamento del livello di riferimento. La colonna AB+LL rappresenta la percentuale di superamento dopo la correzione per la numerosità del campione. I dati sono soltanto quelli al piano terra. Il numero tra parentesi indica la numerosità del campione.*

Il Comune di Piteglio presenta una percentuale di superamento del LR nettamente inferiore al 15%, sia nelle abitazioni che negli ambienti di lavoro, per cui si propone che non venga incluso fra le aree prioritarie.

I Comuni di Castel del Piano e Roccastrada presentano una percentuale di superamento del LR inferiore al 15% nell'insieme dei dati relativi alle abitazioni e agli ambienti di lavoro, ma almeno nel caso delle abitazioni (Castel del Piano) o degli ambienti di lavoro (Arcidosso) la percentuale del 15% viene superata.

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

Per questi due Comuni si propone l'inclusione fra le aree prioritarie, considerando fra l'altro che fra 5 anni in ogni caso dovrebbero essere inseriti con l'introduzione del criterio meno restrittivo, come risulta dalla Tabella 5.3.

Comune	AB + LL PT	
	P%>LR(300)	P%>LR(200)
Castel del Piano	12.2	24.1
Roccastrada	13.1	21.6

Tabella 5.3. Dati di Castel del Piano e Roccastrada, relativi ad abitazioni e luoghi di lavoro al piano terra con le probabilità di superamento di 300 Bq/m^3 (criterio attuale) e 200 Bq/m^3 (a 5 anni).

Il Comune di Montecatini Val di Cecina presenta una distribuzione dei dati molto anomala per la presenza di valori molto elevati insieme alla gran parte di valori bassi e medi; ciò è attribuibile alla natura del substrato geolitologico con differenze importanti nel territorio comunale, per cui una valutazione più affidabile richiede un approfondimento con un campionamento che tenga conto di tali differenze.

Le ulteriori analisi statistiche effettuate utilizzando anche i dati al primo piano corretti per "riportare il valore al piano terreno", avendo calcolato un fattore specifico per gli 8 Comuni della Toscana meridionale e uno specifico per i Comuni dell'Isola d'Elba, non introducono miglioramenti significativi nei risultati, in quanto l'incremento del numero di dati su cui si basa l'analisi delle distribuzioni è accompagnato dall'introduzione di correzioni affette da incertezze non note.

Tuttavia, da questa analisi si ottiene una informazione utile per la programmazione di nuove indagini e interventi, in quanto la stima della differenza (media geometrica) fra piano primo e piano terreno nei Comuni dell'Amiata e della Toscana Meridionale è meno del 10%, mentre per gli edifici dell'isola d'Elba è di circa il 25%.

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

6. L'individuazione dei Comuni in area prioritaria

Sulla base della Tabella 5.2, l'elenco dei primi 11 Comuni per i quali è soddisfatto il criterio stabilito nella norma attuale in almeno uno dei set di dati considerati è rappresentato nella Tabella 6.1, dove è anche riportata la popolazione residente al 2023. In Figura 6.1 i comuni interessati sono rappresentati in giallo.

Provincia	Comune	Abitanti
SI	Abbadia San Salvatore	5997
GR	Arcidosso	4165
GR	Castel del Piano	4733
SI	Piancastagnaio	3871
GR	Pitigliano	3586
GR	Roccastrada	8747
GR	Santa Fiora	2490
GR	Sorano	3038
LI	Marciana	2034
LI	Marciana Marina	1876
GR	Isola del Giglio	1330

Tabella 6.1 Elenco dei primi 11 Comuni proposti per l'individuazione nelle aree prioritarie con la popolazione residente al 2023.

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

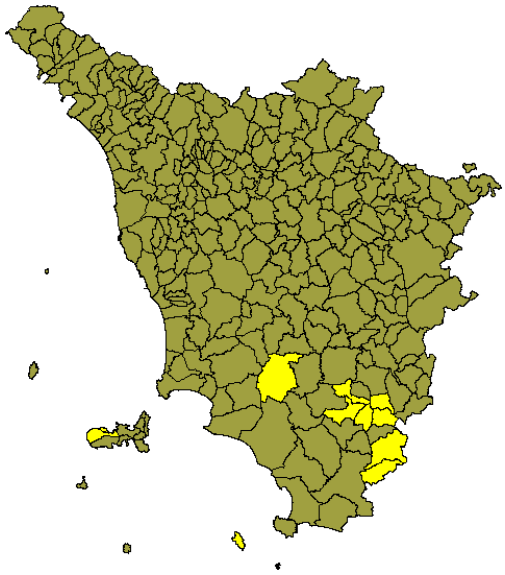


Figura 6.1 Mappa dei comuni della Toscana, in giallo sono rappresentati i comuni proposti per l'individuazione nelle aree prioritarie

La percentuale di Comuni di cui si propone l'individuazione come area prioritaria è nel complesso il 4% sulla regione, con una popolazione coinvolta che è pari all'1,5% di quella regionale.

Tutti i Comuni individuati in questa prima fase in area prioritaria sono caratterizzati da una porzione più o meno estesa di territorio e di centro abitato su aree in cui affiorano rocce magmatiche a chimismo acido, quali le Rocce magmatiche ed epiclastiche dell'Arcipelago Toscano e le Rocce magmatiche ed epiclastiche del Monte Amiata, e dell'area Bolsena-Latera. Questi Comuni presentano forti analogie con le aree dove si concentrano i livelli di radon medio-alti nel Lazio e nella Campania, come mostrato anche nella carta in Figura 12, nell'Appendice all'Azione 1.2 del Piano Nazionale di Azione per il Radon *Indicazioni e criteri per la caratterizzazione del territorio su base geologica*.

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

Bibliografia

[1] Piemonte - Deliberazione della Giunta Regionale 25 novembre 2022, n. 61-6054 L.R. 5/2010. Individuazione, ai sensi dell'art.11, comma 3, del D.lgs. 101/2020, delle "aree prioritarie", già "zone ad elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon".

[2] Lombardia - Deliberazione della Giunta Regionale 26 giugno 2023, n. XII/508 Prima individuazione delle aree prioritarie a rischio Radon in Lombardia.

[3] Sardegna - Deliberazione della Giunta Regionale 30 giugno 2022 n. 20/71 Classificazione del territorio regionale con individuazione delle aree a rischio radon.

[4] Piano Nazionale d'azione per radon 2023-2032, *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, n 43, 21 febbraio (2024)

[5] World Health Organization *Who handbook on indoor radon: a public health perspective.* ISBN 978- 92-4-154767-3 (2009)

[6] https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/

[7] A. Grzywa-Celińska et al., *Radon-The Element of Risk. The Impact of Radon Exposure on Human Health*, Toxics, 8(4), 120 (2020).

[8] F. Bochicchio et al., *Quantitative evaluation of the lung cancer deaths attributable to residential radon: A simple method and results for all the 21 Italian Regions*, Radiation Measurements 5, 121-126 (2013).

[9] Enrico Chiaberto et al., *Verso un'armonizzazione delle mappe radon nazionali*, Bollettino AIRP, Anno XLVIII, Volume 179, Numero 1-6 (2021).

[10] G. Bigi, D. Cosentino, M. Parotto, A. Sartori, P. Scandone, *Schema tettonico dell'appennino settentrionale e centrale*, Structural Model of Italy, C.N.R Roma (1983)

[11] T. K. Ball, D. G. Cameron, T. B. Colman & P. D. Roberts, *Behaviour of radon in the geological environment: a review*, Quarterly Journal of Engineering Geology, 24, 169-182 (1991).

[12] S. Bucci et al., *Radon in workplaces: first results of an extensive survey and comparison with radon in homes*. Radiation Protection Dosimetry 145 N. 2-3, 202-205 (2011).

[13] S. Bucci S. et al., *I fattori che influiscono sul radon negli ambienti di lavoro: analisi dei dati in Toscana* Atti 33° Congresso Nazionale di Igiene Industriale e Ambientale (2016).

[14] G. Venoso et al., *Impact of temporal variability of radon concentration in workplaces on the actual radon exposure during working hours* Scientific Reports 11(1) (2021).

[15] B. W. Bolch, "More on unbiased estimation of the standard deviation", The American Statistician, 22(3), p. 27 (1968).

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

AOOGRT / AD Prot. 0658746 Data 19/12/2024 ore 10:26 Classifica A.090.020.

ARPAT
Agenzia regionale
per la protezione ambientale
della Toscana

ARPAT, via del Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze
Tel. 055.32061 - Fax 055.3206324
urp@arpat.toscana.it