



**ARPAT**

Agenzia regionale  
per la protezione ambientale  
della Toscana

# Indagine regionale sulla concentrazione di radon negli ambienti di vita e di lavoro

## Risultati nei Comuni della Toscana

**2012**







# **Indagine regionale sulla concentrazione di radon negli ambienti di vita e di lavoro**

## **Risultati nei Comuni della Toscana**



## **Indagine regionale sulla concentrazione di radon negli ambienti di vita e di lavoro – Risultati nei Comuni della Toscana**

A cura di:

*Silvia Bucci*

ARPAT, Responsabile U.O. Radioattività e Amianto, Settore Laboratorio, Area Vasta Centro

Autori:

*Silvia Bucci, Marta Pantani, Gabriele Pratesi, Maria Letizia Viti, ARPAT*

Responsabili per la Regione Toscana

*Ing. Marco Masi fino al 2010*

*Dott.ssa Daniela Volpi dal 2010*

Responsabile del Settore della Sicurezza e Salute sui Luoghi di Lavoro

Direzione Generale del Diritto alla Salute e delle Politiche di Solidarietà

*Ing. Marco Casini fino al 2011*

*Ing. Aldo Ianniello dal 2011*

Responsabile del Settore della tutela dall’Inquinamento Elettromagnetico ed Acustico e  
Radioattività Ambientale

Direzione Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali

Responsabile per ARPAT

*Gaetano Licitra*

Responsabile del Settore Tecnico Promozione e Produzione delle Attività e dei Servizi

Pianificazione dell’indagine

*Silvia Bucci (ARPAT) e Francesco Bochicchio (Istituto Superiore di Sanità, coordinatore del  
Piano Nazionale Radon)*

Gruppo di coordinamento e gestione dell’indagine

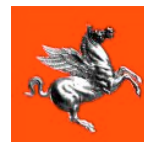
*Silvia Bucci, Marta Pantani, Gabriele Pratesi, Maria Letizia Viti, ARPAT*

Organizzazione dell’indagine e diffusione dei dati

*Silvia Bucci (ARPAT), Luigi Giardina, Tommaso Giunti, Silvia Fabiani, Stefano Biondini,  
Piergiuseppe Calà, Lidia D’Errico (Regione Toscana)*

Individuazione dei luoghi di lavoro partecipanti

*Dipartimenti di Prevenzione delle Aziende USL*



**Regione Toscana**



Misure di laboratorio

*Sandra Gambi, Riccardo Magnanelli, Gabriele Pratesi, Enzo Bafaro, Daniela Ceseri, Patrizia Vaselli, Ilaria Peroni, ARPAT*

Supporto tecnico e amministrativo

*Angela Balestra, Samuele Bartoli, Sandra Botticelli, Antonella Chesi, Rovena Giannettoni, Donella Romagnoli, Mirella Sarti, Manuela Zacchino, ARPAT*

Assicurazione di qualità delle misure

*Gabriele Pratesi, ARPAT, con la collaborazione di Francesco Cardellini (INMRI ENEA), Marco Caresana (Politecnico di Milano), Carmen Carpentieri (Istituto Superiore di Sanità)*

Analisi dati

*Silvia Bucci, Marta Pantani, Gabriele Pratesi, Maria Letizia Viti (ARPAT), Gennaro Venoso e Francesco Bochicchio (Istituto Superiore di Sanità)*

Si ringrazia:

per il supporto organizzativo locale

*tutti i Sindaci e il personale delle amministrazioni comunali*

per la partecipazione e collaborazione

*tutte le famiglie e i datori di lavoro che hanno aderito*

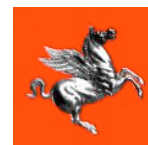
per la collocazione dei dosimetri, la compilazione dei questionari sugli edifici e l'inserimento dei dati nel database

*Socip S.r.l. e Vie En. Ro. Se. S.r.l.*

© ARPAT 2012

Per suggerimenti e informazioni: ARPAT, Settore Comunicazione, informazione e documentazione, via Nicola Porpora, 22 – 50144 Firenze – tel. 05532061 – numero verde: 800800400

[www.arpat.toscana.it](http://www.arpat.toscana.it) - [www.youtube.com/arpatoscana](http://www.youtube.com/arpatoscana) - [www.twitter.com/arpatoscana](http://www.twitter.com/arpatoscana)



**Regione Toscana**

**INDICE**

<b>INDICE</b> .....	3
Presentazione	4
Sintesi	6
1 INTRODUZIONE	8
2 CENNI SUI RISCHI E SULLA NORMATIVA DI PROTEZIONE DALL'ESPOSIZIONE AL RADON	10
2.1 I rischi connessi all'esposizione al radon	10
2.2 Il quadro normativo italiano e comunitario	10
2.2.1 Luoghi di lavoro	11
2.2.2 Abitazioni	11
3. LE CONOSCENZE SUL RADON IN TOSCANA FINO AL 2006	13
3.1 Indagine nazionale	13
3.2 Indagine nelle aree geotermiche	14
3.3 Risultati nelle abitazioni	14
3.4 Indagini nelle scuole	15
3.5 RISULTATI DELLE INDAGINI CONDOTTE FINO AL 2006	15
4. L'INDAGINE REGIONALE SULLA CONCENTRAZIONE DI RADON NEGLI AMBIENTI DI VITA E DI LAVORO (2006-2010)	16
4.1 Obiettivi dell'indagine e piano di campionamento	16
4.2 Descrizione del campione: dosimetri posizionati, locali e siti misurati	18
5. RISULTATI DELLE MISURE	21
5.1 I valori medi regionali nelle abitazioni	22
5.2 Risultati delle misure di concentrazione di radon in tutti i comuni – parametri statistici	23
5.3 Confronto fra i risultati nelle abitazioni e nei luoghi di lavoro	24
6. PROPOSTA DI INDIVIDUAZIONE DEI COMUNI AI SENSI DELLA NORMATIVA PER I LUOGHI DI LAVORO	26
CONCLUSIONI	29
BIBLIOGRAFIA	31
Allegato A - Abitazioni - Parametri statistici della distribuzione della concentrazione di radon per Comune.	32
Allegato B - Luoghi di Lavoro - Parametri statistici della distribuzione della concentrazione di radon per Comune	39

## PRESENTAZIONE

La Regione Toscana ha affidato nel 2006 ad ARPAT la realizzazione di una indagine conoscitiva sulla concentrazione di radon negli ambienti di vita e di lavoro, con una convenzione promossa congiuntamente dal Responsabile del Settore Sicurezza e Salute sui Luoghi di Lavoro della Direzione Generale del Diritto alla Salute e delle Politiche di Solidarietà, Ing. Marco Masi, e il Responsabile del Settore Tutela dall’Inquinamento Elettromagnetico ed Acustico e Radioattività Ambientale della Direzione Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali, Ing. Marco Casini.

Si tratta di un progetto integrato salute-ambiente, con l’obiettivo principale di conoscere la distribuzione del radon sul territorio regionale con un dettaglio maggiore rispetto alle campagne di misura precedenti, sia nelle abitazioni che nei luoghi di lavoro. Sono state così raccolte ed elaborate le informazioni necessarie alla Regione per *l’individuazione delle zone ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon* (radon-prone areas) e delle caratteristiche dei luoghi di lavoro che possono determinare livelli elevati di radon, compiti che le derivano dalle norme in materia.

L’indagine è stata oggetto di più rapporti da parte dell’Agenzia fino al 2010, e nel 2011 si è conclusa la complessa operazione di diffusione dei dati ai Comuni e a tutti i partecipanti (2000 famiglie, oltre 1200 datori di lavoro, 86 scuole).

Poiché non sono disponibili criteri standardizzati per l’individuazione delle radon-prone areas, i risultati hanno richiesto una importante fase di approfondimento e confronto con i Settori competenti della Regione Toscana, che ha portato sia alla programmazione di azioni mirate alla riduzione dei livelli di radon sul territorio toscano, sia alle scelte alla base dei criteri per la prima individuazione dei Comuni dove sono concentrati gli edifici che superano livelli di riferimento nazionali e internazionali, anche ai sensi del D.Lgs. 230/95 e s.m.i..

Questo Rapporto presenta quindi i risultati dell’indagine nei Comuni della Toscana, e propone alcuni criteri da utilizzare per la prima individuazione dei Comuni dove saranno concentrate le risorse per la riduzione dei livelli di esposizione al radon, e dovrà essere misurata la concentrazione di radon nei luoghi di lavoro, a partire dai piani seminterrati e piani terra, a prescindere dalla tipologia dell’attività lavorativa svolta.

Anche le valutazioni alla base della scelta dei criteri, come la pianificazione del campionamento e l’analisi dati, sono stati effettuati in collaborazione con l’Istituto Superiore di Sanità, che coordina il Piano Nazionale Radon, con lo scopo di mantenere un costante riferimento agli indirizzi nazionali e all’evoluzione delle normative in materia, a supporto e garanzia delle decisioni politico-amministrative.

La Regione Toscana, sulla base di questo documento, ha così l’opportunità di essere la prima in Italia a dare seguito a quanto previsto dal D.Lgs. 230/95 e s.m.i., adottando gli opportuni atti finalizzati ad una prima individuazione dei Comuni su cui intervenire e dove applicare la normativa. Altre Regioni hanno infatti effettuato nel decennio scorso campagne di misura, in alcuni casi anche molto estese, e sperimentato azioni di rimedio in numerosi edifici pubblici e privati, ma senza procedere a formalizzare la *prima individuazione*.

Ciò darà luogo non solo ad una importante attività di prevenzione in materia di salute pubblica, ma anche di responsabilizzazione dei datori di lavoro per la tutela dei propri dipendenti dai rischi connessi all’esposizione al radon, mirando le indagini dove sono attesi più frequentemente i superamenti dei livelli di azione, per un migliore utilizzo delle risorse pubbliche e dei privati.

Per concludere, desidero ringraziare tutti gli operatori di ARPAT che hanno collaborato con professionalità e impegno al progetto, e l'Ing. Marco e Masi e l'Ing. Marco Casini per avere promosso un'attività che colloca la Toscana, e con lei l'Agenzia, in una posizione di avanguardia e riferimento anche per altre regioni.

Ringrazio inoltre coloro che, raccogliendo l'eredità di Masi e Casini, stanno portando avanti la programmazione per la riduzione dei rischi in Toscana, la dott.ssa Daniela Volpi (Responsabile del Settore Prevenzione, Igiene e Sicurezza sui Luoghi di lavoro) e la dott.ssa Emanuela Balocchini (Responsabile del Settore Igiene Pubblica) per la Direzione generale Diritti di cittadinanza e coesione sociale, e l'Ing. Aldo Ianniello (Responsabile del Settore Energia, Tutela della Qualità dell'aria e dall'Inquinamento elettromagnetico e acustico) della Direzione generale Politiche Territoriali, Ambientali e per la Mobilità.

Gaetano Licitra  
Responsabile del progetto



## SINTESI

La riduzione dell'esposizione al radon nelle abitazioni e nei luoghi di lavoro è da oltre due decenni oggetto di studio e raccomandazioni da parte di diversi organismi internazionali, e da più di 10 anni la normativa italiana ha introdotto il radon fra le sorgenti di radiazioni naturali soggette al controllo nelle attività lavorative che si svolgono nei sotterranei e in zone particolari del territorio.

Il D.Lgs. 230/95 e s.m.i. richiede infatti che le Regioni individuino le **zone ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon** (*radon-prone areas*) e le caratteristiche dei luoghi di lavoro che possono determinare livelli elevati di radon, e a tale scopo la Regione Toscana ha affidato ad ARPAT la realizzazione di una indagine estesa a tutto il territorio, per determinare i livelli di radon nelle abitazioni e negli ambienti di lavoro. Se infatti la normativa attualmente riguarda i luoghi di lavoro, è importante tenere conto che in futuro riguarderà anche le abitazioni e che l'orientamento è verso l'individuazione delle stesse aree per abitazioni e luoghi di lavoro.

L'indagine si è svolta dal 2006 al 2010 e ha coinvolto circa 3300 partecipanti, oltre a tutti i Comuni della regione.

Il Rapporto 2012 presenta i risultati principali dell'indagine, costituiti dagli indicatori che rappresentano la distribuzione del radon in Toscana nel suo complesso e in ogni Comune della regione: il primo è il *valore medio annuo della concentrazione di radon* nelle abitazioni e nei luoghi di lavoro, il secondo, la *percentuale di edifici che superano i livelli di riferimento o azione*. Infatti, i risultati singoli delle misure di concentrazione di radon sono importanti per valutare l'esposizione delle persone che utilizzano il singolo edificio misurato, ma non rappresentano il livello di radon in una zona se presi singolarmente, a causa della grande variabilità anche su piccole distanze.

La conoscenza dei parametri rappresentativi della situazione a livello regionale e in ciascun Comune consente invece di valutare dove e in che misura intervenire per ridurre l'esposizione al radon di popolazione e lavoratori. L'affidabilità dei parametri dipende ovviamente dal numero di dati disponibili e, nei casi in cui questi sono di poche unità, i parametri potranno cambiare con l'aggiunta di nuove misure in futuro.

La popolazione in Toscana è esposta a livelli di radon medi più bassi della media nazionale e ad altre regioni; la concentrazione media annua di radon, pesata sulla popolazione, è infatti  $35 \text{ Bq/m}^3$ , in confronto al valore medio nazionale di  $70 \text{ Bq/m}^3$ . La percentuale di abitazioni che superano il livello di  $200 \text{ Bq/m}^3$  (livello di riferimento utilizzato) è l'1,5% mentre per tutta l'Italia è il 4,1%.

Il fatto che la regione nel suo insieme si collochi nella fascia di esposizione medio-bassa, non esclude la presenza di parti del territorio che presentano valori più elevati.

L'analisi della correlazione fra i valori di radon indoor e le formazioni geologiche della Toscana mostra che i livelli medi più elevati della concentrazione di radon e delle percentuali di superamento corrispondono a Comuni che si trovano su formazioni geologiche di origine magmatica, che si trovano prevalentemente nella parte meridionale della regione e nelle isole, e in alcuni casi in corrispondenza di zone caratterizzate da rocce sedimentarie con elevata permeabilità, in particolare sull'Appennino.

I 287 Comuni della Toscana presentano situazioni molto diverse dal punto di vista del *numero* di dati disponibili (in abitazioni, luoghi di lavoro, scuole), dei *livelli medi* di radon e delle *percentuali* di superamento dei limiti/riferimenti normativi.

Dall'analisi dei dati emerge inoltre una maggiore variabilità della concentrazione di radon negli ambienti di lavoro rispetto alle abitazioni, e che nei luoghi di lavoro i livelli di radon sono in media un po' più elevati che nelle abitazioni della stessa area geografica.

Questi risultati hanno importanti implicazioni sulle modalità di applicazione dell'attuale normativa e sulle metodologie per l'individuazione delle *radon-prone areas*. Infatti, una maggiore variabilità della concentrazione di radon richiede di coinvolgere un campione più numeroso per le indagini territoriali, e favorisce l'utilizzo delle abitazioni per l'individuazione delle zone con livelli di radon significativamente diversi dalla media nazionale, prevista dalla normativa.

L'indagine nei luoghi di lavoro contiene numerosi elementi conoscitivi di novità, che potranno essere ulteriormente approfonditi in seguito, riguardanti l'individuazione delle caratteristiche dei luoghi di lavoro che possono favorire concentrazioni di radon più elevate. Anche questa individuazione è richiesta dalla normativa italiana.

Nel capitolo 6 viene quindi proposto un elenco di 13 Comuni per la prima individuazione ai sensi del D.Lgs. 230/95 e s.m.i., dove l'esistenza di livelli di radon significativamente più elevati rispetto alla media nazionale è accertata sulla base di un numero minimo di dati (15) nelle abitazioni, e dove la percentuale di abitazioni che superano  $200 \text{ Bq/m}^3$  è uguale o maggiore al 10%. La proposta dell'Agenzia è basata sia sull'evoluzione della normativa, in particolare la proposta di Direttiva Europea in materia, che sulla base degli orientamenti regionali, secondo i quali sono state previste indagini suppletive nei Comuni che presentano indicazioni di un potenziale problema di radon, ma per i quali non sono disponibili dati sufficienti allo stato attuale: questi non sono quindi oggetto della prima individuazione.

Nella parte del territorio dove maggiore è la frequenza di superamenti, si concentreranno le risorse per cercare gli edifici con valori elevati della concentrazione di radon e qui saranno indirizzati i primi interventi di riduzione delle concentrazioni.

## 1 INTRODUZIONE

L'esposizione alla radioattività di origine naturale, che deriva dalla radiazione cosmica e dai radionuclidi presenti nella crosta terrestre, supera per la maggior parte delle persone la somma dei contributi derivanti dalle sorgenti di radiazioni di origine artificiale, usate nelle applicazioni sanitarie, nella ricerca, nell'industria, nella produzione di energia nucleare.

Fra le esposizioni alla radioattività naturale, oltre il 50% della dose è attribuibile all'inalazione del radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) negli ambienti chiusi, per cui una parte sostanziale delle attività dell'Agenzia e degli altri soggetti competenti in questo ambito negli ultimi 20 anni hanno riguardato lo studio e la valutazione della distribuzione di tale gas nelle abitazioni e alcuni particolari ambienti di lavoro.

Anche la Regione Toscana ha infatti partecipato all'Indagine Nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni (1988-1996) e promosso negli anni seguenti analoghe iniziative sia nelle abitazioni che nelle scuole, che hanno fornito un primo quadro conoscitivo della situazione in assenza di normativa specifica, sebbene con una parziale copertura del territorio.

Nel 2000 è stata introdotta in Italia la regolamentazione dell'esposizione al radon nei luoghi di lavoro (D.Lgs. 241/00, che modifica il D.Lgs. 230/95), che prevede fra l'altro l'individuazione delle aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon da parte delle Regioni: questa comporta la misura della concentrazione di radon in tutti i luoghi di lavoro non sotterranei di tali aree e la valutazione dei rischi connessi, mentre per i luoghi sotterranei tale obbligo vale da diversi anni su tutto il territorio nazionale.

Al fine di assolvere all'obbligo della norma, nel 2006 la Regione Toscana ha affidato ad Arpat la progettazione e realizzazione di una indagine finalizzata alla conoscenza della distribuzione della concentrazione di radon su tutto il territorio e che, a differenza delle indagini precedenti, è basata su misure sia negli ambienti di vita che negli ambienti di lavoro.

Le indagini territoriali sono di norma basate su misure nelle abitazioni, che presentano in linea di principio una minore variabilità strutturale e di utilizzo rispetto ai luoghi di lavoro ma, poiché la normativa riguarda gli ambienti di lavoro, la Regione Toscana ha deciso di effettuare una indagine estesa anche nei luoghi di lavoro, allo stato attuale unica in Italia e con pochi confronti a livello europeo.

Nessuna regione infatti, tranne la Toscana, ha intrapreso indagini rappresentative nei luoghi di lavoro, nonostante ciò fosse raccomandato fin dal 1993 nella pubblicazione n.65 dell'ICRP (ICRP, 1993) e previsto nel Piano Nazionale Radon (PNR, Ministero della Salute, 2002). Nell'ICRP 65, in particolare, si raccomanda di effettuare, oltre ad indagini sistematiche nei luoghi di lavoro nelle *radon-prone areas*, anche indagini rappresentative nei luoghi di lavoro su tutto il territorio nazionale, sia per evitare che siano trascurate aree non residenziali con elevati livelli di radon, sia affinché nell'identificazione delle radon-prone areas prevista dalla normativa per i luoghi di lavoro siano adeguatamente tenute in conto le eventuali differenze sistematiche fra abitazioni e luoghi di lavoro. E' evidente d'altra parte l'importanza di identificare le stesse aree sia per le abitazioni che per i luoghi di lavoro, al fine evitare confusione sui confini entro i quali devono essere adottati i diversi provvedimenti.

E' importante sottolineare, a questo proposito, che la normativa italiana (D.Lgs. 230/95 e s.m.i.) richiede 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, e questo requisito può essere rispettato solo con una indagine specifica che comprenda un campione adeguato di luoghi di lavoro.

Come concordato nell'ambito della convenzione stipulata fra la regione Toscana e ARPAT per la progettazione e realizzazione dell'indagine, in mancanza di criteri guida standardizzati per condurre le indagini territoriali finalizzate anche all'individuazione delle *radon-prone areas*, l'Agenzia ha fatto riferimento al PNR, e sviluppato in collaborazione dell'Istituto Superiore di Sanità le metodologie da

adottare per il campionamento e l'analisi dei dati, nell'ambito delle attività del Progetto CCM (2006-2010).

L'indagine ha coinvolto tutti i Comuni della Toscana, con quasi 2000 abitazioni e 1300 fra luoghi di lavoro e scuole misurate complessivamente, per un totale di circa 7800 locali. Anche la scelta di misurare più locali nella stessa abitazione e luogo di lavoro rappresenta un valore aggiunto rispetto alle indagini condotte dalla maggior parte delle regioni.

In estrema sintesi, il campione sia di abitazioni che di luoghi di lavoro è stato concentrato nei Comuni dove, sulla base dei risultati di indagini precedenti e della loro elaborazione geologica preliminare, erano attesi livelli elevati di concentrazione di radon, al fine di avere una base di dati sufficiente per decidere l'eventuale individuazione ai sensi della normativa italiana.

La fase di campionamento si è conclusa alla fine del 2009, mentre nel 2010 sono state completate le misure in laboratorio, validati i singoli risultati ed effettuata l'elaborazione dei dati nel loro insieme, che ha richiesto e richiederà diversi stadi di approfondimento successivi. L'elaborazione dei dati comprende anche lo studio della correlazione fra radon e formazioni geologiche, che consente di spiegare una parte importante della variabilità dei dati sul territorio e di estrapolare i livelli medi di radon in aree in cui mancano misure sperimentali.

Nel 2011 si sono concluse le attività di diffusione dei dati alle amministrazioni e enti competenti e ai partecipanti, che hanno richiesto un consistente lavoro di preparazione sia da parte della Regione che da parte dell'Agenzia.

Questo documento contiene, dopo una breve rassegna delle campagne di misura della concentrazione di radon realizzate in Toscana fino al 2006, un quadro sintetico sull'impostazione dell'indagine 2006-2010, i risultati complessivi nelle abitazioni per la regione toscana e un riepilogo dei parametri calcolati per tutti i 287 Comuni sulla base dei risultati delle misure nelle abitazioni e nei luoghi di lavoro. Le metodologie adottate per condurre l'indagine e per l'analisi dei dati, e alcune considerazioni sulla classificazione del territorio per l'individuazione delle aree a maggiore presenza di radon sono descritte in dettaglio nel *Rapporto finale* sull'indagine (Giugno 2010).

## **2 CENNI SUI RISCHI E SULLA NORMATIVA DI PROTEZIONE DALL'ESPOSIZIONE AL RADON**

### **2.1 I rischi connessi all'esposizione al radon**

Com'è noto, L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro dell'OMS ha classificato nel 1988 il radon e i suoi prodotti di decadimento fra le sostanze per le quali vi è evidenza scientifica di cancerogenicità per l'uomo (nel gruppo 1). Infatti, gli studi epidemiologici su coorti di minatori di miniere sotterranee di uranio, caratterizzate da valori molto alti di concentrazione di radon (IARC, 1988; NRC, 1999), dimostrarono l'esistenza di un rischio di tumore polmonare connesso all'esposizione al radon.

I risultati di questi studi sono stati estrapolati ai valori più bassi di concentrazione di radon riscontrabili nelle abitazioni e nei normali luoghi di lavoro, ma le incertezze connesse con l'estrapolazione hanno indotto la comunità scientifica ad effettuare nuovi studi epidemiologici (di tipo caso-controllo) su una popolazione costituita da maschi e femmine di tutte le fasce d'età, per valutare direttamente il rischio di tumore polmonare connesso all'esposizione al radon nelle abitazioni.

Negli ultimi anni sono stati pubblicati i risultati delle analisi combinate (per aumentare la potenza statistica) dei principali studi condotti in Europa (13 studi, di cui uno italiano), Nord-America e Cina, confermando che l'esposizione al radon nelle abitazioni aumenta in modo statisticamente significativo il rischio di tumore polmonare, che aumenta la crescere del livello medio di concentrazione di radon e della durata dell'esposizione; altri effetti sulla salute connessi all'esposizione al radon non sono stati dimostrati in modo adeguato (WHO, 2009).

E' quindi importante tenere presente che:

- il rischio è statisticamente significativo anche per esposizioni prolungate a concentrazioni di radon medio-basse, che non superano 200 Bq/m<sup>3</sup>;
- non è possibile stabilire una soglia al di sotto della quale il rischio è nullo;
- la maggior parte dei tumori polmonari è causata da concentrazioni medie e basse, piuttosto che alte, perché un numero di persone molto basso è esposto a valori elevati della concentrazione di radon;
- il rischio per i fumatori è 25 volte più alto che per i non fumatori, ma il radon è prima la causa di tumore polmonare fra le persone che non hanno mai fumato.

La percentuale di casi di tumore polmonare attribuibili al radon, che è la seconda causa di tumore polmonare dopo il fumo di sigaretta, è stata valutata in Italia dall'Istituto Superiore di Sanità, sulla base dei risultati dell'*Indagine Nazionale sull'esposizione alla radioattività naturale nelle abitazioni* (Bochicchio et al., 2005) Nel recente rapporto *Rischio di tumore polmonare attribuibile all'esposizione al radon nelle abitazioni delle Regioni italiane* (ISS, 2010) il valore stimato a livello nazionale è pari a circa il 10% dei 32.000 tumori polmonari che si verificano ogni anno (nell'intervallo di confidenza fra il 3% e il 16%).

Per la Regione Toscana si tratta di 127 casi fra i maschi e 27 fra le femmine, per un totale di 159 casi stimati ogni anno, nell'intervallo di confidenza 52-289. Questa valutazione potrà essere aggiornata sulla base dei risultati dell'indagine più recente, che è basata su dati relativi a tutti i Comuni, con una riduzione del numero annuo di casi di tumore polmonare attribuibili al radon in Toscana di circa il 20%.

### **2.2 Il quadro normativo italiano e comunitario**

In seguito alla classificazione del radon fra gli agenti cancerogeni e all'emanazione delle prime raccomandazioni della International Commission for Radiation Protection (ICRP, 1990 e 1993), molti

Stati e Organismi Internazionali hanno emanato norme o raccomandazioni per limitare l'esposizione al radon, fra cui anche l'Italia, limitatamente agli ambienti di lavoro.

### 2.2.1 Luoghi di lavoro

In Italia la regolamentazione dell'esposizione al radon nei luoghi di lavoro è stata introdotta all'inizio del 2001 con l'entrata in vigore del Decreto Legislativo n. 241/00, che ha recepito la Direttiva 29/96/Euratom, modificando e integrando il D.Lgs. 230/95.

Con i suddetti decreti sono state soggette al controllo le esposizioni lavorative nei luoghi di lavoro sotterranei e particolari, quali grotte, tunnel, ..., e nei luoghi di lavoro in aree che hanno elevata probabilità di alte concentrazioni di radon (talvolta chiamate *radon-prone areas* o aree a maggiore presenza di radon); tali aree devono essere individuate dalle Regioni anche mediante apposite indagini.

La normativa stabilisce che, se la concentrazione media annua di radon nei luoghi di lavoro supera il livello di azione di  $500 \text{ Bq/m}^3$ , 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  $3 \text{ mSv/anno}$  ai lavoratori, dose che viene valutata tenendo conto del tempo di permanenza dei lavoratori nell'ambiente di lavoro.

Nelle scuole, se la concentrazione di radon supera  $500 \text{ Bq/m}^3$  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-quinquies D.Lgs. 230/95 e s.m.i.).

Nel caso invece che la concentrazione di radon superi il livello di riferimento di  $400 \text{ Bq/m}^3$ , è necessario ripetere la misura l'anno successivo (per tenere conto della variabilità annua e dell'incertezza sul risultato della misura).

Fermo restando che negli ambienti sotterranei l'obbligo di misura della concentrazione di radon vige da molti anni, l'applicazione della normativa è invece ancora incompleta per la mancanza dei 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.

In assenza sia di criteri emanati a livello nazionale che di criteri accettati a livello internazionale, molte Regioni hanno comunque intrapreso indagini sul territorio per conoscere la distribuzione dei livelli di radon: l'indagine condotta dal 2006 al 2010 in Toscana contiene gli elementi e le indicazioni utili per procedere alla prima individuazione ai sensi della normativa, per quanto di competenza dell'amministrazione regionale, anche se il completamento del percorso formale fino alla pubblicazione in Gazzetta Ufficiale non è stabilito.

E' importante tenere presente, a questo proposito, che la normativa italiana (D.Lgs. 230 e s.m.i.) richiede 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.

### 2.2.2 Abitazioni

In Italia non è presente uno strumento normativo per la protezione dall'esposizione al radon nelle abitazioni. L'introduzione nella normativa italiana di livelli di riferimento per le abitazioni avverrà al più tardi con il recepimento della prossima direttiva europea in materia, per la quale l'iter di approvazione è in uno stadio avanzato (COM 2012 - 242 final).

La situazione a livello internazionale è molto cambiata negli ultimi anni, in quanto i principali organismi hanno emanato nuovi livelli di riferimento per limitare l'esposizione al radon nelle abitazioni (WHO, 2009; ICRP, 2010). I nuovi livelli raccomandati sono in generale più bassi dei

precedenti, a causa della rivalutazione dei rischi (circa il doppio) attribuibili all'esposizione al radon sulla base dei più recenti studi epidemiologici ([WHO, 2009](#)).

L'Organizzazione Mondiale della Sanità raccomanda un livello di riferimento compreso fra 100 e al massimo 300 Bq/m<sup>3</sup>, e la International Commission for Radiological Protection ha subito dopo raccomandato anch'essa un livello non superiore a 300 Bq/m<sup>3</sup>.

La [Raccomandazione 90/143/Euratom](#), emanata nel 1990, alla luce dei recenti aggiornamenti dei fattori di rischio e livelli di concentrazione raccomandati da questi derivati, è da considerarsi ormai superata almeno per quanto riguarda le abitazioni esistenti.

Quando è superato il livello di riferimento per le abitazioni, i suddetti organismi internazionali raccomandano di realizzare interventi per ridurre la concentrazione di radon, ovvero effettuare quelle che sono chiamate "azioni di rimedio", che sono generalmente finalizzate a ridurre l'ingresso del radon nell'edificio e/o ad aumentare il ricambio dell'aria interna attraverso l'immissione di aria esterna (la quale contiene solitamente valori molto bassi di concentrazione di radon).

Sulla base di tali recenti raccomandazioni, la proposta di Direttiva introduce la normativa sul radon nelle abitazioni e nei luoghi pubblici (distinti questi ultimi dai luoghi di lavoro); la direttiva prevede che gli stati membri stabiliscano un livello di riferimento diverso per abitazioni esistenti (non superiore a 300 Bq/m<sup>3</sup>) e future (non superiore a 200 Bq/m<sup>3</sup>), nell'ottica di ridurre in generale anche con le nuove costruzioni e ristrutturazioni l'esposizione al radon. Gli stessi livelli adottati per le abitazioni sono previsti per gli edifici con accesso al pubblico, quali le scuole.

La Direttiva in corso di approvazione prevede fra l'altro:

- che gli Stati membri adottino un *Piano nazionale radon*;
- che siano misurati gli edifici pubblici nelle *radon-prone areas*, obiettivo che la Regione Toscana ha in parte già raggiunto con l'ultima indagine regionale;
- l'introduzione di tecniche costruttive adatte a prevenire l'ingresso del radon proveniente dal suolo e dai materiali da costruzione e il conseguente accumulo a livelli elevati negli edifici di nuova costruzione;
- che anche i materiali da costruzione siano soggetti a regolamentazione sulla base del contenuto di radionuclidi naturali.

### 3. LE CONOSCENZE SUL RADON IN TOSCANA FINO AL 2006

Le conoscenze sulla distribuzione territoriale del radon in Toscana fino al 2006 sono state basate sui risultati di campagne di misura nelle abitazioni e nelle scuole, realizzate a partire dalla fine degli anni '80, quando è stata avviata in modo organico l'attività di studio e valutazione dell'esposizione alla radioattività naturale in Italia.

Tutte le indagini citate nel seguito sono state realizzate da ARPAT con la collaborazione dei Dipartimenti di Prevenzione delle Aziende USL, dei Comuni, delle scuole e dei cittadini.

#### 3.1 Indagine nazionale

Dal 1988 al 1996 è stata condotta un'Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni, che ha fornito la prima valutazione dell'esposizione della popolazione al radon a livello regionale. L'indagine è stata organizzata e coordinata a livello nazionale da ISS (Istituto Superiore di Sanità) e APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, ora ISPRA), e a livello locale ha coinvolto il Sistema sanitario regionale con le strutture della prevenzione: attualmente i Dipartimenti di Prevenzione delle ASL e ARPAT.

In Toscana l'indagine si è svolta negli anni 1989-1991. Il campione di abitazioni misurate in Toscana è stato di 308 su 5631 totali in Italia, distribuite in 9 Comuni (vedi Tabella 3.1).

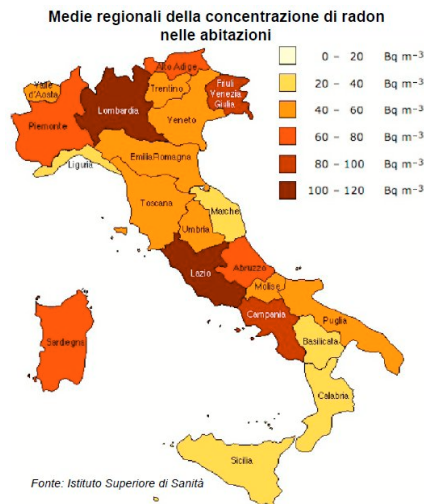
Tabella 3.1. *Comuni coinvolti nell'indagine nazionale*

Comuni Indagine Nazionale
Firenze
Capraia Isola
Prato
Pisa
Livorno
Sillano
San Marcello Pistoiese
Grosseto
Camaione
<b>Totale 9 Comuni</b>

La concentrazione di radon media nazionale risulta  $70 \text{ Bq/m}^3$ , con una percentuale del 4% di abitazioni che superano i  $200 \text{ Bq/m}^3$  e dell'1% che superano i  $400 \text{ Bq/m}^3$ ; questi sono i livelli di riferimento della Raccomandazione 90/143/Euratom, ora superata (vedi normativa). I dati medi di tutte le regioni italiane sono riportati in categorie nella Figura 3.1.



Figura 3.1. *Indagine nazionale: la mappatura della concentrazione media di radon nelle regioni italiane*



Dopo l’indagine nazionale diverse regioni, tra cui anche la Toscana, hanno effettuato molte altre misure nelle abitazioni e nelle scuole per approfondire il livello di conoscenza sul proprio territorio e individuare gli edifici con elevata concentrazione di radon.

### 3.2 Indagine nelle aree geotermiche

In seguito all’Indagine Nazionale, la Regione Toscana ha promosso una indagine campionaria nelle abitazioni delle aree geotermiche, l’Amiata e le Colline Metallifere, nella quale sono stati coinvolti 15 Comuni (Tabella 2) con un totale di 132 abitazioni misurate. L’indagine ha avuto luogo dal 1992 al 1994.

Tabella 3.2. *Comuni coinvolti nell’indagine delle aree geotermiche*

Comuni Indagine Aree Geotermiche	
Amiata	Colline Metallifere
Santa Fiora	Monterotondo Marittimo
Abbadia San Salvatore	Montieri
Piancastagnaio	Monteverdi marittimo
Arcidosso	Castelnuovo VC
Castel del Piano	Montecatini VC
Radicofani	Pomarance
San Casciano dei Bagni	Chiusdino
	Radicondoli
<b>Totale 7 Comuni</b>	<b>Totale 8 Comuni</b>

### 3.3 Risultati nelle abitazioni

In Tabella 3.3 sono riportati i risultati delle principali indagini effettuate nelle abitazioni della Toscana prima del 2006.

Tabella 3.3 *Risultati delle principali indagini effettuate in Toscana nelle abitazioni*

Indagine	Area geografica	Periodo	Tipologia Edifici	Numero edifici	Media aritmetica Bq/m <sup>3</sup>	Valore Massimo misurato Bq/m <sup>3</sup>	% misure > 200 Bq/m <sup>3</sup>	% misure > 400 Bq/m <sup>3</sup>
Nazionale	Toscana	1989-91	Abitazione	308	48	350	1,2	0
Regionale	Amiata	1992-94	Abitazione	79	145	1240	38	11
Regionale	Colline Metallifere	1992-94	Abitazione	53	47	550	5,7	2

### 3.4 Indagini nelle scuole

Dal 1994 al 1996 si è svolta la campagna di misura nelle scuole materne e negli asili nido su tutto il territorio regionale, promossa dalla Regione Toscana, che ha coinvolto oltre 500 edifici (circa 1/3) distribuiti su tutto il territorio.

Dal 2003 al 2006 è stata realizzata l'indagine finanziata dalla Provincia di Firenze nelle scuole secondarie di secondo grado; tutti gli edifici utilizzati all'epoca sono stati misurati.

In Tabella 3.4 sono riportati i principali risultati delle campagne di misura nelle scuole prima del 2006.

Tabella 3.4. *Risultati delle principali indagini effettuate in Toscana nelle scuole*

Indagine	Area geografica	Periodo	Tipologia Edifici	Numero edifici	Media aritmetica Bq/m <sup>3</sup>	Valore Massimo misurato Bq/m <sup>3</sup>	% misure > 200 Bq/m <sup>3</sup>	% misure > 400 Bq/m <sup>3</sup>
Regionale	Toscana	1994-96	Scuola Materna e Asilo Nido	546	40	610	2,9	0,6
Provinciale	Provincia Firenze	2003-06	Scuola Secondaria II Grado	69	34	180	0,2	0

### 3.5 RISULTATI DELLE INDAGINI CONDOTTE FINO AL 2006

I risultati delle campagne di misura della concentrazione di radon mostrano complessivamente che in Toscana la popolazione in generale, e i bambini in particolare, durante le loro attività educative risultano esposti a livelli di concentrazione di radon medio-bassi, se confrontati con la media italiana.

Sono tuttavia presenti anche numerosi edifici con livelli medio-alti, in corrispondenza delle aree che si trovano su substrato geologico di tipo magmatico intrusivo o effusivo, con chimismo generalmente acido o intermedio, che in Toscana si trovano prevalentemente nella parte meridionale della regione (Colline Metallifere, Monte Amiata, Sorano-Pitigliano) e nelle isole. I livelli di radon di queste zone, caratteristici per la natura geologica del territorio anche di una parte dell'Italia centrale (Lazio, Umbria, Campania), sono qui definiti medio-alti in quanto superano i livelli di riferimento raccomandati, ma raramente raggiungono le migliaia di Bq/m<sup>3</sup>.

## **4. L'INDAGINE REGIONALE SULLA CONCENTRAZIONE DI RADON NEGLI AMBIENTI DI VITA E DI LAVORO (2006-2010)**

### **4.1 Obiettivi dell'indagine e piano di campionamento**

L'indagine sulla distribuzione territoriale dei livelli di radon negli ambienti di vita e di lavoro è finalizzata sia alla cosiddetta "mappatura", che *all'individuazione delle zone ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon* citata nel DLgs 230/95 e s.m.i..

In generale le indagini territoriali hanno lo scopo, qualunque sia l'approccio adottato, di ottimizzare la ricerca degli edifici (abitazioni e luoghi di lavoro) con livelli elevati di radon, per ridurre la concentrazione al di sotto di valori normati o raccomandati, al più basso valore possibile; questo obiettivo viene generalmente raggiunto in stadi successivi, individuando prima le zone dove i valori elevati sono presenti in maggior numero, e poi intensificando le misure in queste zone, piuttosto che misurando dappertutto, sulla base del dato di fatto che valori alti sono spesso concentrati in determinate aree.

Le mappe del territorio che si producono elaborando i dati costituiscono quindi uno strumento per programmare gli interventi e orientare l'utilizzo delle risorse, sia per la riduzione della concentrazione, che per le indagini successive; se le mappe sono basate su indicatori di tipo quantitativo, queste risultano utilizzabili direttamente per le strategie di riduzione, se invece di tipo qualitativo, sono utili per l'individuazione di aggregati di valori elevati dove valutare successivamente indicatori quantitativi.

In assenza di criteri stabiliti a livello nazionale per l'individuazione delle aree a maggiore presenza di radon, la convenzione ha previsto di fare riferimento al Piano Nazionale Radon (Ministero della Salute, 2002). Poiché i riferimenti disponibili non contengono indicazioni metodologiche per le indagini nei luoghi di lavoro, la parte relativa dell'indagine toscana, del tutto innovativa, è stata progettata in collaborazione con l'Istituto Superiore di Sanità.

Nessuna regione infatti, tranne la Toscana, ha intrapreso indagini rappresentative nei luoghi di lavoro, nonostante ciò fosse raccomandato dalla pubblicazione n.65 dell'ICRP (ICRP, 1993) e previsto nel PNR. Nell'ICRP-65, in particolare, si raccomanda di effettuare, oltre ad indagini sistematiche nei luoghi di lavoro nelle radon-prone areas, anche indagini rappresentative nei luoghi di lavoro su tutto il territorio nazionale, sia per evitare che siano trascurate aree non residenziali con elevati livelli di radon, sia affinché nell'identificazione delle radon-prone areas prevista dalla normativa per i luoghi di lavoro siano adeguatamente tenute in conto le eventuali differenze sistematiche fra abitazioni e luoghi di lavoro, ravvisando comunque l'opportunità di identificare le stesse aree sia per le abitazioni che per i luoghi di lavoro, al fine evitare confusione sui confini entro i quali devono essere adottati i diversi provvedimenti.

E' importante sottolineare, a questo proposito, che la normativa italiana (D.Lgs. 230/95 e s.m.i.) richiede 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.

L'indagine ha dunque coinvolto anche un campione molto numeroso di diversi luoghi di lavoro oltre alle abitazioni, in modo da:

- Migliorare la conoscenza della distribuzione del radon sia nelle abitazioni che nei luoghi di lavoro sul territorio, al fine di individuare le aree a maggiore presenza di radon tenendo conto di entrambi i set di dati secondo quanto previsto dal D.Lgs. 230/95 e s.m.i. (D.Lgs. 241/00).
- Ottenere una stima rappresentativa dell'esposizione della popolazione, alla base della valutazione corretta del numero di edifici che superano i possibili livelli di azione della

normativa finalizzata anche alla definizione delle politiche di intervento e supporto alla riduzione dei livelli di radon indoor.

- Identificare i fattori che influenzano maggiormente la concentrazione del radon e possibilmente quantificarne l'effetto, sia nelle abitazioni che nei luoghi di lavoro.
- Ottenere informazioni sulla distribuzione del radon nelle diverse tipologie di luoghi di lavoro e sulle caratteristiche dei luoghi di lavoro che maggiormente influenzano la concentrazione di radon, anche questo obbligo previsto dalla normativa.

Sulla base di quanto esposto sopra, il metodo utilizzato per definire la distribuzione territoriale del campione di abitazioni e ambienti di lavoro coinvolti nell'indagine regionale tiene quindi conto dei vincoli complessivi del progetto (risorse e gestibilità), e della indicazione strategica della Regione di coprire con l'indagine tutto il territorio, anche se in modo non necessariamente uniforme.

In estrema sintesi, il campione sia di abitazioni che di luoghi di lavoro è stato concentrato nei Comuni dove, sulla base dei risultati di indagini precedenti e dell'analisi di correlazione con le caratteristiche geologiche del territorio, erano attesi livelli elevati di concentrazione di radon, al fine di avere una base di dati sufficiente per decidere l'eventuale individuazione ai sensi della normativa italiana.

Nell'indagine attuale, la numerosità del campione casuale di abitazioni varia da 20, per i Comuni dove sono attesi più valori alti, a 2-3 per i Comuni dove sono attese concentrazioni basse. Il campionamento delle abitazioni è stato effettuato con l'estrazione di un campione casuale dall'anagrafe (per i comuni del primo gruppo) o dall'elenco telefonico (per la maggior parte del territorio).

Lo studio geologico ha permesso di evidenziare inoltre due zone di particolare interesse, in un caso per la presenza di valori alti anche all'esterno delle aree di affioramento delle vulcaniti (Monte Amiata) e nell'altro per la presenza di rocce ad elevata permeabilità dovuta alla loro intensa fratturazione (Versilia-Alpi Apuane); in queste due aree è stato ritenuto importante un approfondimento di dettaglio della distribuzione territoriale del radon e quindi al campione casuale è stato scelto di aggiungere un campione non casuale (eseguito su una griglia regolare) per ottenere una distribuzione più uniforme sul territorio.

La numerosità e distribuzione del campione di ambienti di lavoro è stata determinata in modo da rispondere ad una molteplicità di esigenze conoscitive e obiettivi, tra cui i principali sono:

1. Determinare le differenze nel livello di concentrazione di radon negli edifici a diversa destinazione d'uso, ovvero lavorativa o residenziale, anche ai fini dell'individuazione delle aree a maggiore rischio radon prevista dalla normativa; a tale scopo devono essere misurati edifici simili e possibilmente, nello stesso edificio, porzioni destinate ad un uso diverso.
2. Determinare i livelli di concentrazione di radon negli edifici con elevata presenza di persone del pubblico, che costituiscono di fatto categorie intermedie fra ambiente di vita e di lavoro, e che nella proposta di Direttiva trovano un inquadramento ad hoc: fra questi rientrano le scuole, gli ospedali, le biblioteche, i musei...
3. Nelle zone dove si presume che ci siano livelli più elevati della concentrazione di radon, avviare una azione di tipo conoscitivo anche negli edifici pubblici al fine di coinvolgere gli amministratori sul problema e informare la popolazione gradualmente, oltre che di attuare quanto previsto nella futura direttiva.
4. Ottenere una conoscenza preliminare dei livelli di concentrazione di radon negli edifici di tipologia molto diversa da quella residenziale, caratteristici di attività lavorative artigianali e industriali.

In ogni abitazione sono stati misurati di norma due ambienti (generalmente una camera da letto e un altro locale abitato di giorno), mentre nei luoghi di lavoro e nelle scuole è stato misurato un numero superiore di ambienti, variabile a seconda delle dimensioni dell'edificio e del numero di piani.

Come emerge dalla molteplicità di obiettivi, il piano di campionamento è stato piuttosto articolato, e la sua messa in opera ha richiesto uno sforzo molto consistente, anche per il numero e diversità di

soggetti che complessivamente hanno reso necessario un contatto ripetuto e/o dedicato in modo particolare.

Infine, le misure sono state effettuate mediante l'esposizione di dosimetri passivi, generalmente per due semestri consecutivi, in modo da coprire complessivamente un anno e tenere quindi conto delle variazioni stagionali. I dosimetri sono costituiti da una camera chiusa in plastica, contenente un rivelatore a tracce nucleari del tipo CR-39. Il laboratorio di Firenze ha ottenuto nel 2007 l'accreditamento del metodo di misura della concentrazione di radon mediante tale tecnica.

#### 4.2 Descrizione del campione: dosimetri posizionati, locali e siti misurati

Complessivamente per l'indagine sono stati utilizzati oltre 20.000 rivelatori, di cui quasi 4000 (circa il 20%) per l'assicurazione di qualità dei dati: taratura, controllo dei bagni di sviluppo, determinazione del fondo, e infine circa 1200 dosimetri sono stati utilizzati per lo studio della ripetibilità in campo delle misure, posizionando due dosimetri vicini nello stesso locale.

Nelle Tabelle 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 è presentato un quadro riassuntivo dei dosimetri posizionati e misurati, dei locali e dei siti per i quali sono disponibili misure annuali e misure semestrali, e della distribuzione del campione di abitazioni e luoghi di lavoro per Provincia.

Tabella 4.1. *Dosimetri posizionati e misurati*

Dosimetri	Numero	%
Dosimetri posizionati	16398	100
Dosimetri misurati	15642	95
Dosimetri persi	620	4
Dosimetri rotti/non misurati	136	1

Tabella 4.2 *Numero di locali e di siti con misure annuale e semestrali.*

Locali/Siti	Abitazioni	Luoghi di lavoro	Scuole	Totale
Locali con almeno una misura	4225	3250	328	7803
Locali con misura annuale	3945	2998	287	7230
Locali con misura solo semestrale	280	252	41	573
Siti con almeno una misura	1965	1204	86	3255
Siti con misure annuali	1879	1159	85	3123
Siti con misure solo semestrali	86	45	1	132
Siti senza misure	30	9	0	39

Il campione di abitazioni selezionato per l'indagine è suddiviso fra campione casuale (primo e secondo estratto), e campione a griglia, ovvero individuato in prossimità di coordinate geografiche per ottenere una descrizione più dettagliata di due aree del territorio, quella circostante l'Amiata e la Versilia.

Tabella 4.3 Numero e tipologia di campione delle abitazioni per provincia

Provincia	Campione casuale	Campione a griglia	Campione aggiunto al piano terreno	Campione volontario	Totale abitazioni	Totale locali
AR	203	2	6	11	222	602
FI	228			11	239	484
GR	228	61	2	23	314	646
LI	156	1	3	17	177	381
LU	147	20	1	12	180	371
MS	89	18		4	111	230
PI	167		15	20	202	419
PO	47	1	1	14	63	125
PT	99	7	1	23	130	267
SI	248	49	1	29	327	700
<b>Totale Regione</b>	<b>1612</b>	<b>159</b>	<b>30</b>	<b>164</b>	<b>1965</b>	<b>4225</b>

Oltre a questo sono stati inclusi, al fine di promuovere l'accoglienza dell'indagine sul territorio, anche dei partecipanti a titolo volontario, accettati al fine di facilitare l'indagine e di allargare l'informazione, con un ritorno comunque positivo in termini di risultati utilizzabili a complemento del campione programmato, e ottenuti a basso costo; infine sono presenti 30 abitazioni aggiunte al piano terreno di edifici dove è già presente un altro sito misurato.

Il campione di luoghi di lavoro è minore in termini di numero di siti rispetto alle abitazioni, ma paragonabile in termini di numero di locali misurati; il numero medio di locali per sito è infatti circa 3, in confronto a poco più di 2 nelle abitazioni.

Il numero di siti in misura, suddiviso per provincia, è riportato in Tabella 4.4, mentre la Tabella 4.5 mostra la suddivisione per tipologia dell'attività che vi viene svolta.

L'indagine ha dunque coinvolto complessivamente quasi 2000 abitazioni e circa 1300 fra luoghi di lavoro e scuole, in tutti i Comuni della Toscana, con un numero di locali misurati per due semestri consecutivi pari a circa 7800.

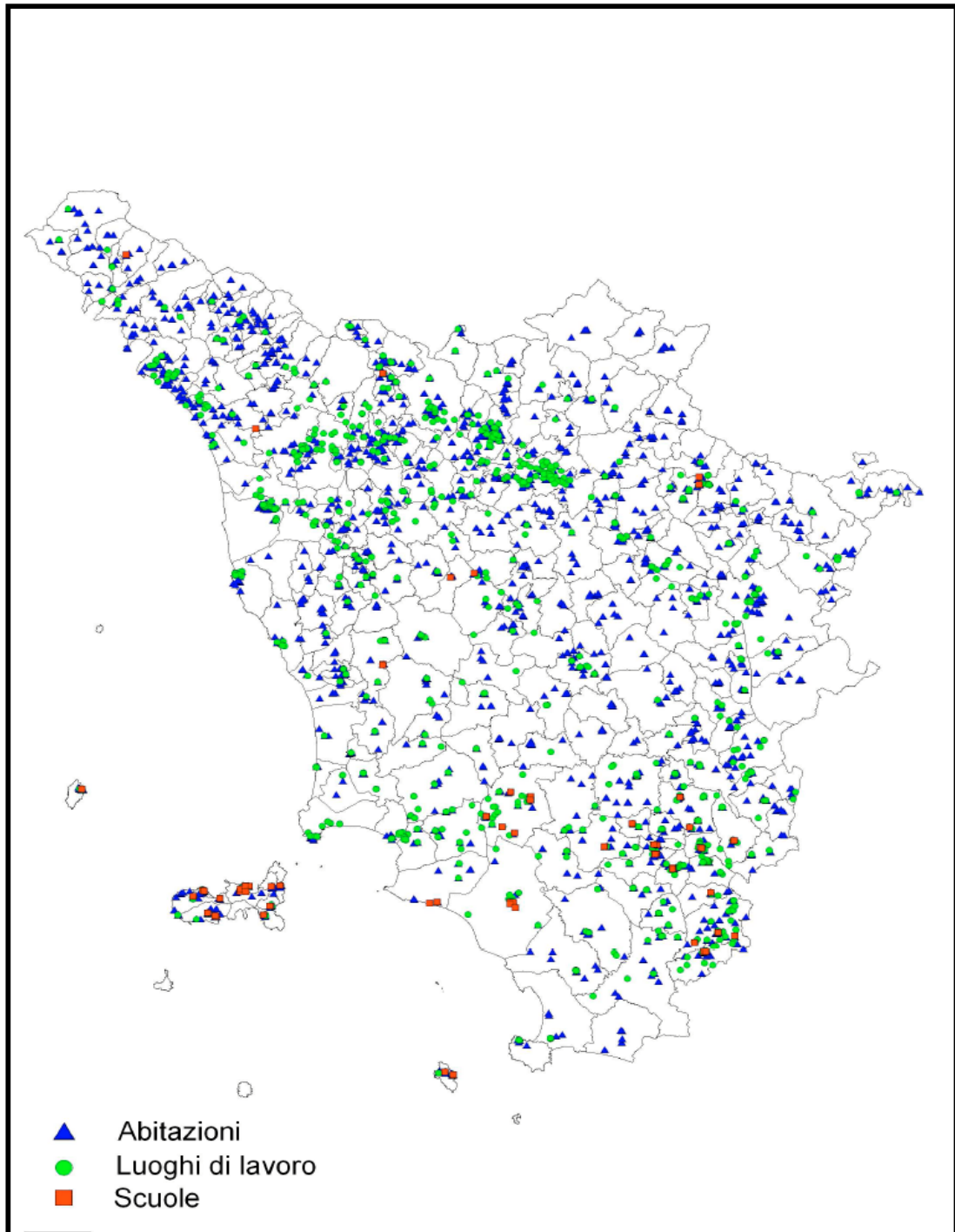
Tabelle 4.4 e 4.5 Campione dei luoghi di lavoro e scuole: numero di siti in misura suddivisi per provincia e tipologia di luoghi di lavoro coinvolti nell'indagine.

PROVINCIA	N luoghi lavoro e scuole	N locali
AR	98	317
FI	123	335
GR	395	1065
LI	163	437
LU	70	194
MS	31	103
PI	110	300
PO	38	89
PT	67	196
SI	195	542
<b>Totale Regione</b>	<b>1290</b>	<b>3578</b>

In Figura 4.1 è mostrata la distribuzione geografica dei punti di misura.

Figura 4.1.  
Distribuzione geografica dei siti di misura. Abitazioni (blu), luoghi di lavoro (verde), scuole (rosso).

Tipologia Luogo di Lavoro	N luoghi lavoro	N locali
Edificio pubblico	127	533
Ospedale o clinica	27	174
Industria	158	576
Artigianato	130	348
Commercio / Negozio	253	442
Pubblici servizi e alberghieri	124	324
Ufficio privato	139	255
Altra tipologia	236	572
Scuole	86	328
Non so	10	26
<b>Totale</b>	<b>1290</b>	<b>3578</b>



## 5. RISULTATI DELLE MISURE

I risultati delle misure di concentrazione di radon effettuate in una abitazione, scuola o ambiente di lavoro, sia pubblico che privato, sono stati inseriti nel cosiddetto Rapporto di Prova, che contiene i valori semestrali e annuali in ciascun locale con l'incertezza associata, e inviati ai partecipanti accompagnati da una relazione che contiene i riferimenti normativi per la loro valutazione.

Il valore di concentrazione media di radon in una abitazione o luogo di lavoro è quindi la media dei risultati dei singoli locali (media annua di norma).

I risultati delle misure non sono stati resi pubblici uno per uno, sia per gli ovvi motivi di tutela della privacy, sia in quanto contengono informazioni importanti e utili per caratterizzare il singolo edificio e conoscere l'esposizione al radon delle persone che ne fanno uso, ma non possono essere considerati in generale rappresentativi dei livelli medi nell'area in cui l'edificio si trova, a causa della variabilità della concentrazione di radon anche su piccole distanze e fra edifici adiacenti.

Per ottenere informazioni sui livelli medi presenti nel territorio, i risultati delle misure di concentrazione di radon nelle abitazioni e nei luoghi di lavoro possono essere aggregati in modo opportuno per ottenere alcuni indicatori sintetici che rappresentano la distribuzione dei dati nella unità territoriale scelta, nel nostro caso la regione nel suo insieme, oppure in ciascun Comune.

L'affidabilità degli indicatori dipende ovviamente dal numero di dati disponibili nella porzione di territorio considerata e, nel caso che questi siano di poche unità, gli indicatori potranno cambiare con l'aggiunta di nuove misure in futuro.

Gli indicatori principali che sono stati calcolati a partire dai dati osservati, sia per le abitazioni che per i luoghi di lavoro separatamente, e che sono riportati nel presente rapporto sono:

- ✓ la media aritmetica (MA) fra le misure in un Comune, che è correlata direttamente al rischio sanitario;
- ✓ la media geometrica (MG) fra le misure in un Comune, che rappresenta un valore centrale della distribuzione dei dati nel Comune;
- ✓ le percentuali di superamento di livelli di riferimento per le abitazioni e di livelli di azione per i luoghi di lavoro.

Il superamento dei livelli di riferimento e azione è valutato senza tenere conto dell'incertezza di misura (ciò significa che un risultato di  $520 \text{ Bq/m}^3$  con una incertezza del 15% supera il livello di azione di  $500 \text{ Bq/m}^3$  e implica la necessità di valutare la dose ai lavoratori, e eventualmente di ridurre la concentrazione di radon).

La percentuale dei superamenti nelle abitazioni è stimata sulla base dei parametri statistici della distribuzione dei dati, nell'ipotesi di log-normalità; per i luoghi di lavoro le percentuali di superamento riguardano i singoli locali, e sono basate sui dati osservati.

Le metodologie di elaborazione dei dati che sono state utilizzate sono illustrate in dettaglio nel Rapporto Finale sull'indagine (giugno 2010), e fanno riferimento alla metodologia concordata nell'ambito del Piano Nazionale Radon, al tavolo del gruppo di lavoro sulle indagini territoriali, cui hanno partecipato diverse Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente, fra cui anche la Toscana.

Per quanto riguarda i luoghi di lavoro, date le caratteristiche innovative e sperimentali dell'indagine toscana, con ricadute potenziali importanti anche su altre regioni, l'elaborazione dei dati è stata effettuata integralmente in collaborazione con l'Istituto Superiore di Sanità.

I parametri calcolati sono sensibili alla bassa numerosità del campione che caratterizza la maggior parte dei Comuni; vanno quindi utilizzati sempre tenendo conto dei dati di partenza: infatti, in diversi casi la presenza di un dato anomalo (associato magari ad un locale non aerato per il non uso, oppure



una seconda casa, o una posizione particolare del dosimetro) può cambiare in modo decisivo gli indicatori rappresentati, rendendo molto instabile il risultato.

Dove invece il numero dei dati è più consistente (almeno 10), il risultato può essere considerato più stabile.

In conseguenza di ciò, gli indicatori per i Comuni possono mostrare variazioni che non corrispondono sempre a differenze significative da un punto di vista statistico in termini di livelli medi o percentuali di superamento dei livelli di riferimento: la diffusione e l'utilizzo dei risultati deve quindi sempre essere accompagnata da una attenta valutazione della numerosità e variabilità del campione all'interno del Comune.

Anche la presentazione e diffusione delle mappe che rappresentano la distribuzione territoriale degli indicatori deve essere valutata in tale ottica, e in particolare quella per Comune: per questa ragione si è preferito fornire qui in primo luogo i risultati accompagnati dal numero di dati che li supportano, al fine di evitare di trasmettere una informazione complessa in modo fuorviante.

Inoltre, se all'interno dei singoli Comuni sono presenti anche zone molto diverse dal punto di vista del radon, tali situazioni devono essere identificate e approfondite, sia considerando i parametri che rappresentano la variabilità dei dati, sia attraverso una analisi geologica sub-comunale, che è resa possibile dall'approccio utilizzato in Toscana.

## 5.1 I valori medi regionali nelle abitazioni

I valori medi di concentrazione di radon per la Regione Toscana sono stati ricalcolati sulla base dei risultati dell'indagine 2006-2010, che è estesa a tutto il territorio, insieme ai risultati delle misure delle indagini precedenti, che avevano coinvolto 24 Comuni (9 l'indagine nazionale, 15 l'indagine regionale nelle aree geotermiche). L'aggregazione dei risultati è stata condotta per tenere conto di tutte le informazioni disponibili, dopo avere verificato la compatibilità delle misure effettuate negli anni '90 e con l'ultima indagine.

I risultati nella Tabella 5.1, che mette a confronto i valori medi nazionali e regionali, mostrano che i livelli di radon in Toscana sono molto più bassi della media nazionale, e anche le percentuali di valori che superano i livelli di riferimento. Inoltre, con l'aggiunta dei nuovi dati 2006-2010, relativi a molti comuni dove non erano disponibili misure in precedenza, la stima della concentrazione media regionale è diminuita di circa il 20%.

Tabella 5.1. Parametri indicatori della distribuzione della concentrazione di radon nelle abitazioni in Italia (Indagine Nazionale) e in Toscana (tutti i dati).

Indagine	N abitazioni	N Comuni	MA Bq/m <sup>3</sup>	MG Bq/m <sup>3</sup>	% > 100 Bq/m <sup>3</sup>	% > 200 Bq/m <sup>3</sup>	% > 300 Bq/m <sup>3</sup>
Italia (fonte:ISS)	5631	232	70	52	-	4.1%	1.8%
Regione Toscana (2010)	1981	287	35	26	5.0%	1.5%	0.8%

Nel grafico in Figura 5.1 è invece rappresentata la distribuzione complessiva dei dati nelle abitazioni in Toscana, pesata per la popolazione dei Comuni risultante dal Censimento ISTAT 2001. E' evidente che la maggior parte dei dati è concentrata al di sotto del valore di 50 Bq/m<sup>3</sup>, ma ciò non toglie che in alcune zone possono essere presenti anche con frequenza elevata valori di concentrazione superiori ai livelli di riferimento raccomandati; queste zone pesano tuttavia molto poco in termini di popolazione rispetto al totale degli abitanti, che in Toscana, a differenza di regioni come il Lazio o il Friuli VG, si trovano a vivere prevalentemente in zone con poco radon.

Figura 5.1 *Distribuzione della concentrazione di radon nelle abitazioni in Toscana*

## **5.2 Risultati delle misure di concentrazione di radon in tutti i comuni – parametri statistici**

Negli Allegati A e B sono riportati i parametri che rappresentano la distribuzione del radon nelle abitazioni e, ove i dati sono presenti, nei luoghi di lavoro, in tutti i Comuni.

I 287 Comuni della Toscana presentano situazioni molto diverse dal punto di vista del *numero* di dati disponibili (in abitazioni, luoghi di lavoro, scuole), dei *livelli medi* di radon e delle *percentuali* di superamento dei limiti/riferimenti normativi.

Per valutare l'*entità* del problema radon in un Comune, in mancanza di criteri quantitativi condivisi o stabiliti per legge, è opportuno fare riferimento ai valori medi nazionali italiani, come anche indicato dalla International Commission for Radiological Protection (ICRP 65, 1993) e dalla prossima Direttiva del Consiglio; un Comune con il 4 o 5 % di abitazioni che superano 200 Bq/m<sup>3</sup> è quindi da considerare nella media, mentre se la percentuale è del 20 o 30 % certamente questo indicatore sarà da giudicare significativamente diverso e in particolare “alto” rispetto alla media nazionale.

Nella parte del territorio dove maggiore è la frequenza di superamenti, si concentreranno le risorse per cercare gli edifici con valori elevati della concentrazione di radon e qui saranno indirizzati i primi interventi di riduzione delle concentrazioni.

L'analisi della correlazione fra i valori di radon indoor e le formazioni geologiche della Toscana (analisi riportata in dettaglio nel Rapporto 2010) evidenzia che i livelli medi più elevati della concentrazione di radon e delle percentuali di superamento corrispondono a Comuni con parte del territorio su formazioni geologiche di origine magmatica, a chimismo intermedio-acido, che si trovano prevalentemente nella parte meridionale della regione e nelle isole, e in alcuni casi in corrispondenza di zone caratterizzate da rocce sedimentarie con elevata permeabilità, in particolare sull'Appennino.

Questo tipo di analisi, che consiste nel raggruppare i valori di concentrazione di radon per formazione geologica (o per aggregazione di formazioni) e calcolare i principali parametri statistici, rappresenta uno strumento semplice, ma efficace, sia per spiegare una parte della variabilità dei livelli di radon, che per indirizzare le indagini future; consente inoltre di stimare i livelli di concentrazione di radon dove mancano o sono poche le misure sperimentali e può quindi fornire indicazioni sulla distribuzione del radon con un dettaglio sub-comunale. Gli aspetti di correlazione fra radon e geologia non sono oggetto del presente rapporto, ma contribuiscono a completare il quadro interpretativo dei dati e saranno utili per la programmazione dei supplementi di indagine programmati dalla Regione.

### 5.3 Confronto fra i risultati nelle abitazioni e nei luoghi di lavoro

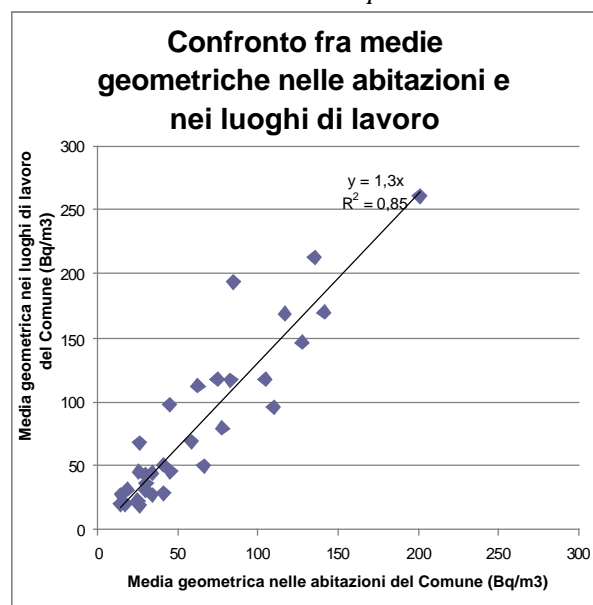
Un primo approccio al confronto fra i risultati ottenuti nelle abitazioni e nei luoghi di lavoro può essere rappresentato dall'andamento della media (geometrica) dei dati di concentrazione di radon nelle due diverse tipologie di siti di misura, negli stessi Comuni.

Nella Fig. 5.2 è riportato il grafico della media geometrica del Comune nei luoghi di lavoro in funzione della media geometrica dei risultati nelle abitazioni nello stesso Comune; il confronto è stato effettuato per i Comuni con un numero di dati pari o superiore di 10 per almeno una delle tipologie di misure (abitazioni o luoghi di lavoro), e comprende sostanzialmente i Comuni con i livelli di radon più alti e i capoluoghi di provincia.

Dal grafico è evidente la correlazione fra i livelli medi di radon nelle abitazioni e nei luoghi di lavoro, anche se in alcune situazioni la differenza non è trascurabile (ma bisogna tenere conto sempre dei numeri non elevati di dati in alcuni casi e dell'influenza per i luoghi di lavoro delle tipologie di attività campionate, fattore importante soprattutto quando i numeri sono bassi). Anche le percentuali di superamento dei rispettivi livelli di riferimento per le abitazioni e i luoghi di lavoro negli stessi Comuni sono simili, elevate dove il radon è alto, basse nei capoluoghi (vedi Allegati A e B).

Questo risultato è in gran parte atteso, visto che il fattore generalmente determinante ai fini della concentrazione di radon è il suolo, che è pertanto in comune ad entrambi i set di misure; è però anche vero che gli altri fattori influenti e la variabilità conseguente dei livelli di radon rendono necessario misurare un campione di alcune decine di edifici destinati a diverse attività se si tratta di luoghi di lavoro (e all'interno di questi numerosi locali), per caratterizzare adeguatamente una zona dal punto di vista dei livelli medi di radon.

Figura 5.2. Confronto fra le medie geometriche dei dati nelle abitazioni e nei luoghi di lavoro per un gruppo di Comuni dove entrambi sono presenti in numero sufficiente.



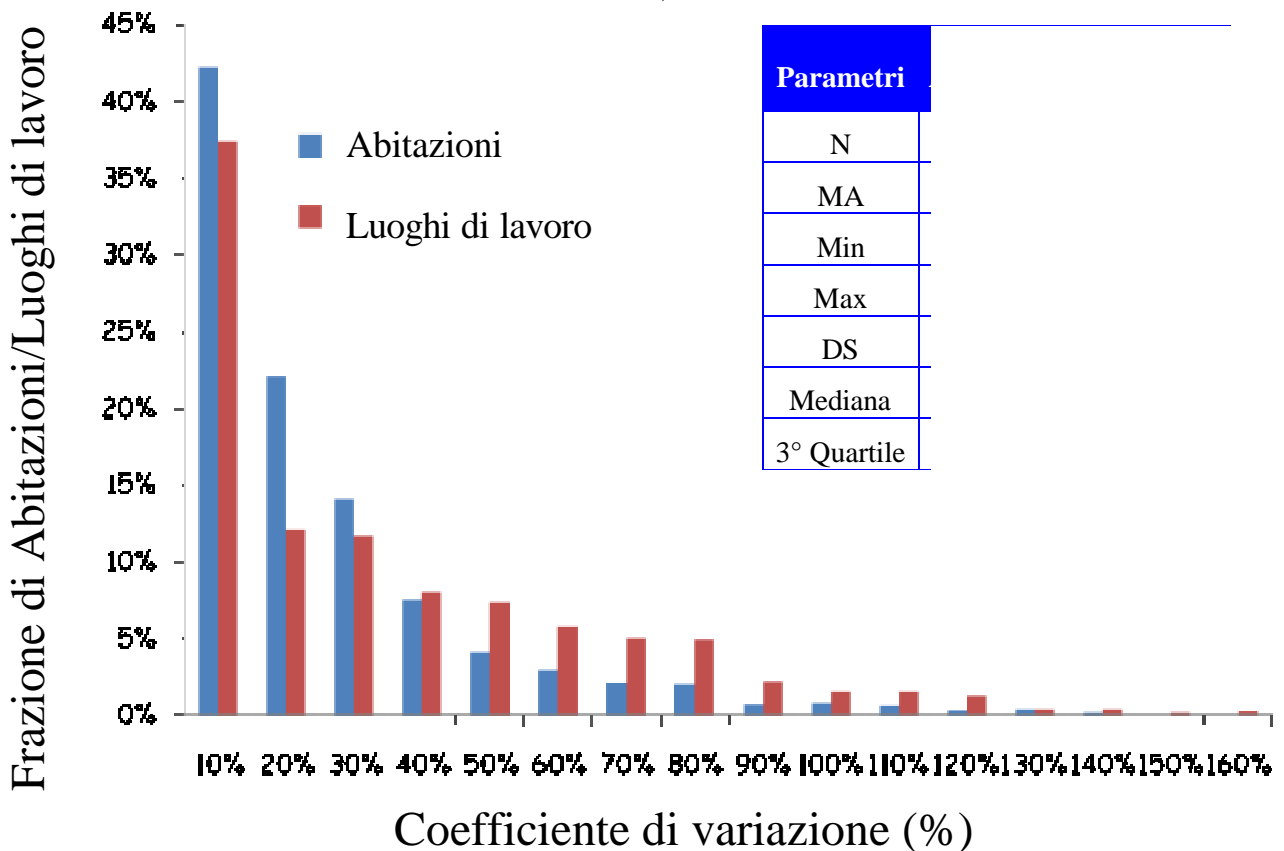
Va inoltre tenuto presente che, anche se l'individuazione delle *radon-prone areas* basata su misure nelle abitazioni o nei luoghi di lavoro appare equivalente da un punto di vista qualitativo, in quanto i livelli medi e le % di superamento dei livelli di riferimento fra abitazioni e luoghi di lavoro sono correlati, non lo è dal punto di vista quantitativo. Infatti, anche tenendo conto delle incertezze, i risultati della nostra indagine mostrano nei luoghi di lavoro in media il livello di radon è un po' più elevato rispetto alle abitazioni, a parità di area geografica, e non sono disponibili in letteratura dati sufficienti a trarre conclusioni diverse. Inoltre, la variabilità della concentrazione di radon fra i locali di edifici destinati ad attività lavorative è maggiore rispetto alle abitazioni; questa osservazione deriva dall'analisi della variabilità interna delle abitazioni e dei luoghi di lavoro, che è rappresentata con l'andamento del coefficiente di variazione in Figura 5.3.

Ciò implica in generale che sono necessarie molte più misure per caratterizzare dal punto di vista del radon sia un edificio che una zona utilizzando solo misure nei luoghi di lavoro, mentre essendo le abitazioni più uniformi sia dal punto di vista costruttivo che dell'utilizzo, queste risultano più adatte a costituire il nucleo di misure di riferimento per le indagini territoriali.

Tuttavia, per disporre dei dati utili anche l'individuazione dei luoghi di lavoro con caratteristiche particolari, che possono dare luogo a livelli di radon più elevati indipendentemente da dove l'edificio si trovi da un punto di vista geologico, e per verificare che in determinate aree la tipologia di luoghi di lavoro non porti a concentrazioni di radon molto diverse dalle abitazioni, la soluzione migliore nel pianificare le indagini territoriali è certamente quella di considerare entrambe le tipologie di destinazione d'uso degli edifici, abitazioni e luoghi di lavoro, in misura opportuna in relazione agli obiettivi prefissati.

L'analisi dei dati nei luoghi di lavoro, che può portare ad evidenziare alcune caratteristiche particolari, non è oggetto di questo rapporto, ma può essere utilizzata per stabilire le priorità di misura negli ambienti di lavoro sopra terra.

Figura 5.3 Coefficiente di variazione delle misure in diversi locali dello stesso edificio (variabilità interna)



## 6. PROPOSTA DI INDIVIDUAZIONE DEI COMUNI AI SENSI DELLA NORMATIVA PER I LUOGHI DI LAVORO

L'indagine regionale sulla distribuzione territoriale dei livelli di radon negli ambienti di vita e di lavoro è finalizzata, come specificato chiaramente nella convenzione, sia alla cosiddetta “mappatura”, che *all'individuazione delle zone ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon* citata nel D.Lgs. 230/95 e s.m.i.. In tali zone è previsto l'obbligo di misurare la concentrazione di radon in tutti i luoghi di lavoro, a partire da quelli che si trovano nei seminterrati e al piano terra .

La normativa, facendo riferimento alla *prima individuazione delle zone....*, introduce inoltre il concetto di “individuazione a stadi successivi”, man mano che le conoscenze acquisite con nuove indagini rendono necessario o opportuno modificare la prima individuazione.

I criteri per l'individuazione delle aree dove i livelli elevati della concentrazione di radon hanno maggiore probabilità di presentarsi avrebbero dovuto essere emanati dalla Sezione Speciale delle Commissione Tecnica (art. 10-septies DLgs 230/95 e s.m.i.), che però non è mai stata costituita. Mancano dunque criteri nazionali di riferimento, e anche a livello internazionale il panorama è molto articolato, anche perché i criteri di individuazione delle radon-prone areas rispondono di norma a obiettivi di tipo sanitario e amministrativo e sono quindi scelti in relazione alla situazione del paese (vedi bibliografia generale, e in particolare Sinnott e Fenton, 2005b; WHO, 2009) e delle azioni normative e amministrative collegate con tale individuazione.

In generale si può affermare che, nella maggior parte dei casi i criteri sono basati su una categorizzazione dei parametri statistici che rappresentano la distribuzione dei dati di concentrazione di radon (valori medi, oppure % di superamento dei livelli di riferimento/azione in una determinata unità territoriale); la porzione di territorio che cade nella categoria più alta è dunque quella candidata sia per l'applicazione della normativa nei luoghi di lavoro, che per concentrare le risorse dedicate all'individuazione degli edifici con concentrazioni elevate e, infine, per indirizzare i primi interventi per la riduzione della concentrazione di radon anche nelle abitazioni.

Nel Rapporto finale sull'Indagine in Toscana e nella nota integrativa al rapporto stesso (inviati alla Regione nel 2010) sono stati prospettati diversi approcci per la classificazione dei Comuni e l'individuazione delle *radon-prone areas*, basati sui parametri che rappresentano la distribuzione dei dati (media geometrica e % di superamento dei livelli di riferimento/azione), i quali erano comunque finalizzati a valutare il numero di edifici con valori elevati della concentrazione, che sono potenzialmente oggetto delle normative. Nello schema riportato nel rapporto si teneva inoltre conto sia delle misure nelle abitazioni che nei luoghi di lavoro, cercando quindi di tener conto dell'insieme dei dati disponibili in Toscana e delle loro diverse caratteristiche. Oltre a ciò, è stato anche presentato uno spettro di approcci e azioni possibili da programmare, sia per l'attuazione della normativa, che per la riduzione di livelli di radon in regione Toscana. Il quadro che ne è emerso è molto articolato, e non semplice da gestire per la sua complessità intrinsecamente legata all'impiego di numerosi parametri, anche se tutti legati direttamente o indirettamente al superamento di livelli di riferimento.

In conseguenza di ciò, è stato intrapreso un percorso di semplificazione dell'approccio sulla base delle considerazioni che seguono.

Nel capitolo precedente si è evidenziato come il radon nei luoghi di lavoro sia più variabile che nelle abitazioni, e quindi come l'individuazione delle *radon-prone areas* sulla base di misure di concentrazione di radon nei luoghi di lavoro richieda un campione più numeroso e più ambienti misurati rispetto alle abitazioni.

Inoltre, va tenuto presente che la situazione normativa internazionale si sta evolvendo rapidamente in modo sostanziale, in particolare:

- 1) la già citata proposta di Direttiva del Consiglio *Basic Safety Standards ...*, attualmente in discussione presso il *Gruppo questioni atomiche* dell'Euratom, prevede (tra le varie cose):
  - a) il rafforzamento del quadro normativo per la protezione dall'esposizione al radon, includendo le abitazioni oltre ai luoghi di lavoro, e delle strategie di riduzione dei livelli di radon con

interventi sia sugli edifici esistenti, che su quelli da costruire; in questo contesto l'individuazione e stima quantitativa del numero degli edifici con concentrazioni superiori al livello di riferimento assume un ruolo chiave, coerentemente, la proposta di Direttiva definisce radon-prone area *una area geografica o regione amministrativa individuata sulla base di indagini che indicano che la percentuale attesa di abitazioni superiore al livello di riferimento nazionale sia significativamente più alta rispetto ad altre parti del paese;*

- b) stabilisce che gli Stati Membri individuino un livello di riferimento della concentrazione di radon per le abitazioni esistenti non superiore a 300 Bq/m<sup>3</sup>, facendo propria la raccomandazione del WHO, mentre per le abitazioni future un valore che non superi i 200 Bq/m<sup>3</sup>;
  - c) tratta i luoghi di lavoro con accesso al pubblico allo stesso modo delle abitazioni;
- 2) l'ICRP nell'ultimo documento di prossima pubblicazione dopo la chiusura della fase di consultazione (Radiological Protection against Radon Exposure, rif. 4829-9671-6554 del 6/12/2011) propone che in prima battuta tutti i luoghi di lavoro siano considerati come le abitazioni, tranne quelli per i quali la presenza di radon è connessa all'attività lavorativa, in quanto molti edifici sono a destinazione mista e in tal caso deve essere applicato il livello di riferimento per le abitazioni anche al luogo di lavoro.

Oltre alle considerazioni sulla tendenza della normativa, di fondamentale importanza è l'orientamento delle strutture competenti della Regione Toscana di procedere con l'individuazione dei Comuni che presentano un problema di radon accertato sulla base di un numero di dati valutato sufficiente per lo scopo (che è stato al momento stabilito uguale a 15), e di affidare ad Arpat un supplemento d'indagine nei Comuni che presentano un problema di radon potenziale, ma per i quali al momento vi è un numero di dati insufficiente per valutare adeguatamente la situazione.

Concludendo, il percorso di approfondimento dei risultati dell'indagine e delle possibili linee di intervento per la riduzione dell'esposizione al radon fatto nell'ambito delle strutture regionali, insieme alle altre considerazioni riportate sopra, consentono di semplificare l'approccio alla *prima individuazione* ai sensi del D.Lgs. 230/95 s.m.i. dei Comuni in Toscana, riducendo i parametri da utilizzare a quelli relativi alle sole abitazioni, e privilegiando la % di superamenti del livello di riferimento, valutata sulla base di un numero minimo di misure da un campione rappresentativo.

Per definire in modo compiuto una proposta per la *prima individuazione*, è a questo punto necessario definire i valori numerici dei parametri N di misure e %>livello di riferimento per le abitazioni.

Per quanto riguarda il livello di riferimento per le abitazioni, fermo restando che non è qui definito il livello di riferimento regionale, la proposta è di utilizzare 200 Bq/m<sup>3</sup>, che rappresenta un valore medio fra i 100 e i 300 Bq/m<sup>3</sup> raccomandati dal WHO, e consente di stimare le % di superamento in modo più solido rispetto a livelli più alti, ad esempio 300 Bq/m<sup>3</sup>.

Tenendo conto che in Italia la percentuale di abitazioni (stimata sulla base dell'Indagine Nazionale) che superano il livello di riferimento di 200 Bq/m<sup>3</sup> è circa il 4,1%, si è valutato (anche in accordo con l'Istituto Superiore di Sanità) che un valore soglia della percentuale pari al 10% possa essere considerato significativamente superiore alla media nazionale (e a maggior ragione alla media regionale toscana, pari a 1,5%).

Il numero di dati considerato sufficiente per il momento è pari a 15.

L'approccio semplificato proposto per l'individuazione dei Comuni è quindi basato su due soli parametri, e i criteri sono sintetizzati nella Tabella 6.1.

Tabella 6.1 Criterio proposto per l'individuazione dei Comuni ai sensi del D.Lgs. 230/95 e s.m.i..

Parametro	Criterio
N (numero di abitazioni misurate con un campionamento rappresentativo)	• 15
%>200 Bq/m <sup>3</sup> (percentuale di abitazioni che superano il livello di riferimento di 200 Bq/m <sup>3</sup> )	• 10%

L'elenco dei Comuni della Toscana che, sulla base di tali criteri, risultano individuati ai sensi della normativa è riportato nella Tabella 6.2, dove sono evidenziati in grassetto i valori dei due parametri utilizzati per l'individuazione e che contiene a scopo informativo i principali parametri che sintetizzano i risultati delle misure, sia nelle abitazioni che nei luoghi di lavoro.

Con la metodologia proposta i Comuni interessati in questa fase sono 13, con una popolazione complessiva di circa 50.000 abitanti (49331 residenti al 31/12/2010, pari a circa l'1,3 per cento del totale regionale, dati ISTAT).

I dati nella Tabella 6.2 mostrano che, salvo nel caso di Piteglio, dove il numero di luoghi di lavoro misurati è relativamente piccolo, nei Comuni individuati il problema del radon si presenta sia nelle abitazioni che nei luoghi di lavoro (inclusi gli edifici con accesso al pubblico e le scuole).

In alcuni casi le differenze di entità nei valori medi e nei superamenti dei livelli di riferimento sono non significative da un punto di vista statistico (ad esempio fra Santa Fiora e Abbadia San Salvatore); inoltre i parametri della distribuzione rappresentano valori medi per il territorio comunale, ma è necessario tenere presente che in alcuni casi il Comune può presentare una forte disomogeneità territoriale, come nel caso di Montecatini Val di Cecina.

Tabella 6.2 Comuni individuati in Toscana ai sensi del D.Lgs. 230/95 e s.m.i..

Provincia	Comune	Abitazioni				Luoghi di lavoro			
		N	MA Bq/m <sup>3</sup>	MG Bq/m <sup>3</sup>	% > 200 Bq/m <sup>3</sup>	N	MA Bq/m <sup>3</sup>	MG Bq/m <sup>3</sup>	% > 400 Bq/m <sup>3</sup>
Grosseto	Sorano	<b>19</b>	289	201	<b>50%</b>	40	622	260	43%
Grosseto	Santa Fiora	<b>24</b>	240	168	<b>42%</b>	28	245	169	36%
Siena	Piancastagnaio	<b>28</b>	211	151	<b>38%</b>	29	289	170	24%
Siena	Abbadia San Salvatore	<b>39</b>	205	153	<b>36%</b>	37	246	147	19%
Grosseto	Isola del Giglio	<b>22</b>	157	110	<b>27%</b>	7	151	95	29%
Livorno	Marciana	<b>18</b>	161	84	<b>25%</b>	16	369	193	31%
Grosseto	Pitigliano	<b>16</b>	155	135	<b>24%</b>	34	329	213	38%
Pisa	Montecatini Val di Cecina	<b>19</b>	344	59	<b>22%</b>	17	278	98	18%
Grosseto	Arcidosso	<b>28</b>	143	112	<b>22%</b>	30	239	118	27%
Grosseto	Roccastrada	<b>16</b>	119	77	<b>18%</b>	32	151	80	13%
Grosseto	Castel del Piano	<b>25</b>	117	91	<b>13%</b>	35	247	116	14%
Livorno	Marciana Marina	<b>15</b>	111	74	<b>13%</b>	16	183	118	13%
Pistoia	Piteglio	<b>19</b>	106	66	<b>12%</b>	11	61	50	0%

## CONCLUSIONI

Nel presente rapporto è descritta l'indagine campionaria sulla distribuzione territoriale dei livelli di radon nelle abitazioni e, caratteristica per ora unica in campo nazionale e rara in capo internazionale, nei luoghi di lavoro, indagine condotta su tutti i Comuni della Regione Toscana per *l'individuazione delle zone ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon* prevista nel D.Lgs. 230/95 e s.m.i..

L'indagine ha coinvolto complessivamente quasi 2000 abitazioni e circa 1300 fra luoghi di lavoro e scuole, in tutti i Comuni della Toscana, con un numero di locali misurati per due semestri consecutivi pari a circa 7800.

Il rapporto contiene i risultati delle misure nelle abitazioni e nei luoghi di lavoro mediante parametri statistici rappresentativi della distribuzione dei dati in ogni Comune. L'indagine ha fornito quindi una prima stima quantitativa della concentrazione di radon negli edifici per tutti i Comuni della Regione, ovviamente con un grado di incertezza connesso al limitato (e in molti casi necessariamente piccolo) numero di abitazioni e luoghi di lavoro campionati nei singoli Comuni. Infatti, anche se l'indagine si è svolta su un campione complessivo molto rilevante e ha richiesto di conseguenza uno sforzo notevole per la sua realizzazione, si è volutamente scelto di intensificare le misure nei Comuni dove erano attesi i livelli medi di radon più elevati, al fine di ottenere una stima migliore degli indicatori rappresentativi della distribuzione del radon in questi Comuni, e di consentire in tali Comuni un confronto dettagliato fra le abitazioni i luoghi di lavoro.

L'estensione delle misure di radon a tutto il territorio regionale ha confermato che la popolazione in Toscana è esposta a livelli di radon medi più bassi della media nazionale e ad altre regioni; sono però presenti alcune zone dove sono più frequenti i superamenti dei livelli di riferimento, in particolare su formazioni geologiche di origine magmatica, che si trovano prevalentemente nella parte meridionale della regione e nelle isole, e in alcuni casi in corrispondenza di rocce sedimentarie con elevata permeabilità, sull'Appennino.

Dall'analisi dei dati emerge inoltre una maggiore variabilità della concentrazione di radon negli ambienti di lavoro rispetto alle abitazioni, e che nei luoghi di lavoro i livelli di radon sono in media un po' più elevati che nelle abitazioni della stessa area geografica.

Questi risultati hanno importanti implicazioni sulle modalità di applicazione dell'attuale normativa e sulle metodologie per l'individuazione delle *radon-prone areas*. Infatti, una maggiore variabilità della concentrazione di radon richiede di coinvolgere un campione più numeroso per le indagini territoriali, e favorisce l'utilizzo delle abitazioni per l'individuazione delle zone con livelli di radon significativamente diversi dalla media nazionale, prevista dalla normativa.

L'indagine nei luoghi di lavoro contiene numerosi elementi conoscitivi di novità, che potranno essere ulteriormente approfonditi in seguito, riguardanti l'individuazione delle caratteristiche dei luoghi di lavoro che possono favorire concentrazioni di radon più elevate. Anche questa individuazione è richiesta dalla normativa italiana.

Nel capitolo 6 viene quindi proposto un elenco di 13 Comuni per la prima individuazione ai sensi del D.Lgs. 230/95 e s.m.i., dove l'esistenza di livelli di radon significativamente più elevati rispetto alla media nazionale è accertata sulla base di un numero minimo di dati (15) nelle abitazioni, e dove la percentuale di abitazioni che superano  $200 \text{ Bq/m}^3$  è uguale o maggiore al 10%. La proposta dell'Agenzia è basata sia sull'evoluzione della normativa, in particolare la proposta di Direttiva del Consiglio in materia, che sulla pianificazione delle strutture competenti regionali, che ha previsto indagini suppletive nei Comuni che presentano indicazioni di un potenziale problema di radon, ma per i quali non sono disponibili dati sufficienti allo stato attuale: questi non sono quindi oggetto della prima individuazione.

L'approccio utilizzato per l'individuazione dei Comuni, così come la pianificazione del campionamento e l'analisi dati dell'indagine, è stato discusso e concordato anche con l'Istituto Superiore di Sanità, che coordina il Piano Nazionale Radon, con lo scopo di mantenere un costante



riferimento agli indirizzi nazionali e all'evoluzione delle normative in materia, a supporto e garanzia delle decisioni politico-amministrative.

Con l'adozione degli atti di competenza per l'individuazione dei Comuni ai sensi del D.Lgs. 230/95 e s.m.i., la Regione Toscana può fornire lo strumento fondamentale ai datori di lavoro e agli organi di prevenzione e vigilanza per l'applicazione della normativa, che richiede di misurare il radon in tutti i luoghi di lavoro nei Comuni individuati e, se del caso, ridurne la concentrazione.



## BIBLIOGRAFIA

- Bochicchio F. *The newest international trend about regulation of indoor radon*. Proc. of AOCRP-3, Third Asian-Oceanic Congress on Radiation Protection, Tokyo 24-28 maggio, IK 0155; 2010.
- Bochicchio F., Campos Venuti G., Nuccetelli C., Piermattei S., Risica S., Tommasino L. Torri G. *Results of the representative italian national survey on radon indoors*. Health Phys. 71(1), 741-748; 1996.
- Bochicchio F., Campos Venuti G., Piermattei S., Nuccetelli C., Risica S., Tommasino L. Torri G., et al. *Annual average and seasonal variations of residential radon concentration for all Italian Regions*. Radiation Measurements 40, 686-694; 2005.
- Dubois G. *An overview of radon surveys in Europe*. European Commission report, EUR 21892 EN, (scaricabile da: <http://radonmapping.jrc.it>); 2005.
- Commissione Europea *Proposal for a Council Directive laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation*, 2011/0254 (NLE), Brussels 30.5.2012 (scaricabile da [http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation\\_protection/doc/2012\\_com\\_242.pdf](http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/2012_com_242.pdf))
- IAEA Safety Standards *International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources*. Draft Safety Requirements DS379, Draft 3.0; 2010.
- ICRP *Protection Against Radon-222 at Home and at Work*. ICRP Publication 65, Pergamon, ISBN 0-08-042475-9; 1994.
- ICRP *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103, Elsevier, ISBN 978-0-7020-3048-2; 2007
- ICRP *Radiological Protection against Radon Exposure*, rif. 4829-9671-6554, 6 Dicembre 2011
- Ministero della Salute, *Piano Nazionale Radon*. (scaricabile da <http://www.iss.it/binary/tesa/cont/PNR-Testo%20completo.1195145887.pdf>); 2002
- Synnott H., Fenton D. *An evaluation of radon mapping techniques in Europe*. European Radon Research and Industry Collaborative Concerted Action (ERRICCA 2), European Commission Contract, FIRI-CT-2001-20142 (scaricabile da: [www.rpii.ie/reports](http://www.rpii.ie/reports)); 2005a.
- Synnott H., Fenton D. *An evaluation of radon Reference Levels and radon measurement techniques and protocols in European countries*. European Radon Research and Industry Collaborative Concerted Action (ERRICCA 2), European Commission Contract, FIRI-CT-2001-20142 (scaricabile da: [www.rpii.ie/reports](http://www.rpii.ie/reports)); 2005b.
- United Nations Scientific Committee *Effects of ionizing radiation UNSCEAR 2006 report vol. I*, 2006.
- World Health Organization *International Radon Project Survey on Radon Guidelines, Programmes and Activities*. WHO, Geneva; 2007.
- World Health Organization *Who handbook on indoor radon: a public health perspective*. ISBN 978-92-4-154767-3; 2009.

**Allegato A - Abitazioni - Parametri statistici della distribuzione della concentrazione di radon per Comune.**

Provincia	Comune	N	MA Bq/m <sup>3</sup>	MG Bq/m <sup>3</sup>	% > 100 Bq/m <sup>3</sup>	% > 200 Bq/m <sup>3</sup>	% > 300 Bq/m <sup>3</sup>
Siena	Abbadia San Salvatore	39	205	153	71%	36%	19%
Pistoia	Abetone	5	54	45	16%	3%	1%
Pistoia	Agliana	3	16	15	0%	0%	0%
Lucca	Altopascio	3	29	29	0%	0%	0%
Arezzo	Anghiari	5	58	39	20%	7%	3%
Grosseto	Arcidosso	28	143	112	56%	22%	9%
Arezzo	Arezzo	14	39	33	3%	0%	0%
Siena	Asciano	8	30	26	1%	0%	0%
Massa-Carrara	Aulla	3	60	59	2%	0%	0%
Arezzo	Badia Tedalda	3	32	25	8%	2%	1%
Lucca	Bagni di Lucca	5	124	92	46%	20%	10%
Firenze	Bagno a Ripoli	1	12	12			
Massa-Carrara	Bagnone	5	52	39	15%	4%	1%
Firenze	Barberino di Mugello	3	44	35	15%	4%	2%
Firenze	Barberino Val d'Elsa	6	41	30	10%	2%	1%
Lucca	Barga	3	94	73	37%	15%	7%
Arezzo	Bibbiena	5	44	39	6%	0%	0%
Livorno	Bibbona	3	46	24	18%	8%	5%
Pisa	Bientina	1	24	24			
Lucca	Borgo a Mozzano	3	40	36	6%	0%	0%
Firenze	Borgo San Lorenzo	6	18	18	0%	0%	0%
Arezzo	Bucine	4	37	37	0%	0%	0%
Pistoia	Buggiano	1	22	22			
Siena	Buonconvento	2	28	28	0%	0%	0%
Pisa	Buti	1	15	15			
Pisa	Calci	3	24	23	0%	0%	0%
Pisa	Calcinaia	2	20	20	0%	0%	0%
Firenze	Calenzano	1	9	9			
Lucca	Camaiore	68	42	34	7%	0%	0%
Grosseto	Campagnatico	7	75	47	25%	9%	5%
Firenze	Campi Bisenzio	4	19	19	0%	0%	0%
Livorno	Campiglia Marittima	2	22	19	3%	0%	0%
Livorno	Campo nell'Elba	18	55	40	14%	3%	1%
Lucca	Camporgiano	6	59	43	18%	5%	2%
Prato	Cantagallo	10	61	39	15%	4%	1%
Grosseto	Capalbio	5	181	119	55%	34%	23%
Pisa	Capannoli	5	35	32	1%	0%	0%
Lucca	Capannori	3	25	23	1%	0%	0%
Livorno	Capoliveri	5	73	63	24%	4%	1%
Arezzo	Capolona	3	58	51	17%	3%	1%
Firenze	Capraia e Limite	3	20	20	0%	0%	0%
Livorno	Capraia Isola	20	84	62	27%	7%	2%
Arezzo	Caprese Michelangelo	6	107	68	35%	14%	7%
Lucca	Careggine	4	64	43	24%	10%	6%
Prato	Carmignano	5	26	22	1%	0%	0%
Massa-Carrara	Carrara	10	29	26	0%	0%	0%
Pisa	Casale Marittimo	4	50	47	3%	0%	0%

Provincia	Comune	N	MA Bq/m <sup>3</sup>	MG Bq/m <sup>3</sup>	% > 100 Bq/m <sup>3</sup>	% > 200 Bq/m <sup>3</sup>	% > 300 Bq/m <sup>3</sup>
Pisa	Casciana Terme	5	47	27	12%	3%	1%
Pisa	Cascina	1	16	16			
Massa-Carrara	Casola in Lunigiana	6	52	42	14%	3%	1%
Siena	Casole d'Elsa	4	37	27	11%	3%	1%
Livorno	Castagneto Carducci	1	9	9			
Grosseto	Castel del Piano	25	117	91	45%	13%	5%
Arezzo	Castel Focognano	4	96	52	31%	15%	9%
Arezzo	Castel San Niccolò	18	56	45	12%	1%	0%
Firenze	Castelfiorentino	1	23	23			
Arezzo	Castelfranco di Sopra	3	82	66	34%	14%	7%
Pisa	Castelfranco di Sotto	3	50	35	18%	7%	3%
Grosseto	Castell'Azzara	4	96	80	40%	15%	7%
Siena	Castellina in Chianti	5	39	30	8%	1%	0%
Pisa	Castellina Marittima	5	28	23	4%	0%	0%
Siena	Castelnuovo Berardenga	6	20	18	0%	0%	0%
Lucca	Castelnuovo di Garfagnana	3	45	42	5%	0%	0%
Pisa	Castelnuovo di Val di Cecina	15	31	27	2%	0%	0%
Arezzo	Castiglion Fibocchi	7	65	48	17%	3%	1%
Arezzo	Castiglion Fiorentino	9	27	23	1%	0%	0%
Grosseto	Castiglione della Pescaia	7	41	33	8%	1%	0%
Lucca	Castiglione di Garfagnana	5	27	25	0%	0%	0%
Siena	Castiglione d'Orcia	17	56	34	11%	2%	1%
Arezzo	Cavriglia	3	20	20	0%	0%	0%
Livorno	Cecina	4	43	40	2%	0%	0%
Firenze	Cerreto Guidi	4	42	37	6%	0%	0%
Firenze	Certaldo	4	32	29	1%	0%	0%
Siena	Cetona	6	76	52	28%	11%	6%
Siena	Chianciano Terme	6	18	13	0%	0%	0%
Pisa	Chianni	5	26	22	2%	0%	0%
Pistoia	Chiesina Uzzanese	3	19	18	0%	0%	0%
Arezzo	Chitignano	3	51	48	7%	0%	0%
Siena	Chiusdino	12	50	37	9%	1%	0%
Siena	Chiusi	4	63	41	21%	8%	4%
Arezzo	Chiusi della Verna	4	58	51	15%	2%	0%
Grosseto	Cinigiano	6	40	35	2%	0%	0%
Arezzo	Civitella in Val di Chiana	2	115	115	100%	0%	0%
Grosseto	Civitella Paganico	5	60	40	17%	4%	2%
Siena	Colle di Val d'Elsa	6	32	26	4%	0%	0%
Livorno	Collesalveti	2	26	23	5%	1%	0%
Massa-Carrara	Comano	3	33	31	0%	0%	0%
Lucca	Coreglia Antelminelli	4	63	60	11%	0%	0%
Arezzo	Cortona	3	19	17	0%	0%	0%
Pisa	Crespina	2	98	87	44%	18%	8%

Provincia	Comune	N	MA Bq/m <sup>3</sup>	MG Bq/m <sup>3</sup>	% > 100 Bq/m <sup>3</sup>	% > 200 Bq/m <sup>3</sup>	% > 300 Bq/m <sup>3</sup>
Pistoia	Cutigliano	5	167	120	57%	31%	19%
Firenze	Dicomano	2	26	23	5%	1%	0%
Firenze	Empoli	3	14	13	0%	0%	0%
Lucca	Fabbriche di Vallico	5	45	39	7%	1%	0%
Pisa	Fauglia	2	12	11	0%	0%	0%
Firenze	Fiesole	5	16	16	0%	0%	0%
Firenze	Figline Valdarno	4	22	19	1%	0%	0%
Massa-Carrara	Filattiera	3	29	28	0%	0%	0%
Firenze	Firenze	48	24	22	0%	0%	0%
Firenze	Firenzuola	7	26	23	0%	0%	0%
Massa-Carrara	Fivizzano	5	80	61	27%	7%	2%
Arezzo	Foiano della Chiana	4	68	41	25%	12%	7%
Grosseto	Follonica	2	26	24	0%	0%	0%
Lucca	Forte dei Marmi	3	23	22	0%	0%	0%
Lucca	Fosciandora	5	99	61	34%	16%	9%
Massa-Carrara	Fosdinovo	6	46	43	4%	0%	0%
Firenze	Fucecchio	5	31	24	4%	0%	0%
Siena	Gaiole in Chianti	5	26	24	0%	0%	0%
Lucca	Galliciano	4	74	62	27%	7%	2%
Firenze	Gambassi Terme	5	31	27	2%	0%	0%
Grosseto	Gavorrano	6	45	34	10%	2%	0%
Lucca	Giuncugnano	4	47	43	7%	0%	0%
Firenze	Greve in Chianti	7	48	37	10%	2%	0%
Grosseto	Grosseto	168	46	38	7%	0%	0%
Pisa	Guardistallo	6	27	23	2%	0%	0%
Firenze	Impruneta	7	23	21	0%	0%	0%
Firenze	Incisa in Val d'Arno	7	52	29	11%	3%	1%
Grosseto	Isola del Giglio	22	157	110	54%	27%	15%
Pisa	Lajatico	5	19	18	0%	0%	0%
Pistoia	Lamporecchio	3	32	30	1%	0%	0%
Pistoia	Larciano	2	43	30	23%	12%	8%
Pisa	Lari	2	54	52	5%	0%	0%
Firenze	Lastra a Signa	5	21	20	0%	0%	0%
Arezzo	Laterina	2	68	64	24%	4%	1%
Massa-Carrara	Licciana Nardi	3	33	27	8%	1%	0%
Livorno	Livorno	25	23	21	0%	0%	0%
Firenze	Londa	5	51	46	10%	1%	0%
Pisa	Lorenzana	1	21	21			
Arezzo	Loro Ciuffenna	3	22	18	2%	0%	0%
Lucca	Lucca	12	31	25	2%	0%	0%
Arezzo	Lucignano	6	38	33	4%	0%	0%
Grosseto	Magliano in Toscana	5	54	45	13%	2%	0%
Grosseto	Manciano	7	28	26	0%	0%	0%
Livorno	Marciana	18	161	84	45%	25%	16%
Livorno	Marciana Marina	15	111	74	37%	13%	6%
Arezzo	Marciano della Chiana	5	40	35	6%	0%	0%
Pistoia	Marliana	4	51	47	6%	0%	0%
Firenze	Marradi	5	80	48	25%	10%	5%
Massa-Carrara	Massa	11	36	30	4%	0%	0%

Provincia	Comune	N	MA Bq/m <sup>3</sup>	MG Bq/m <sup>3</sup>	% > 100 Bq/m <sup>3</sup>	% > 200 Bq/m <sup>3</sup>	% > 300 Bq/m <sup>3</sup>
Pistoia	Massa e Cozzile	2	38	33	12%	2%	1%
Grosseto	Massa Marittima	3	250	106	51%	38%	31%
Lucca	Massarosa	2	22	22	0%	0%	0%
Lucca	Minucciano	3	93	87	39%	5%	1%
Lucca	Molazzana	5	47	33	13%	3%	1%
Pistoia	Monsummano Terme	3	28	24	4%	0%	0%
Firenze	Montaione	6	22	21	0%	0%	0%
Siena	Montalcino	6	50	38	15%	4%	1%
Pistoia	Montale	4	42	40	2%	0%	0%
Grosseto	Monte Argentario	5	63	57	15%	1%	0%
Arezzo	Monte San Savino	3	44	41	6%	0%	0%
Lucca	Montecarlo	2	44	42	7%	0%	0%
Pisa	Montecatini Val di Cecina	19	344	59	37%	22%	15%
Pistoia	Montecatini-Terre	5	25	20	2%	0%	0%
Firenze	Montelupo Fiorentino	4	41	30	12%	3%	1%
Arezzo	Montemignaio	7	175	100	50%	29%	19%
Prato	Montemurlo	1	12	12			
Siena	Montepulciano	5	69	58	24%	5%	2%
Arezzo	Monterchi	3	38	36	0%	0%	0%
Siena	Monteriggioni	5	21	17	1%	0%	0%
Siena	Monteroni d'Arbia	6	18	17	0%	0%	0%
Grosseto	Monterotondo Marittimo	9	42	30	8%	1%	0%
Pisa	Montescudaio	4	32	29	1%	0%	0%
Firenze	Montespertoli	5	25	20	2%	0%	0%
Arezzo	Montevarchi	1	27	27			
Pisa	Monteverdi Marittimo	7	44	29	10%	2%	1%
Siena	Monticiano	7	26	23	0%	0%	0%
Grosseto	Montieri	10	90	59	29%	9%	4%
Massa-Carrara	Montignoso	4	40	31	8%	1%	0%
Pisa	Montopoli in Val d'Arno	3	22	21	0%	0%	0%
Massa-Carrara	Mulazzo	3	55	49	13%	1%	0%
Siena	Murlo	4	29	23	4%	0%	0%
Grosseto	Orbetello	5	72	49	26%	10%	5%
Pisa	Orciano Pisano	7	23	22	0%	0%	0%
Arezzo	Ortignano Raggiolo	6	65	59	16%	1%	0%
Pisa	Palaia	5	29	28	0%	0%	0%
Firenze	Palazzuolo sul Senio	5	47	42	6%	0%	0%
Pisa	Peccioli	6	27	26	0%	0%	0%
Firenze	Pelago	5	23	22	0%	0%	0%
Arezzo	Pergine Valdarno	5	39	35	2%	0%	0%
Lucca	Pescaglia	5	60	41	20%	6%	3%
Pistoia	Pescia	4	57	40	17%	5%	2%
Arezzo	Pian di Sco	7	23	23	0%	0%	0%
Siena	Piancastagnaio	28	211	151	67%	38%	23%
Lucca	Piazza al Serchio	3	192	107	52%	37%	29%
Siena	Pienza	5	29	27	0%	0%	0%

Provincia	Comune	N	MA Bq/m <sup>3</sup>	MG Bq/m <sup>3</sup>	% > 100 Bq/m <sup>3</sup>	% > 200 Bq/m <sup>3</sup>	% > 300 Bq/m <sup>3</sup>
Lucca	Pietrasanta	2	70	42	33%	21%	15%
Pistoia	Pieve a Nievole	3	19	19	0%	0%	0%
Lucca	Pieve Fosciana	2	55	53	7%	0%	0%
Arezzo	Pieve Santo Stefano	6	30	28	0%	0%	0%
Livorno	Piombino	5	12	11	0%	0%	0%
Pisa	Pisa	18	22	20	0%	0%	0%
Pistoia	Pistoia	9	33	30	1%	0%	0%
Pistoia	Piteglio	19	106	66	33%	12%	5%
Grosseto	Pitigliano	16	155	135	71%	24%	7%
Massa-Carrara	Podenzana	3	40	31	10%	2%	1%
Siena	Poggibonsi	6	30	27	0%	0%	0%
Prato	Poggio a Caiano	3	16	15	0%	0%	0%
Pisa	Pomarance	26	51	39	11%	2%	0%
Pisa	Ponsacco	2	14	14	0%	0%	0%
Firenze	Pontassieve	4	19	17	0%	0%	0%
Pistoia	Ponte Buggianese	5	45	43	1%	0%	0%
Pisa	Pontedera	4	15	14	0%	0%	0%
Massa-Carrara	Pontremoli	7	84	37	21%	8%	4%
Arezzo	Poppi	4	47	33	13%	3%	1%
Lucca	Porcari	3	42	41	0%	0%	0%
Livorno	Porto Azzurro	7	31	25	3%	0%	0%
Livorno	Portoferraio	16	73	40	21%	8%	4%
Prato	Prato	28	27	22	1%	0%	0%
Arezzo	Pratovecchio	2	22	21	1%	0%	0%
Pistoia	Quarrata	3	45	42	4%	0%	0%
Siena	Radda in Chianti	6	80	45	27%	13%	8%
Siena	Radicofani	15	87	66	30%	9%	3%
Siena	Radicondoli	11	69	49	21%	5%	2%
Siena	Rapolano Terme	5	21	18	0%	0%	0%
Firenze	Reggello	5	49	33	14%	4%	2%
Firenze	Rignano sull'Arno	10	38	28	3%	0%	0%
Livorno	Rio Marina	4	29	26	1%	0%	0%
Livorno	Rio nell'Elba	4	18	17	0%	0%	0%
Pisa	Riparbella	2	15	15	0%	0%	0%
Grosseto	Roccalbegna	5	80	41	26%	13%	8%
Grosseto	Roccastrada	16	119	77	40%	18%	10%
Livorno	Rosignano Marittimo	2	28	24	5%	1%	0%
Firenze	Rufina	5	33	24	5%	1%	0%
Pistoia	Sambuca Pistoiese	8	40	35	4%	0%	0%
Siena	San Casciano dei Bagni	10	85	65	31%	10%	4%
Firenze	San Casciano in Val di Pesa	7	31	26	3%	0%	0%
Siena	San Gimignano	5	28	23	3%	0%	0%
Siena	San Giovanni d'Asso	7	26	24	0%	0%	0%
Arezzo	San Giovanni Valdarno	3	36	31	6%	1%	0%
Pisa	San Giuliano Terme	2	26	26	0%	0%	0%
Firenze	San Godenzo	10	51	41	11%	2%	0%

Provincia	Comune	N	MA Bq/m <sup>3</sup>	MG Bq/m <sup>3</sup>	% > 100 Bq/m <sup>3</sup>	% > 200 Bq/m <sup>3</sup>	% > 300 Bq/m <sup>3</sup>
Pistoia	San Marcello Pistoiese	4	50	48	0%	0%	0%
Pisa	San Miniato	2	33	33	0%	0%	0%
Firenze	San Piero a Sieve	5	28	27	0%	0%	0%
Siena	San Quirico d'Orcia	5	14	14	0%	0%	0%
Lucca	San Romano in Garfagnana	5	44	37	9%	1%	0%
Livorno	San Vincenzo	1	128	128			
Arezzo	Sansepolcro	3	24	23	0%	0%	0%
Pisa	Santa Croce sull'Arno	3	35	29	7%	1%	0%
Grosseto	Santa Fiora	24	240	168	71%	42%	26%
Pisa	Santa Luce	6	22	22	0%	0%	0%
Pisa	Santa Maria a Monte	2	30	28	3%	0%	0%
Siena	Sarteano	5	93	85	37%	4%	0%
Livorno	Sassetta	6	40	26	10%	3%	1%
Firenze	Scandicci	4	22	21	0%	0%	0%
Grosseto	Scansano	7	35	29	4%	0%	0%
Grosseto	Scarlino	3	23	21	0%	0%	0%
Firenze	Scarperia	4	27	23	2%	0%	0%
Grosseto	Seggiano	6	50	38	14%	3%	1%
Grosseto	Semproniano	5	73	66	21%	2%	0%
Lucca	Seravezza	1	19	19			
Pistoia	Serravalle Pistoiese	4	29	27	1%	0%	0%
Arezzo	Sestino	10	41	35	4%	0%	0%
Firenze	Sesto Fiorentino	5	26	23	1%	0%	0%
Siena	Siena	13	21	17	0%	0%	0%
Firenze	Signa	4	64	44	23%	9%	4%
Lucca	Sillano	5	57	50	16%	2%	0%
Siena	Sinalunga	5	40	23	13%	5%	2%
Grosseto	Sorano	19	289	201	78%	50%	33%
Siena	Sovicille	4	22	21	0%	0%	0%
Lucca	Stazzema	2	162	150	72%	34%	16%
Arezzo	Stia	5	52	47	5%	0%	0%
Arezzo	Subbiano	2	22	21	0%	0%	0%
Livorno	Suvereto	4	15	14	0%	0%	0%
Arezzo	Talla	3	86	84	29%	0%	0%
Firenze	Tavarnelle Val di Pesa	6	23	20	0%	0%	0%
Arezzo	Terranuova Bracciolini	3	62	56	18%	2%	0%
Pisa	Terricciola	5	21	20	0%	0%	0%
Siena	Torrita di Siena	7	63	50	18%	3%	1%
Siena	Trequanda	7	58	49	15%	2%	0%
Massa-Carrara	Tresana	5	51	42	14%	2%	1%
Pistoia	Uzzano	1	31	31			
Lucca	Vagli Sotto	8	76	55	23%	6%	2%
Firenze	Vaglia	6	33	32	0%	0%	0%
Prato	Vaiano	6	34	30	2%	0%	0%
Pisa	Vecchiano	2	15	15	0%	0%	0%
Lucca	Vergemoli	7	235	71	42%	27%	19%



<b>Provincia</b>	<b>Comune</b>	<b>N</b>	<b>MA Bq/m<sup>3</sup></b>	<b>MG Bq/m<sup>3</sup></b>	<b>% &gt; 100 Bq/m<sup>3</sup></b>	<b>% &gt; 200 Bq/m<sup>3</sup></b>	<b>% &gt; 300 Bq/m<sup>3</sup></b>
Prato	Vernio	5	46	37	8%	1%	0%
Lucca	Viareggio	3	10	10	0%	0%	0%
Firenze	Vicchio	3	35	31	5%	0%	0%
Pisa	Vicopisano	3	36	33	3%	0%	0%
Lucca	Villa Basilica	5	121	89	45%	19%	9%
Lucca	Villa Collemantina	5	49	42	11%	1%	0%
Massa-Carrara	Villafranca in Lunigiana	1	32	32			
Firenze	Vinci	2	13	13	0%	0%	0%
Pisa	Volterra	4	24	23	0%	0%	0%
Massa-Carrara	Zeri	6	98	60	30%	11%	5%

**Allegato B - Luoghi di Lavoro - Parametri statistici della distribuzione della concentrazione di radon per Comune**

Provincia	Comune	N	MA Bq/m <sup>3</sup>	MG Bq/m <sup>3</sup>	% >400 Bq/m <sup>3</sup>	% > 500 Bq/m <sup>3</sup>
Siena	Abbadia San Salvatore	37	246	147	19%	16%
Pistoia	Abetone	2	49	47	0%	0%
Lucca	Altopascio	2	16	16	0%	0%
Arezzo	Anghiari	2	42	40	0%	0%
Grosseto	Arcidosso	30	239	118	27%	23%
Arezzo	Arezzo	15	48	28	7%	7%
Siena	Asciano	1	60	60	0%	0%
Massa-Carrara	Aulla	3	35	26	0%	0%
Arezzo	Badia Tedalda	3	86	85	0%	0%
Lucca	Bagni di Lucca	2	88	74	0%	0%
Firenze	Barberino di Mugello	1	10	10	0%	0%
Firenze	Barberino Val d'Elsa	1	53	53	0%	0%
Lucca	Barga	2	65	53	0%	0%
Arezzo	Bibbiena	1	26	26	0%	0%
Pisa	Bientina	2	32	30	0%	0%
Lucca	Borgo a Mozzano	1	19	19	0%	0%
Firenze	Borgo San Lorenzo	1	18	18	0%	0%
Arezzo	Bucine	1	37	37	0%	0%
Pistoia	Buggiano	2	32	25	0%	0%
Pisa	Buti	1	20	20	0%	0%
Pisa	Calci	2	17	17	0%	0%
Pisa	Calcinaia	2	18	18	0%	0%
Firenze	Calenzano	1	45	45	0%	0%
Lucca	Camaiore	1	16	16	0%	0%
Grosseto	Campagnatico	6	43	30	0%	0%
Firenze	Campi Bisenzio	1	8	8	0%	0%
Livorno	Campiglia Marittima	2	233	168	50%	50%
Livorno	Campo nell'Elba	15	43	28	0%	0%
Lucca	Camporgiano	1	79	79	0%	0%
Prato	Cantagallo	3	78	72	0%	0%
Pisa	Capannoli	5	51	34	0%	0%
Lucca	Capannori	8	25	24	0%	0%
Livorno	Capoliveri	6	99	74	0%	0%
Arezzo	Capolona	3	14	13	0%	0%
Firenze	Capraia e Limite	2	21	21	0%	0%
Livorno	Capraia Isola	5	184	112	20%	20%
Prato	Carmignano	1	46	46	0%	0%
Massa-Carrara	Carrara	6	24	19	0%	0%
Pisa	Casale Marittimo	3	64	54	0%	0%
Pisa	Casciana Terme	4	59	47	0%	0%
Pisa	Cascina	4	16	15	0%	0%
Siena	Casole d'Elsa	1	18	18	0%	0%
Livorno	Castagneto Carducci	1	20	20	0%	0%
Grosseto	Castel del Piano	35	247	116	14%	14%
Arezzo	Castel San Niccolò	27	63	46	0%	0%
Arezzo	Castelfranco di Sopra	1	150	150	0%	0%
Pisa	Castelfranco di Sotto	2	16	16	0%	0%
Grosseto	Castell'Azzara	6	132	98	17%	17%

Provincia	Comune	N	MA Bq/m <sup>3</sup>	MG Bq/m <sup>3</sup>	% >400 Bq/m <sup>3</sup>	% > 500 Bq/m <sup>3</sup>
Pisa	Castellina Marittima	1	42	42	0%	0%
Pisa	Castelnuovo di Val di Cecina	2	34	24	0%	0%
Arezzo	Castiglion Fiorentino	3	50	46	0%	0%
Grosseto	Castiglione della Pescaia	2	50	48	0%	0%
Siena	Castiglione d'Orcia	29	59	44	0%	0%
Arezzo	Cecina	1	60	60	0%	0%
Firenze	Cerreto Guidi	2	34	33	0%	0%
Firenze	Certaldo	1	10	10	0%	0%
Siena	Chianciano Terme	5	38	30	0%	0%
Pisa	Chianni	1	54	54	0%	0%
Pistoia	Chiesina Uzzanese	1	15	15	0%	0%
Siena	Chiusi	2	25	24	0%	0%
Arezzo	Chiusi della Verna	1	19	19	0%	0%
Grosseto	Cinigiano	10	64	49	0%	0%
Arezzo	Civitella in Val di Chiana	3	29	27	0%	0%
Grosseto	Civitella Paganico	5	113	90	0%	0%
Siena	Colle di Val d'Elsa	2	37	37	0%	0%
Pistoia	Cutigliano	1	187	187	0%	0%
Firenze	Empoli	4	18	17	0%	0%
Firenze	Figline Valdarno	5	36	31	0%	0%
Massa-Carrara	Filattiera	1	94	94	0%	0%
Firenze	Firenze	52	44	20	2%	2%
Massa-Carrara	Fivizzano	2	178	99	50%	50%
Arezzo	Foiano della Chiana	1	66	66	0%	0%
Grosseto	Follonica	9	34	28	0%	0%
Firenze	Gambassi Terme	1	37	37	0%	0%
Grosseto	Gavorrano	9	58	33	0%	0%
Firenze	Greve in Chianti	1	66	66	0%	0%
Grosseto	Grosseto	11	44	36	0%	0%
Pisa	Guardistallo	1	54	54	0%	0%
Firenze	Incisa in Val d'Arno	2	89	80	0%	0%
Grosseto	Isola del Giglio	7	151	95	29%	14%
Pisa	Lajatico	1	36	36	0%	0%
Pistoia	Lamporecchio	2	28	27	0%	0%
Pistoia	Larciano	1	54	54	0%	0%
Pisa	Lari	1	15	15	0%	0%
Firenze	Lastra a Signa	3	18	16	0%	0%
Arezzo	Laterina	2	22	20	0%	0%
Livorno	Livorno	8	50	28	13%	13%
Lucca	Lucca	16	32	23	0%	0%
Grosseto	Magliano in Toscana	5	50	45	0%	0%
Grosseto	Manciano	8	117	68	13%	0%
Livorno	Marciana	16	369	193	31%	25%
Livorno	Marciana Marina	16	183	118	13%	6%
Arezzo	Marciano della Chiana	1	16	16	0%	0%
Pistoia	Marliana	1	60	60	0%	0%
Massa-Carrara	Massa	11	39	30	0%	0%
Pistoia	Massa e Cozzile	2	46	46	0%	0%
Grosseto	Massa Marittima	13	76	51	0%	0%

Provincia	Comune	N	MA Bq/m <sup>3</sup>	MG Bq/m <sup>3</sup>	% >400 Bq/m <sup>3</sup>	% > 500 Bq/m <sup>3</sup>
Lucca	Massarosa	1	22	22	0%	0%
Pistoia	Monsummano Terme	2	88	76	50%	50%
Firenze	Montaione	1	58	58	0%	0%
Siena	Montalcino	8	54	36	0%	0%
Pistoia	Montale	3	46	35	0%	0%
Grosseto	Monte Argentario	5	37	29	0%	0%
Arezzo	Monte San Savino	3	29	24	0%	0%
Pisa	Montecatini Val di Cecina	17	278	98	18%	18%
Pistoia	Montecatini-Terne	2	26	26	0%	0%
Firenze	Montelupo Fiorentino	2	17	17	0%	0%
Arezzo	Montemignaio	1	44	44	0%	0%
Prato	Montemurlo	2	14	14	0%	0%
Siena	Montepulciano	7	41	30	0%	0%
Siena	Monteriggioni	1	20	20	0%	0%
Grosseto	Monterotondo Marittimo	2	29	28	0%	0%
Pisa	Montescudaio	2	47	45	0%	0%
Firenze	Montespertoli	1	35	35	0%	0%
Arezzo	Montevarchi	1	40	40	0%	0%
Pisa	Monteverdi Marittimo	1	36	36	0%	0%
Siena	Monticiano	1	29	29	0%	0%
Grosseto	Montieri	2	49	45	0%	0%
Grosseto	Orbetello	5	71	48	0%	0%
Pisa	Palaia	1	26	26	0%	0%
Pisa	Peccioli	4	50	34	0%	0%
Arezzo	Pergine Valdarno	3	22	20	0%	0%
Pistoia	Pescia	8	37	33	0%	0%
Siena	Piancastagnaio	29	289	170	24%	17%
Siena	Pienza	3	41	36	0%	0%
Lucca	Pietrasanta	6	37	31	0%	0%
Pistoia	Pieve a Nievole	1	18	18	0%	0%
Lucca	Pieve Fosciana	1	26	26	0%	0%
Arezzo	Pieve Santo Stefano	1	24	24	0%	0%
Livorno	Piombino	10	20	16	0%	0%
Pisa	Pisa	19	28	21	0%	0%
Pistoia	Pistoia	16	55	36	0%	0%
Pistoia	Piteglio	11	61	50	0%	0%
Grosseto	Pitigliano	34	329	213	38%	24%
Massa-Carrara	Podenzana	1	18	18	0%	0%
Siena	Poggibonsi	4	26	22	0%	0%
Prato	Poggio a Caiano	2	54	53	0%	0%
Pisa	Pomarance	4	39	32	0%	0%
Pisa	Ponsacco	3	27	27	0%	0%
Firenze	Pontassieve	1	26	26	0%	0%
Pistoia	Ponte Buggianese	2	22	22	0%	0%
Pisa	Pontedera	2	24	20	0%	0%
Massa-Carrara	Pontremoli	1	20	20	0%	0%
Lucca	Porcari	6	23	21	0%	0%
Livorno	Porto Azzurro	6	101	45	17%	17%
Livorno	Portoferraio	24	72	50	0%	0%

Provincia	Comune	N	MA Bq/m <sup>3</sup>	MG Bq/m <sup>3</sup>	% >400 Bq/m <sup>3</sup>	% > 500 Bq/m <sup>3</sup>
Prato	Prato	29	60	32	3%	3%
Arezzo	Pratovecchio	2	16	15	0%	0%
Pistoia	Quarrata	1	25	25	0%	0%
Siena	Radicondoli	12	143	69	8%	8%
Siena	Radicondoli	3	52	51	0%	0%
Firenze	Rignano sull'Arno	4	24	22	0%	0%
Livorno	Rio Marina	6	54	44	0%	0%
Livorno	Rio nell'Elba	3	30	27	0%	0%
Pisa	Roccalbegna	4	90	57	0%	0%
Grosseto	Roccastrada	32	151	80	13%	13%
Livorno	Rosignano Marittimo	5	21	18	0%	0%
Pistoia	Sambuca Pistoiese	2	72	44	0%	0%
Siena	San Casciano dei Bagni	3	36	33	0%	0%
Firenze	San Casciano in Val di Pesa	2	36	34	0%	0%
Siena	San Gimignano	5	23	20	0%	0%
Siena	San Giovanni d'Asso	1	76	76	0%	0%
Pisa	San Giuliano Terme	4	48	34	0%	0%
Pistoia	San Marcello Pistoiese	3	170	147	0%	0%
Pisa	San Miniato	4	30	28	0%	0%
Firenze	San Piero a Sieve	1	22	22	0%	0%
Siena	San Quirico d'Orcia	4	40	37	0%	0%
Lucca	San Romano in Garfagnana	1	81	81	0%	0%
Livorno	San Vincenzo	2	54	28	0%	0%
Arezzo	Sansepolcro	4	21	19	0%	0%
Pisa	Santa Croce sull'Arno	2	26	25	0%	0%
Grosseto	Santa Fiora	28	245	169	36%	32%
Pisa	Santa Maria a Monte	1	30	30	0%	0%
Siena	Sarteano	5	76	58	0%	0%
Livorno	Sassetta	1	79	79	0%	0%
Firenze	Scandicci	9	25	18	0%	0%
Grosseto	Scansano	8	58	41	0%	0%
Grosseto	Scarlino	10	23	19	0%	0%
Grosseto	Seggiano	5	115	78	0%	0%
Grosseto	Semproniano	9	119	83	11%	11%
Lucca	Seravezza	3	15	15	0%	0%
Pistoia	Serravalle Pistoiese	1	18	18	0%	0%
Arezzo	Sestino	1	144	144	0%	0%
Firenze	Sesto Fiorentino	4	60	36	25%	0%
Siena	Siena	11	27	20	0%	0%
Firenze	Signa	3	28	26	0%	0%
Siena	Sinalunga	3	38	29	0%	0%
Grosseto	Sorano	40	622	260	43%	38%
Siena	Sovicille	2	118	50	0%	0%
Lucca	Stazzema	1	52	52	0%	0%
Arezzo	Stia	1	56	56	0%	0%
Arezzo	Subbiano	2	88	87	0%	0%
Livorno	Suvereto	5	39	32	0%	0%
Arezzo	Talla	2	336	303	50%	0%
Arezzo	Terranuova Bracciolini	7	18	16	0%	0%

<b>Provincia</b>	<b>Comune</b>	<b>N</b>	<b>MA Bq/m<sup>3</sup></b>	<b>MG Bq/m<sup>3</sup></b>	<b>% &gt;400 Bq/m<sup>3</sup></b>	<b>% &gt; 500 Bq/m<sup>3</sup></b>
Pisa	Terricciola	3	36	33	0%	0%
Siena	Torrita di Siena	2	63	57	0%	0%
Siena	Trequanda	3	46	43	0%	0%
Massa-Carrara	Tresana	1	40	40	0%	0%
Pistoia	Uzzano	2	56	45	0%	0%
Lucca	Vagli Sotto	3	72	62	0%	0%
Firenze	Vaglia	1	13	13	0%	0%
Pisa	Vecchiano	1	50	50	0%	0%
Lucca	Vergemoli	2	61	61	0%	0%
Lucca	Viareggio	3	18	16	0%	0%
Firenze	Vicchio	1	156	156	0%	0%
Pisa	Vicopisano	1	23	23	0%	0%
Lucca	Villa Basilica	3	36	27	0%	0%
Massa-Carrara	Villafranca in Lunigiana	3	45	31	0%	0%
Firenze	Vinci	2	32	27	0%	0%
Pisa	Volterra	4	54	41	0%	0%
Massa-Carrara	Zeri	1	24	24	0%	0%