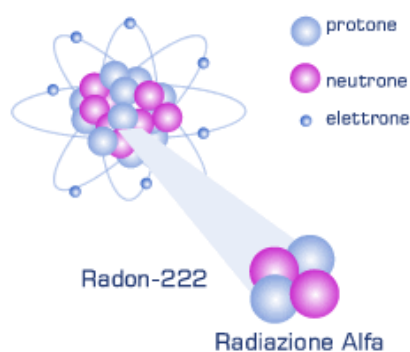


Dossier

RADON. UN NOBILE PERICOLOSO



- [1.] Premessa. I monitoraggi ambientali
- [2.] Il monitoraggio del radon
- [3.] Inquadramento scientifico
- [4.] Interazioni e pericolosità
- [5.] Ricognizioni e politiche di prevenzione
- [6.] Interferenze, buone pratiche e indicazioni
- [7.] Bibliografia

UNITA' COMPLESSA STUDI DOCUMENTAZIONE E BIBLIOTECA



**CONSIGLIO
REGIONALE
DEL VENETO**

Venezia, 30/11/2012

Segreteria regionale per gli affari generali, giuridici e legislativi - Dirigente Stefano Amadi
Unità complessa studi documentazione e biblioteca - Dirigente Claudio Rizzato

Sito: <http://www.consiglioveneto.it/>

@ ucsdb@consiglioveneto.it

☎ 0412701612

☎ 0412701622

Il Dossier **RADON. UN NOBILE PERICOLOSO**

è stato curato da Giuseppe Sartori (biologo, Ufficio territorio) con la collaborazione del dottor Francesco Bochicchio dell'Istituto Superiore di Sanità.

Hanno collaborato Paolo Pozzo e Serenella Poggi.

Riproduzione a cura del Centro stampa del Consiglio Regionale

RADON. UN NOBILE PERICOLOSO

INDICE

[1.]	Premessa. I monitoraggi ambientali	pag. 4
[2.]	Il monitoraggio del radon	pag. 5
[3.]	Inquadramento scientifico	pag. 6
[4.]	Interazioni e pericolosità	pag. 8
[5.]	Ricognizioni e politiche di prevenzione	pag. 14
[6.]	Interferenze, buone pratiche e indicazioni	pag. 15
[7.]	Bibliografia	pag. 20

[1.] **Premessa. I monitoraggi ambientali.**

La non ancora affermata o scarsa cultura amministrativa nella prevenzione del rischio in Italia aggrava spesso questioni ambientali trascurate e/o dimenticate che poi coinvolgono in emergenze per ampi strati di popolazione.

I monitoraggi sui rischi ambientali che possono coinvolgere od interessare le comunità dei cittadini e i luoghi di vita e ritrovo (edifici scolastici, ospedali, edifici pubblici in genere, siti produttivi, ecc.) spesso sono limitati a causa delle forti restrizioni finanziarie delle istituzioni deputate.

Per queste ragioni le forme organizzate della cittadinanza si attivano per l'applicazione di questo elementare criterio di prevenzione e richiedono alle autorità di mettere in atto monitoraggi mirati oltre che far applicare quelle buone pratiche che scongiurano sul nascere nuove sorgenti di rischio.

Gli ambiti di maggiore importanza dei monitoraggi del rischio ambientale riguardano il rilevamento dell'amianto e del radon, della qualità dell'aria, del rumore, dell'esposizione ai campi elettromagnetici, e della presenza di sostanze estranee e pericolose per l'ecosistema urbano-residenziale e per il resto del territorio.

Sono infatti circa il 18% i comuni italiani che dichiarano di non fare i monitoraggi dell'amianto nelle strutture scolastiche, malgrado la legge 257/92 richieda alle regioni il censimento degli edifici in cui siano presenti strutture in amianto e gran parte degli edifici scolastici sono stati edificati nei decenni in cui venivano utilizzati materiali contenenti amianto. Anche se la percentuale dei comuni inadempienti può sembrare bassa, non lo è rispetto ai margini di rischio che questa inadempienza può generare in strutture pubbliche come gli edifici scolastici ¹.

Analogo discorso può essere fatto per il radon, i cui monitoraggi vengono fatti da poco più di un 30% delle amministrazioni, ma con margini di rischio circoscritti a quei territori che hanno caratteristiche geofisiche interessate da questo fenomeno.

Vengono invece molto sottovalutati i rischi derivanti dalla vicinanza di elettrodotti agli edifici scolastici, presenti in una percentuale del 3,42%, di cui però solo in un 11% dei casi il comune fa un monitoraggio costante, mentre una percentuale intorno all'8% dei comuni dichiara di praticare monitoraggi di questo tipo di situazione di rischio. Un'analoga percentuale è quella dei comuni che dichiarano di fare monitoraggi per quanto attiene la vicinanza alle scuole di emittenti radio televisive, fenomeno che interessa poco più del 4% degli edifici.

E' invece quasi vicina al 15% la percentuale di edifici in prossimità di antenne per i cellulari, situazione di rischio che viene monitorata da quasi il 39% dei comuni, probabilmente anche per effetto di circolari del Ministero della Salute che richiedono di adottare il principio cautelativo, in particolar modo in aree sensibili quali ospedali e scuole.

Inoltre, rimangono una costante nel tempo due dati che non accennano a diminuire, indicando la scarsa sensibilità delle amministrazioni a questo tipo di rischio: la vicinanza di quasi il 17% degli edifici a meno di 5 Km da industrie e il 10,54% a meno di un km da fonti di inquinamento acustico.

¹ Legambiente (2011) Ecosistema Scuola XII Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi

[2.] Il monitoraggio del radon

In prossimità di una nuova normativa regionale riguardante la presenza di questo elemento, si è preparato questo approfondimento utile alla discussione che sarà affrontata dalla VII^a commissione del consiglio Regionale del Veneto competente in materia.

Alla fine degli anni '80 del sec. Scorso un'indagine nazionale sull'esposizione al gas radon nelle abitazioni, coordinata dall'Istituto Superiore di Sanità e ANPA (ora ISPRA), ha stimato i valori medi annui di concentrazione di radon nelle singole regioni. Per il Veneto la media regionale è risultata di 59 Bq/m³ ⁽²⁾, inferiore al dato medio nazionale che è di 70 Bq/m³. Un valore medio regionale non elevato, che non esclude però l'esistenza di specifiche aree in cui, per caratteristiche geologiche, meteorologiche, climatiche, ambientali e legate alla tipologia costruttiva, la concentrazione di radon sia tale da costituire pericolo.

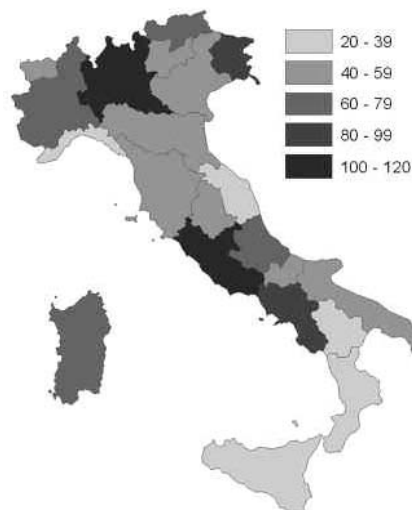
Tab. 1 - Radon nelle abitazioni italiane per regione - Anni 1989-1997

Regioni	Radon-222 Bq/m ³	Abitazioni >200 Bq/m ³	Abitazioni >400 Bq/m ³
	(media aritmetica, STD err.)	%	%
Piemonte	69 ± 3	2,1	0,7
Valle d'Aosta-Vallée d'Aoste	44 ± 4	0	0
Lombardia	111 ± 3	8,4	2,2
Bolzano-Bozen	70 ± 8	5,7	0
Trento	49 ± 4	1,3	0
Veneto	58 ± 2	1,9	0,3
Friuli-Venezia Giulia	99 ± 8	9,6	4,8
Liguria	38 ± 2	0,5	0
Emilia-Romagna	44 ± 1	0,8	0
Toscana	48 ± 2	1,2	0
Umbria	58 ± 5	1,4	0
Marche	29 ± 2	0,4	0
Lazio	119 ± 6	12,2	3,4
Abruzzo	60 ± 6	4,9	0
Molise	43 ± 6	0	0
Campania	95 ± 3	6,2	0,3
Puglia	52 ± 2	1,6	0
Basilicata	30 ± 2	0	0
Calabria	25 ± 2	0,6	0
Sicilia	35 ± 1	0	0
Sardegna	64 ± 4	2,4	0
Italia	70 ± 1	4,1	0,9

Fonte dei dati e anno di riferimento: APAT. Annuario dei dati ambientali, Concentrazione di attività di radon indoor, Estratto edizione 2005-2006, Roma, febbraio 2006

² Il **becquerel** (simbolo **Bq**) è l'unità di misura del Sistema internazionale dell'attività di un radionuclide (spesso chiamata in modo non corretto radioattività), ed è definita come l'attività di un radionuclide che ha un decadimento al secondo. 1 Bq equivale quindi ad una disintegrazione al secondo.

Fig. 1 - Radon nelle abitazioni italiane per regione (Bq/m³)



Il monitoraggio del radon presenta a livello nazionale una percentuale notevolmente inferiore (31,75%) dei monitoraggi ambientali; da segnalare regioni come il Lazio e la Lombardia, maggiormente interessate alla concentrazione di radon nel suolo, presentano rispettivamente un dato dello 0,00% e del 14,29% di monitoraggi, mentre il Friuli Venezia Giulia, altra regione esposta, lo ha realizzato nel 66,67% degli edifici scolastici.

Nel Veneto sono state effettuate o programmate indagini sulle scuole di ogni ordine e grado, pubbliche e private, nell'ambito di tre campagne di indagini [cfr. Tab. 2 (in Allegato) e Tab 3] coprendo una buona percentuale dei comuni (180 pari a al 31%).

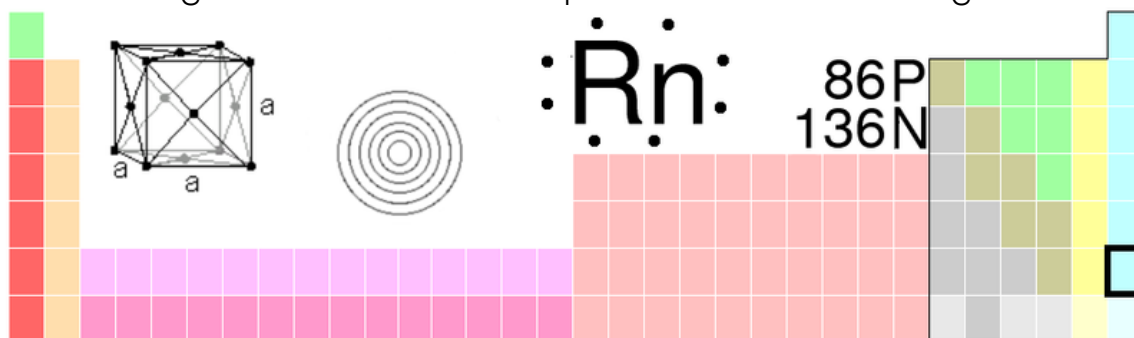
[3.] Inquadramento scientifico

Il **radon** (o rado) è l'elemento chimico che nella tavola periodica viene rappresentato dal simbolo **Rn** e numero atomico **86** (Fig. 2).

Scoperto nel 1898 da Pierre e Marie Curie, è un gas nobile, naturalmente radioattivo, che si forma dal decadimento del radio (²²⁶Ra) (con espulsione di un nucleo di elio), generato a sua volta dal decadimento dell'uranio 238 (²³⁸U).

Il **radon** è un gas molto pesante, pericoloso per la salute umana se inalato. L'isotopo più stabile, il ²²²Rn ha un tempo di dimezzamento di 3,8 giorni e viene usato in radioterapia.

Fig. 2 - Simbologia chimica del radon e posizione nella tavola degli elementi.



(Fonte: Wikipedia.it)

Caratteristiche principali

Il radon è un elemento chimicamente inerte (in quanto gas nobile), e a condizioni di temperatura e pressione standard il radon è inodore e incolore. Nonostante sia un gas nobile alcuni esperimenti indicano che il fluoro può reagire col radon e formare il fluoruro di radon. Il radon è solubile in acqua e poiché la sua concentrazione in atmosfera libera è in genere estremamente bassa, l'acqua naturale di superficie a contatto con l'atmosfera (sorgenti, fiumi, laghi...) lo rilascia in continuazione per volatilizzazione anche se generalmente in quantità molto limitate. D'altra parte, l'acqua profonda delle falde, può presentare una elevata concentrazione di ^{222}Rn rispetto alle acque superficiali.

Origine del radon

La provenienza del radon è continua da alcune rocce della crosta terrestre e dal suolo generato e nei materiali da costruzione derivati da quelle rocce. Le rocce principalmente indiziate sono lave, tufi, graniti, pozzolane.

Il radon si trasforma spontaneamente in altre sostanze radioattive figlie, fino a che le catene di decadimenti hanno termine con un elemento stabile rappresentato dal Piombo 206 (^{206}Pb).

Tra gli elementi radioattivi presenti nelle rocce e nel terreno derivano infatti tre importanti catene radioattive:

- la prima ha origine dall'Uranio 238 (^{238}U) e arriva fino al Piombo 206 (^{206}Pb); costituisce la serie dell'Uranio;
- la seconda ha origine dall'Uranio 235 (^{235}U) e termina con il Piombo 207 (^{207}Pb); è detta serie dell'Attinio;
- la terza ha origine dal Torio 232 (^{232}Th) e termina con il Piombo 208 (^{208}Pb); viene definita serie del Torio.

Da queste tre serie si originano 3 isotopi del radon, che hanno diverso tempo di decadimento, come illustrato nella Tab. 2.

Tab. 3 - Isotopi del radon e loro tempo di decadimento.

Prodotto di partenza	Isotopo del radon prodotto	Tempo di decadimento
^{235}U	^{219}Rn detto Actinon	3,96 secondi
^{238}U	^{222}Rn detto Radon	3,8 giorni
^{232}Th	^{220}Rn detto Toron	55 secondi

Gli isotopi del radon decadendo emettono particelle “ α ” e si trasformano in elementi “figli”, quali Polonio 218 (^{218}Po), Polonio 214 (^{214}Po), Piombo 214 (^{214}Pb) e Bismuto 214 (^{214}Bi), anch'essi radioattivi. Polonio 218 (^{218}Po) e Polonio 214 (^{214}Po) decadono a loro volta emettendo particelle “ α ”. Polonio e Bismuto sono metalloidi, estremamente tossici, prodotti del decadimento radioattivo del radon.

L'Uranio 238 è il nuclide responsabile della produzione del radon 222 (^{222}Rn), che rappresenta l'isotopo del radon di maggiore rilevanza ai fini del rischio per la salute dell'uomo.

Il suolo è responsabile dell'80% dell'origine del radon presente nell'atmosfera, l'acqua del 19% e le altre fonti solo dell'1%.

Questo gas nobile è circa 8 volte più pesante dell'aria, e per questa sua caratteristica tende ad accumularsi negli ambienti confinati e quindi anche nelle abitazioni.

Tab. 4 - Monitoraggi negli edifici scolastici in Italia

RISCHIO RADON	ANNO 2007*	ANNO 2008*	ANNO 2009*	ANNO 2010*	ANNO 2011*
Comuni** che hanno effettuato monitoraggi sulla presenza di radon negli edifici scolastici				31,75%	29,87%
Casi certificati	2,37%	0,05%	0,55%	0,36%	0,44%
Casi sospetti	0,00%	1,93%	0,05%	0,00%	0,00%
Azioni di bonifica negli ultimi 2 anni	0,23%	0,06%	0,09%	0,05%	0,15%

(Fonte: "ECOSISTEMA SCUOLA 2011" Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi.). * Anno di raccolta dati. ** Il campione dell'indagine citata è di 5.715 edifici scolastici di 91 Comuni e 738 edifici scolastici di 32 Province relativi all'anno 2010.

[4.] Interazioni e pericolosità

Uno dei principali fattori di rischio del gas radon è legato al fatto che tende ad accumularsi negli ambienti confinati (ambienti *indoor*), soprattutto nei locali prossimi al suolo o alle rocce (piani terra, cantine, scantinati, garage, ecc.) dove in alcuni casi può raggiungere concentrazioni tali da rappresentare un rischio significativo per la salute della popolazione esposta. In ambito sanitario è ritenuto la seconda causa di cancro al polmone dopo il fumo di tabacco e ad esso sono attribuiti dal 5 al 20% di tutti i casi (da 1.500 a 6000 stimati per la sola Italia all'anno³). Nella sola Unione Europea si stima che sia la causa di morte per oltre 20.000 persone ogni anno; comparabilmente negli Stati Uniti la stima dei decessi causati dall'esposizione al radon si attesta fra i 15000 e i 22000 all'anno⁴.

Come entra il radon negli edifici:

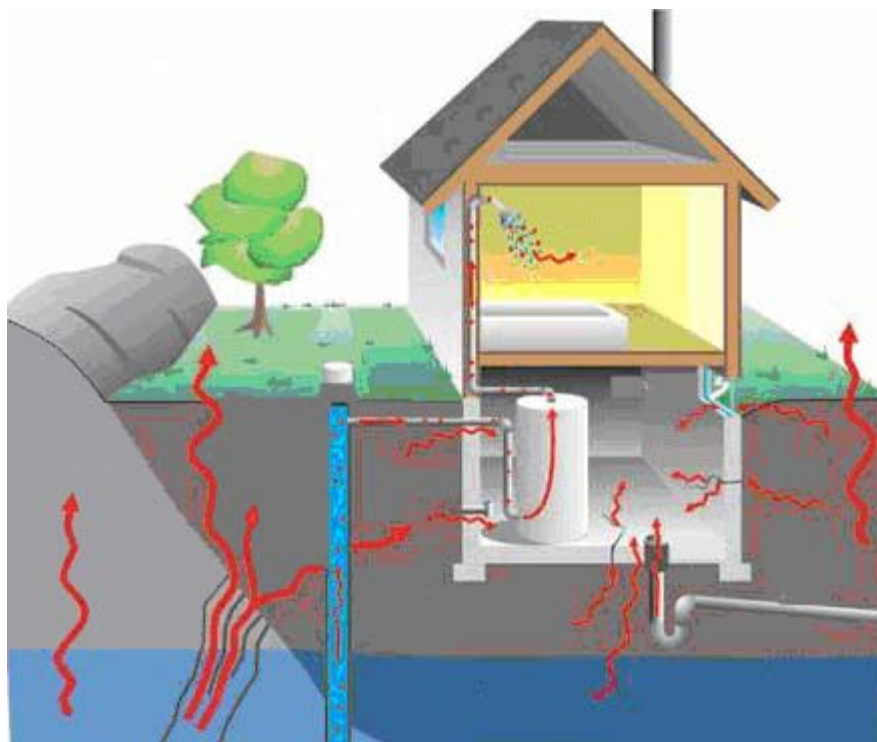
- dalle fratture delle fondamenta degli edifici;
- dalle giunture e connessioni delle costruzioni;
- dalle crepe dei muri;
- dalle sconnessioni o fratture nelle superfici di calpestio;
- da rotture e infiltrazioni nelle tubature di approvvigionamento dell'acqua;
- dalle cavità sotto le fondazioni;
- tramite le connessioni delle reti fognarie;
- ogni forma di continuità dell'ambiente esterno sotterraneo con quello interno;

³ PNR Piano Nazionale Radon in Supplemento ordinario della Gazzetta Ufficiale N. 276 Del 27 Novembre 2001]

⁴ <http://www.lung-cancer.com/radon.html>

- dai materiali di costruzione.

Fig. 3 - Vie di penetrazione del radon negli edifici



Gli edifici maggiormente a rischio sono quelli costruiti su suoli di origine vulcanica o fortemente permeabili e che impiegano materiali da costruzione quali tufo, pozzolane, graniti. L'Italia rappresenta pertanto un paese a rischio, per quanto la situazione si presenti a macchia di leopardo non solo tra aree diverse ma anche nell'ambito di un medesimo comprensorio territoriale.

Ad esempio la geologia del Veneto ci fa supporre che ambiti territoriali come i colli Euganei siano fortemente indiziati per questo rischio.

Il livello di radon raggiunto negli edifici dipende da numerosi fattori, tra i quali la tipologia e la qualità costruttiva dell'edificio, la presenza di pietre ornamentali nelle superfici di calpestio o pareti (Tab. 5), o il numero di ricambi d'aria, che a sua volta dipende dal grado di ventilazione naturale o artificiale dei locali.

Una delle cause principali per la quale aria ricca di radon affluisce dal suolo verso l'interno degli edifici è la depressione che si viene a creare tra i locali ed il suolo, in conseguenza della differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno dell'edificio.

Più pronunciata è questa differenza, maggiore sarà la depressione all'interno della casa. E' l'effetto camino. Anche altri fattori, come la presenza di aperture in un edificio o il vento, possono incrementare o ridurre la depressione dovuta alla semplice differenza di temperatura (cfr. Piano Radon Appendice 1).

L'effetto del vento varia in funzione della tenuta degli infissi o della posizione di questi ultimi rispetto alla direzione prevalente del vento e alla sua forza.

La concentrazione di radon può subire sensibili variazioni giornaliere e stagionali. In genere i valori più elevati si osservano nelle prime ore del mattino, quando la differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno è maggiore. Per lo stesso motivo

d'inverno le concentrazioni sono mediamente maggiori di quelle estive, ma la variabilità è molto alta. Al nord (ad es. in Alto Adige) si è osservato che la concentrazione di radon in casa aumenta quando il terreno ghiaccia. Verosimilmente il gelo ostacola la fuoriuscita del radon dal terreno esterno, favorendone invece la fuga laddove il terreno non è gelato in prossimità delle cantine o sotto il pavimento delle case. Nel caso dei pendii i fenomeni in gioco sono particolarmente complessi: in dipendenza della stagione e/o dell'insolazione possono formarsi moti convettivi nel terreno che trasportano il radon nelle case site sul pendio o alla base di questo; di conseguenza questi edifici risultano essere spesso particolarmente interessati al problema del radon.

Oltre ai fattori descritti la concentrazione di radon *indoor* dipende in maniera decisiva da come è costruita la casa. Pertanto ogni edificio è un caso a sé stante. Perfino case vicine e costruite nello stesso modo possono presentare concentrazioni di radon totalmente diverse. Per ottenere informazioni certe riguardo la propria abitazione è quindi necessario eseguire un dosaggio sperimentale del gas radon presente.

L'esperienza però aiuta ad individuare alcuni elementi comuni e peculiari delle abitazioni con maggiori concentrazioni di radon come:

- ▶ La casa si trova in una zona con terreni cristallini (graniti, gneiss, porfidi, filladi quarzifere, tufi, ecc.);
- ▶ la pavimentazione è poco isolata o le pareti dell'edificio sono a diretto contatto con il terreno o con una cantina poco ventilata con pavimento naturale;
- ▶ si tratta di un vecchio edificio storico con mura di pietrisco molto spesse, attraverso le quali il radon può diffondere ai piani alti;
- ▶ si trova su un pendio (colata detritica, deposito detritico con terreni molto permeabili;
- ▶ si trova su di una faglia o un terreno molto fratturato;
- ▶ si trova su un terreno molto eterogeneo p.es. in parte su di un letto di un fiume o materiale di riempimento. Si ricorda che in generale un terreno molto fratturato, o la prevalenza di sabbia e sassi nello scavo indica un substrato permeabile. Questi terreni sono generalmente a rischio radon, anche in zone non espressamente dichiarate tali.

Tab. 5 - Rilascio di radon dalle pietre ornamentali del Nord e Centro Italia

Pietra Ornamentale	Tipo	Provincia d'origine	Radon-226 in Bq/Kg
MONTE BIANCO	Gneiss	AO	166
PIETRA DI LUSERNA	Gneiss	CN	125
BEOLA GHIANDONATA	Beola	NO	68
BEOLA VERDE	Beola	NO	34
BEOLA GRIGIA	Beola	NO	101
BEOLA BIANCA	Beola	NO	48
ROSA BAVENO	Granito	NO	50
SERIZZO FORMAZZA	Serizzo	NO	35
SERIZZO ANTIGORIO	Serizzo	NO	24
BIANCO MONTORFANO	Granito	NO	72
SERIZZO SEMPIONE	Serizzo	NO	29
ROSA BAVENO	Granito	NO	65
SIENTITE DELLA BALMA	Sienite	VC	375
SIENTITE GRIGIA A GRANA FINE	Sienite	VC	364
GRANITO ROSATO S. PAOLO CERVO	Sienite	VC	239
GRANITO BIANCO DI CAMPIGLIO	Sienite	VC	269
ROSA CERVO	Granito	VC	348
ARDESIA	Ardesia	GE	46
PORTORO	Marmo	SP	4.02
SERIZZO VALMASINO	Serizzo	SO	42
SERIZZO GHIANDONE	Serizzo	SO	31
TONALITE	Gneiss	SO	30
PORFIDO DI ALBIANO	Porfido	TN	51
CEPPO DI POLTRAGNO	Ceppo	BG	63
GRANODIORITE	Gneiss	BS	30
MULTICOLOR	Granito	BS	29
PORFIDO	Porfido	BS	39
NUVOLERA	Marmo	BS	2
BOTTICINO	Marmo	BS	13
ROSSO VERONA	Marmo	VR	1.04
GIALLO DORATO	Calcare	VI	12
PIETRA DI VICENZA S.GOTTARDO	Calcare	VI	12
TRACHITE GIALLO VENATA	Trachite	PD	36
MONTEMERANO	Travertino	GR	0.3
TRAVERTINO	Travertino	GR	<0.2
BIANCO GIOIA	Marmo	MS	1.02
STATUARIO	Marmo	MS	1.01
BIANCO SCINTILLANTE	Marmo	MS	3.06
BIANCO CARRARA	Marmo	MS	3.09
MARMO	Marmo	MS	1.05
TOSCANO CHIARO CLASSICO	Travertino	SI	0.06
TOSCANO NOCCIOLA	Travertino	SI	1.06
ASCOLANO CHIARO VENATO	Travertino	AP	0.5
PEPERINO ROSATO	Peperino	VT	124
PEPERINO GRIGIO	Peperino	VT	121
BASALTINA	Basalto	VT	498
TRAVERTINO	Travertino	RM	0.5

(Fonte: Facchini U., Valli G., Vecchi R. (1991) "Il Radon nella Casa", Ist. di Fisica Gen. Applicata - Università di Milano)

Radon e salute

Il radon è, da un punto di vista chimico, poco reattivo, ed essendo un gas, oltre che inalabile è facilmente eliminabile per via respiratoria.

Non altrettanto si può dire dei suoi figli (cfr. pagg. 7-8) che sono da un punto di vista sia chimico che elettrico molto più reattivi e una volta formati vengono veicolati all'interno del corpo umano grazie a particelle di fumo, vapore acqueo, polveri ecc. Gli elementi discendenti del radon una volta giunti a livello polmonare si fissano ai tessuti e continuano ad emettere particelle "α", in grado di danneggiare le cellule dell'apparato polmonare in modo irreversibile.

Sulla base di numerosi studi epidemiologici il radon è stato classificato dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC), che è parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO), come cancerogeno per l'uomo. Oggi il radon è considerato la principale causa di morte per tumore ai polmoni dopo il fumo di tabacco.

I livelli di guardia sono 150 Bq/m³, corrispondenti a circa 4 pCi/l ⁽⁵⁾.

Più alta è la concentrazione nell'ambiente più alto è il rischio di contrarre il tumore. Un metodo immediato per proteggersi dall'accumulo di questo gas è l'aerazione degli ambienti, soprattutto nei casi in cui questi siano interrati o a contatto diretto col terreno. Questa tecnica risulta spesso però insufficiente o inefficace e, specialmente nei mesi invernali, dispendiosa in termini di riscaldamento dei locali. La prima cosa da fare, nei casi in cui si sappia di essere in una zona a rischio, è di effettuare delle misurazioni di concentrazione presso la propria abitazione atte a determinare se questo problema esiste veramente. Infatti non è sufficiente sapere che edifici vicini al nostro sono contaminati da radon poiché l'emissione di questo gas dipende da numerosissimi fattori, difficilmente determinabili a priori.

Le radiazioni ionizzanti (soprattutto le radiazioni alfa) connesse al decadimento del radon e degli elementi figli possono colpire e danneggiare il DNA delle cellule prossime a luogo di emissione: come si è visto l'organo più esposto è il polmone.

La maggior parte dei danni al DNA viene riparata da appositi meccanismi cellulari, ma alcuni di essi possono persistere e con tempo svilupparsi in un tumore polmonare.

Quindi maggiore è la quantità di radon e dei suoi prodotti di decadimento inalata e maggiore è la probabilità che qualche danno non venga riparato, o venga riparato male, e possa svilupparsi successivamente in un tumore, soprattutto se le cellule sono sottoposte ad altre sostanze cancerogene, in particolare a quelle contenute nel fumo di sigaretta.

Epidemiologia

Gli effetti dell'esposizione al radon sono stati evidenziati prima di tutto tra i minatori di miniere sotterranee di uranio, nelle quali la concentrazione di radon arrivava a valori estremamente elevati. Tali studi hanno mostrato un evidente e forte aumento di rischio di tumore polmonare tra i minatori esposti ad alte concentrazioni. Di conseguenza il radon è stato classificato tra i cancerogeni per i quali vi è la massima evidenza di cancerogenicità.

Successivamente sono stati effettuati studi epidemiologici anche sulla popolazione esposta al radon nelle abitazioni.

⁵ pCi/l = Pico Curie per litro, altra unità di misura del decadimento radioattivo degli elementi.

Le principali evidenze di questi studi sono:

- ☢ il rischio di tumore polmonare aumenta proporzionalmente all'aumentare della concentrazione di radon;
- ☢ il rischio di tumore polmonare aumenta proporzionalmente alla durata dell'esposizione;
- ☢ l'aumento del rischio di cancro avviene proporzionalmente rispetto alla "normale" frequenza dei tumori polmonari, mantenendone quindi la distribuzione per età: i tumori polmonari sono rari fino all'età di 45 anni, poi la frequenza cresce e raggiunge i valori massimi dai 65 anni in avanti; a parità di concentrazione di radon e durata dell'esposizione, il rischio di tumore polmonare è molto più alto (circa 25 volte) per i fumatori rispetto ai non fumatori.

Sulla base dell'evidenza scientifica oggi disponibile si può pertanto concludere che il radon è un rischio per la salute, soprattutto per i fumatori.

Per dare una indicazione della misura della causalità di questo rischio si sappia che l'analisi degli studi epidemiologici effettuati in 11 Paesi Europei, tra cui l'Italia, ha constatato che in persone esposte al radon per circa 30 anni, l'aumento del rischio è di circa il 16% ogni 100 Bq/m³ di concentrazione di gas radon. Quindi il rischio raddoppia per un'esposizione di circa 30 anni ad una concentrazione di circa 600 Bq/m³. A 200 Bq/m³ e 400 Bq/m³ il rischio aumenta rispettivamente del 32% e del 64%.

La gran parte della popolazione italiana è esposta ad una concentrazione media di radon inferiore a 100 Bq/m³, circa il 4% della popolazione è esposta a concentrazioni medie superiori a 200 Bq/m³ e circa l'1% a concentrazioni medie superiori a 400 Bq/m³.

Rischio radon e fumo di sigaretta

Dato che il radon agisce in modo sinergico con il fumo di sigaretta, per un fumatore l'aumento di rischio di cancro al polmone dovuto all'esposizione al radon è molto maggiore che per un non fumatore, anche se entrambi sono esposti alla stessa quantità di radon (ad es. se abitano da sempre nella stessa casa). Ma quanto è più alto tale rischio?

Se si assume come riferimento un non fumatore esposto a una concentrazione bassissima di radon, molto vicina a 0 Bq/m³, e si suppone quindi il suo rischio di tumore polmonare uguale a 1, il rischio di un fumatore che abitualmente consuma un pacchetto di sigarette, anch'esso esposto ad una concentrazione di radon prossima a 0 Bq/m³, è 25 volte più alto.

Per un'esposizione prolungata a 600 Bq/m³ di radon il rischio raddoppia sia per il non fumatore che per il fumatore; per il non fumatore pertanto passa da 1 a 2, mentre il rischio per un fumatore passa da 25 a 50. Come si vede l'aumento di rischio è molto maggiore per il fumatore.

L'Istituto Superiore di Sanità ha stimato che in Italia il numero di casi di tumore polmonare attribuibili all'esposizione al radon è compreso tra 1.000 e 5.500 ogni anno (su un totale annuale di circa 31.000 tumori polmonari), la maggior parte dei quali tra i fumatori, a causa dell'effetto sinergico tra radon e fumo di sigaretta.

Misurazioni, controlli e bonifiche

In Italia gli Istituti preposti alla misura del radon nelle abitazioni e nei luoghi chiusi sono le Agenzie regionali di protezione e prevenzione ambientale, alle quali ci si può rivolgere per adottare provvedimenti ed indicazioni adeguate di bonifica nei casi di superamento dei limiti.

Per il Veneto l'Agenzia (ARPAV) ha individuato appositi staff scientifici di studio e riferimento nelle **Unità Operative Agenti Fisici** che operano in ogni ambito provinciale per condurre indagini ed indicare buone pratiche per predisporre le bonifiche degli edifici.

Inoltre l'Agenzia Regionale di Protezione e prevenzione Ambientale del Veneto è da tempo intervenuta sulla realtà regionale, in applicazione delle direttive di legge e delle decisioni della Giunta regionale del Veneto, accumulando una conoscenza approfondita della problematica, sia sugli aspetti ispettivi che su quelli progettuali e della buone pratiche.

E' ridondante in questa sede riproporre materiale di studio ed operativo già messo a punto dall'ARPAV, al quale si rimanda per gli approfondimenti del caso (cfr. bibliografia dal [7.4.1] al [7.4.15]).

[5.] Ricognizioni e politiche di prevenzione

Nonostante l'emanazione di numerose linee guida a livello internazionale e del Decreto Legislativo n. 241/2000, che tutela dall'esposizione al radon nei luoghi di lavoro (recepimento della direttiva 96/29/Euratom), in Italia la popolazione non è ancora uniformemente tutelata sul piano normativo.

Invece in altri Paesi Europei la legge fissa o raccomanda determinati livelli di concentrazione di radon da non superare, oppure al di sopra dei quali effettuare azioni di risanamento, nelle abitazioni oltre che in ambienti di lavoro.

In Italia non c'è ancora una normativa per quanto riguarda il limite massimo di concentrazione di radon all'interno delle abitazioni private. Si può fare riferimento ai valori raccomandati dalla Comunità Europea di 200 Bq/m³ per le nuove abitazioni e 400 Bq/m³ per quelle già esistenti. Una normativa invece esiste per gli ambienti di lavoro (D. Leg. n° 241, del 26/05/2000) che fissa un livello di riferimento di 500 Bq/m³. Per le scuole non vi sono indicazioni ma si ritiene per il momento di poter assimilare una scuola ad un ambiente di lavoro.

Molti paesi hanno adottato valori di riferimento più bassi: Stati Uniti: 150 Bq/m³, Regno Unito: 200 Bq/m³, Germania: 250 Bq/m³ La Svizzera ha invece optato per un valore limite prescrittivo di 1000 Bq/m³ e un valore operativo (raccomandato) di 400 Bq/m³, mentre le scuole, per la presenza di bambini e giovani, sono state considerate alla stregua di locali abitativi.

In ogni caso i valori medi misurati nelle regioni italiane variano da 20 a 120 Bq/m³.

Analogamente a quanto avvenuto in altri Paesi l'Italia si è però dotata di un Piano Nazionale Radon (PNR), [Supplemento ordinario della Gazzetta Ufficiale N. 276 del 27 Novembre 2001] cioè di un piano coordinato di azioni volte alla riduzione del rischio di tumore polmonare connesso all'esposizione al radon ed ai suoi prodotti di decadimento.

Il PNR è stato preparato nel 2002 da un apposito gruppo di lavoro, composto da esperti di diversa provenienza e competenza, nell'ambito di una commissione del Ministero della Salute; successivamente è stato valutato positivamente dal

Consiglio Superiore di Sanità, approvato dal Ministro della Salute, ed infine discusso ed emendato nell'ambito della Conferenza Stato-Regioni.

Nel 2006 il **"Centro per la prevenzione ed il controllo delle malattie"** (CCM), presso il Ministero della Salute, ha stanziato un primo finanziamento per avviare la realizzazione del PNR, affidandone il coordinamento all'Istituto Superiore di Sanità, coadiuvato da un Sottocomitato Scientifico di cui fanno parte esperti di vari Enti, Ministeri, Regioni.

Il PNR prevede azioni su: valutazione del rischio, mappatura della concentrazione di radon ed individuazione degli edifici a maggiore presenza di radon, identificazione di sistemi per prevenire o ridurre l'ingresso del radon negli edifici, informazione della popolazione e di gruppi specifici, formazione degli addetti, normative per le abitazioni ed i luoghi di lavoro.

Pur non essendo ancora allestita una normativa nazionale e mancando una omogenea normativa regionale supplente (Solo la Regione Lazio ha predisposto una legge ad hoc), la tematica è bene circoscritta come si comprende dalla lettura della guida (cfr. Bibliogr. n. [7.2.7]) dedicata risultato dell'attività di un gruppo di lavoro ad hoc *"Ambienti di vita: prevenzione del rischio radon negli ambienti domestici"* costituito presso l'Osservatorio Nazionale Epidemiologico sulle condizioni di Salute e Sicurezza negli Ambienti di Vita, con sede presso il Dipartimento di Medicina del Lavoro dell'Istituto Superiore per la Prevenzione E la Sicurezza del lavoro (ISPESL).

La guida è rivolta alla popolazione nel suo insieme e intende offrire al cittadino un'informazione sul problema radon, comprendente una sintetica descrizione di questo fattore di rischio, l'illustrazione della situazione in Italia, il quadro normativo di riferimento e le principali iniziative già attuate o in corso, la descrizione delle principali azioni di tutela, i riferimenti nazionali e locali dei soggetti che a vario titolo si occupano del problema radon.

Ciò allo scopo di favorire una corretta percezione del rischio, orientare la valutazione del medesimo a livello della specifica situazione abitativa, essere da supporto al cittadino nella scelta di cosa fare per proteggersi e a chi rivolgersi.

L'opera è caratterizzata dal linguaggio facilmente accessibile ed è corredata da una iconografia di immediata comprensione. È inoltre integrata da un glossario essenziale alla comprensione delle informazioni di tipo tecnico.

[6.] **Interferenze, buone pratiche e indicazioni**

Le azioni di tutela dal rischio radon si promuovono attraverso un'adeguata informazione alla popolazione e possono consistere in interventi di bonifica a livello degli edifici esistenti o in soluzioni progettuali per quanto riguarda i nuovi edifici.

Il tipo di azioni da porre in atto dipende dal livello di radon nell'edificio (è sempre necessaria la misura preliminare di questo gas nell'ambiente secondo norme di buona tecnica, anche ai fini della mappatura del territorio e del patrimonio edilizio), dalla tipologia e dall'età dell'edificio, dalla compatibilità con regolamenti e vincoli edilizi e con norme di sicurezza.

I costi sono molto variabili in funzione dell'intervento, ma in generale sostenibili per quanto riguarda le singole unità abitative. Dal radon è quindi possibile proteggersi nella maggior parte dei casi, molto spesso attuando azioni semplici e a basso costo.

Una delle indicazioni, preliminari ma fondamentali, che si formulano affrontando il tema è quella della ventilazione dei locali frequentati e vissuti; ma spesso questa contrasta, soprattutto nei periodi freddi, con la necessità del risparmio energetico degli edifici sia in relazione alla progettazione di edifici nuovi sia alla ristrutturazione di edifici esistenti. Ma in presenza di elevate concentrazioni di radon nel terreno è indispensabile tenere conto anche della prevenzione dall'esposizione a questo gas, altrimenti si rischia di risolvere un problema creandone un'altro ancora maggiore.

Un esempio tipico al riguardo sono i rivestimenti termici delle mura esterne delle case (costituiti da pannelli di fibre minerali, plastiche espanse, sughero, ecc.) a protezione dalle escursioni di temperatura. Si tratta di un accorgimento validissimo e vantaggioso, ma in alcune situazioni si è notato, in zone di montagna quali l'Alto Adige, che proprio l'isolamento esterno favorisce le infiltrazioni di gas radon dal substrato fino ai piani alti: allora il radon deve essere adeguatamente convogliato all'esterno o realizzato un impianto che lo intercetti prima della sua diffusione all'interno dell'edificio.

Si ricorda che qualsiasi modifica della casa nella parte a contatto con il terreno, una diversa ventilazione, o anche solo variazioni della tenuta degli infissi possono influire sulla concentrazione del radon *indoor*. Di conseguenza, alla base di ogni progettazione di interventi a scopo estetico, energetico o per altre finalità deve esserci una misura del radon *indoor*, i risultati della quale devono essere tenuti in considerazione nelle fasi successive.

Lo scopo è quello di abbinare i concetti di risparmio energetico e di prevenzione dal radon in modo da pianificare per l'edificio in oggetto soluzioni che soddisfino entrambe le necessità.

Strategie di difesa e mitigazione

In generale si può distinguere tra il risanamento del radon in una casa esistente e la prevenzione dal radon in un edificio nuovo, ancora in fase di progetto. In entrambi i casi si cerca d'impedire o limitare l'ingresso del radon dal suolo. In termini operativi vi è però una sostanziale differenza.

Nel caso del risanamento le contromisure vanno adeguate ad una struttura esistente, con molti possibili punti d'infiltrazione; di conseguenza i risultati non sempre saranno soddisfacenti. Le azioni preventive possono invece essere pianificate in base alle reali esigenze ed integrate in modo mirato ed ottimale nella nuova struttura dell'edificio; pertanto gli interventi sono più semplici da realizzare e vi sono maggiori garanzie di successo.

Il risanamento del radon in edifici esistenti

Le strategie di difesa mirano principalmente ad impedire l'ingresso del radon dal terreno con tecniche ormai bene documentate e con risultati in genere soddisfacenti. Riguardo all'emanazione di radon dai materiali di costruzione non esistono ancora al momento dati conclusivi; occorre supplire con la piena conoscenza di essi (Tab. 5).

Relativamente alla scelta della contromisura da adottare è bene precisare che di norma non è possibile garantire a priori il successo di un determinato metodo.

La scelta è quasi sempre un compromesso tra la complessità di realizzazione, il costo ed il beneficio stimato. Spesso si inizia con un metodo ritenuto promettente

ma poco invasivo e poco costoso, per passare poi, in caso d'insuccesso, ad un metodo più complesso. In teoria non esiste un edificio che non possa essere risanato: l'unico limite sono i costi oppure vincoli architettonici che non permettono di adottare certe tecniche. In ogni caso è indispensabile che i lavori siano eseguiti attenendosi scrupolosamente alla metodologia prevista. Già piccoli errori d'esecuzione possono pregiudicare totalmente l'efficacia del metodo e, a lavoro ultimato, è indispensabile verificare con una misura l'efficacia dell'intervento.

La valutazione dell'efficacia delle azioni di rimedio si ottiene dal rapporto (detto fattore di riduzione = FR) fra la concentrazione di radon prima e dopo l'intervento realizzato.

Le azioni di abbattimento del radon più diffuse sono le seguenti:

1. Rimozione del radon e/o dei suoi prodotti di decadimento dall'aria interna (mediante precipitatori elettrostatici, o generatori di ioni negativi, o filtrazione con carboni attivi); L'efficacia di questi mezzi è relativamente bassa.
2. Aerazione/ventilazione/miscelazione con aria esterna (il ricambio naturale e/o forzato dell'aria d'ambiente confinato aumenta sensibilmente l'efficacia dell'evacuazione del radon anche se a livelli di maggiore intensità innesca problemi di conservazione dell'energia/calore dei vani interessati); Oltre 1000 Bq/m³ le probabilità di successo sono però modeste;
3. Prevenzione dell'ingresso del radon negli edifici.
 - 3.1. Sigillare le vie d'ingresso Apparentemente rappresenta il metodo più semplice e più indicato per combattere il radon. In realtà, soprattutto in caso di valori di radon elevati (oltre 1000 Bq/m³), i risultati della sigillatura sono spesso incerti e da soli insufficienti a risolvere il problema. Le tecniche di isolamento devono essere abbinate alle cosiddette tecniche d'abbattimento attive (che prevedono l'ausilio di un ventilatore).
 - 3.2. Aerare di più la cantina o il vespaio o creare una sovrappressione negli ambienti di vita. Nei casi in cui le infiltrazioni di radon ai piani superiori provengano dai locali interrati (cantina o da altre stanze sottostanti) può essere sufficiente aumentare il ricambio d'aria in cantina con metodi passivi (finestra socchiusa) o attivi (ventilatore).
 - 3.3. Pressurizzazione/depressurizzazione. Se ciò non dovesse bastare si può rafforzare l'effetto espellendo all'esterno l'aria dalla cantina chiusa (creando una depressione) o immettendovi aria esterna (creando una sovrappressione) con un ventilatore.

Comunque le tecniche di espulsione attiva del radon sono quelle maggiormente indicate per valori di presenza del gas più consistenti.

Progettazione di edifici radon-impermeabili

Nuove costruzioni possono prevedere soluzioni architettoniche ed ingegneristiche atte a prevenire efficacemente il problema discusso. Il concetto ispiratore è quello della prevenzione dell'ingresso del gas nell'edificio, che si può ottenere con la progettazione di vespai sottostanti ventilati e intercapedini laterali altrettanto ventilate riempiti di materiali di granulometria adeguata e attraversati da condotte

alle quali ricorrere in caso di attivare una circolazione forzata d'aria. Per costruzioni in siti fortemente indiziati dalla conoscenza geologica può essere previsto una rete perimetrale di depressurizzazione del suolo. Naturalmente il successo di una buona prevenzione richiede professionalità nella posa delle opere e della qualità delle soluzioni adottate che devono tutte ridurre ogni possibile comunicazione fra interno ed esterno e sottosuolo nei servizi (condutture di allacciamenti di acqua e gas, scarichi fognari, reti di riscaldamento, ecc.).

Conclusioni

I sistemi per la riduzione del radon negli edifici con elevate concentrazioni sono stati oggetto di numerosi studi di tipo applicativo in campo internazionale (USA, Regno Unito, Svizzera e Paesi Scandinavi). L'esperienza maturata deriva da centinaia di migliaia di edifici "risanati". Le possibili azioni di rimedio sono state ormai classificate e sebbene le tipologie edilizie possano variare anche di molto da Paese a Paese, quelle con maggior possibilità di successo sono state illustrate.

Va inoltre rilevato che l'applicazione di accorgimenti volti a prevenire l'ingresso del radon nei nuovi edifici o la predisposizione di strutture per future azioni di rimedio, hanno dei costi di progettazione e di realizzazione generalmente molto bassi.

In Italia, i primi risultati confermano i principi base su cui si basano le tecniche di riduzione del radon.

Se le indicazioni operative sono in massimo grado coincidenti nelle varie realtà regionali pubblicate, sul piano legislativo è conosciuta la sola esperienza del Lazio (cfr. bibliografia [7.3.5]) articolata essenzialmente su:

1. realizzazione di un piano regionale di prevenzione e riduzione del problema con definizione dei livelli limite;
2. rilevazione delle aree a rischio;
3. progettazione di interventi di risanamento;
4. prescrizioni di norme tecniche costruttive su nuove edificazioni;
5. monitoraggi periodici;
6. studio epidemiologico;
7. prevenzione della contaminazione dell'acqua potabile;
8. previsione di piani stralcio per situazioni di urgenza;
9. adeguamento degli strumenti di pianificazione subordinati e recepimento delle normative edilizie relativamente alle prescrizioni costruttive nelle aree a rischio;
10. finanziamento della pianificazione regionale e dei progetti comunali di recupero e risanamento edilizio mediante contributi.

Occorre allargare, tuttavia lo spettro delle tipologie edilizie su cui sperimentare azioni di rimedio e nel frattempo valutarne l'efficacia nel tempo.

Bisogna inoltre estendere le indagini di altre tecniche di rimedio quali l'uso di vernici, materiali coprenti ecc. da utilizzare nelle zone in cui i materiali tradizionali di costruzione (legno e pietra) possono costituire un problema.

Su questo aspetto una legge regionale potrebbe prevedere anche un particolare sostegno alla ricerca per mirate innovazioni tecnologiche.

Tab. 6 - Prospetto degli adeguamenti dei livelli di riferimento di radioprotezione(Bq/m³) per gli edifici e per i luoghi di lavoro secondo varie organizzazioni internazionali.

Organizzazioni internazionali	Livelli di riferimento precedenti o correnti		Livelli di riferimento recenti o proposti	
	Edifici civili	Luoghi di lavoro	Edifici civili	Luoghi di lavoro
ICRP (International Commission on Radiological protection)	200-600 ≤600	500-1500 ≤ 500	≤300	
WHO (World Health Organization)	250		100 (≤300)	
EC (Commissione Europea)	400	≤1000	≤300	≤1000
IAEA (International Atomic Energy Agency)	200-600		≤300	≤1000
Paesi del nord Europa	200, 400	400 ^(a) , 400 -1500 ^(b)	100-200	

(a) ambienti di lavoro sopra il livello del suolo

(b) ambienti di lavoro sotterranei

Gli orientamenti generali (Tab. 6) che si stanno affermando a livello mondiale (cfr. bibliografia [7.2.18]) per migliorare le politiche di prevenzione di questo problema sono improntati alle seguenti indicazioni:

- ▶ incentivare ricognizioni e monitoraggi sulle popolazioni superando i contesti geografici delle aree geologicamente più indiziate.
- ▶ utilizzare criteri di selezione geografica e geologica solamente per gli aspetti amministrativi della programmazione degli interventi di risanamento.
- ▶ avviare programmi di sorveglianza igienico sanitaria su tutta la popolazione.
- ▶ prescrivere che le nuove edificazioni siano attrezzate di presidi tecnico-architettonici come unica possibilità di costruzioni impermeabili al radon.
- ▶ rendere obbligatoria una misurazione preventiva nelle nuove abitazioni/edifici in costruzione.
- ▶ prestare massima attenzione alla pericolosa sinergia radon-fumo di sigaretta.
- ▶ intervenire sui programmi nazionali antifumo;
- ▶ mirare come limite di riferimento generale ed individuale quello dei 100 Bq/m³.
- ▶ se questo obiettivo di qualità non sembra praticabile, non superare nelle proprie scelte il valore limite di 300 Bq/m³.

[7.] Bibliografia

[7.1] SPOGLI

- [7.1.1] Akerblom, G., Swedjemarm, G. A.. *Radon nelle acque*. (1996) Ambiente Risorse Salute, p. 58.
- [7.1.2] Azara A., Moscato U., *Radon e salute in Rapporto Osservasalute Ambiente 2008*, Osservatorio Nazionale sulla Salute nelle Regioni Italiane. Università Cattolica del Sacro Cuore di Roma
- [7.1.3] Bochicchio F. (2008). *The radon issue: Considerations on regulatory approaches and exposure evaluations on the basis of recent epidemiological results*. Applied Radiation and Isotopes 66 (2008) 1561–1566. Elsevier
- [7.1.4] Bochicchio F. (2011) *The newest international trend about regulation of indoor radon*. Radiation Protection Dosimetry (2011), Vol. 146, No. 1–3, pp. 2–5
- [7.1.5] Bochicchio F., Campos Venuti G., Piermattei S., Torri G., Nuccetelli C., Risica S., Tommasino L.. *Results of the national survey on radon indoors in all the 21 italian regions*. Radon in the Living Environment, 19-23 April 1999, Athens, Greece
- [7.1.6] Bressa G. *Il rischio radon nelle abitazioni*. (2001) Gea 2, p. 74-77. Contiene bibliografia.
- [7.1.7] Campanella, L. *Biosensore a cellule di lievito per la valutazione del danno biologico da esposizione a radon*. (2002) Inquinamento, 34 p. 22-23
- [7.1.8] Citoni, M.. *Incubo radon*. (2005) La Nuova ecologia, 3 p. 24
- [7.1.9] Fazzo, L.. (1999) *Radon, un gas nobile e aggressivo*. La Nuova ecologia, 3 p. 38
- [7.1.10] Legambiente (2011) *Ecosistema Scuola XII Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi*.
- [7.1.11] Tanferi, A., Trotti, F., Lanciai, M.. *Determinazione del rapporto tra esposizione a radon e cancro polmonare. Indagine epidemiologica di tipo ecologico svolta nel Veneto*. (1996). Ambiente Risorse Salute, 45 p. 7-10
- [7.1.12] Zappa, S., Stancher, B., Calabrese, M.. *Misure indoor di radon e toron in alcuni ambienti di lavoro nella provincia di Trieste*. (2002) Ambiente Risorse Salute, 87, p. 9-13.

[7.2] TESTI

- [7.2.1] Bevitori P. (2003), *Guida alla casa ecologica*. Maggioli Editore, 2003.
- [7.2.2] Citterio M., Colaci V., Fasano G., Giorgiantoni, D. Malosti D., Sciocchetti G. (1999) *Inquinamento indoor e radon*. Ministero dell'ambiente, ENEA 1999.
- [7.2.3] Cocchioni C., Giretti A. (2003). *Valutazione della qualità ambientale indoor*, Rapporto di ricerca.
- [7.2.4] Facchini U., Valli G., Vecchi R. (1991). *Il Radon nella Casa. Ist. di Fisica Gen. Applicata* - Università di Milano.
- [7.2.5] Faconti D., Piardi S., (1997). *La qualità ambientale degli edifici*. Maggioli Editore.
- [7.2.6] Indoor Air '93, (1993) *Proceedings of the 6th internazionale Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Volume 4, Helsinki, Finland, July 4-8, 1993.

- [7.2.7] ISPESL (2007). *Il radon in Italia: guida per il cittadino*.
- [7.2.8] Keller G., Hoffman B., Feigenspan T. (1999). *Radon permeability and radon exhalation of building materials*. In Proc. Workshop Radon in the Living Environment, 19-23 aprile 1999, Atene.
- [7.2.9] Minaci L., Verdi L., Marchesoni C., Amadori C., (2003). *Radon in Alto Adige, stato delle indagini*, Bolzano, 2003
- [7.2.10] Moroni M., *Il radon*, Milano, il Sole24ore, (2002). ISBN 8832447630
- [7.2.11] Office Federal de la Santé Publique, (1999). *Radioactivité e radioprotection*, marzo 1999, Berne.
- [7.2.12] Orlando P., Amici M., Belli M., Marchetti A., Minaci L., Bertolo A. (1999). *Il Sistema Informativo Territoriale per la valutazione del Potenziale di Esalazione di Radon dal Suolo*, ANPA.
- [7.2.13] Orlando P., Trevisi R., (1997) *Diagnostica del rischio radon negli edifici*, Roma, 1997.
- [7.2.14] Piardi S., Carena P., Oberti I., Ratti A., (1999). *Costruire edifici sani*, Maggioli Editore, 1999.
- [7.2.15] Schiessi P., Hohberg I., (2003). *Radioattività dei materiali da costruzione*, 2003, Monaco.
- [7.2.16] Università Cattolica del Sacro Cuore (2003). *La radioattività: il rischio Radon*, Corso di aggiornamento Istituto di fisica, 27 ottobre 2003, Roma.
- [7.2.17] Zannoni G., Bellezza M., Bigliotto C., Precaro I. (2006). *Gas radon: tecniche di mitigazione. Indagine sperimentale sulla correlazione fra attacco a terra e tecniche di mitigazione*. ISBN: 978-88-86729-69-7
- [7.2.18] World Health Organization *WHO Handbook on indoor radon : a public health perspective*. (2009) Hajo Zeeb, and Ferid Shannoun. Geneva. ISBN 978 92 4 154767 3

[7.3] RIFERIMENTI NORMATIVI

- [7.3.1] Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province autonome di Trento e Bolzano (2003). *"Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei"*,
- [7.3.2] Conferenza permanente Stato Regioni (2001), *"Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati"*, 27 settembre 2001, detto anche "Piano Nazionale Radon" (PNR), pubblicate nel Supplemento ordinario della Gazzetta Ufficiale N. 276 Del 27 Novembre 2001.
- [7.3.3] Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 241: *"Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti"*. (Supplemento G. U. n. 203 del 31 agosto 2000), Allegato IV.
- [7.3.4] EC (1999) *"Radiation protection 112" Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials"*. 1999
- [7.3.5] Regione Lazio legge regionale n. 14 del 31-03-2005 *"Prevenzione e salvaguardia dal rischio gas radon"* BUR Lazio n. 10 del 9 aprile 2005
- [7.3.6] UNSCEAR (2000) (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) *"Source and effects of ionizing radiations"* in UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with scientific annexes. United Nations, New York, 2000.

- [7.3.7] Una rassegna normativa esauriente si trova qui:
<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/radiazioni-ionizzanti/cosa-dice-la-normativa>
- [7.4] DOCUMENTI ARPA VENETO E LOMBARDIA
- [7.4.1] Controlli nelle scuole (nidi e materne), pubbliche e private, dei Comuni capoluogo di provincia di Padova, Treviso e Verona (2010-2013):
<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/radiazioni-ionizzanti/radon/i-monitoraggi/indagine-nelle-scuole-anni-2010-2013>
- [7.4.2] Controlli nelle scuole dai nidi alle medie incluse, pubbliche e private, in alcuni Comuni del Veneto a partire da quelli in cui i livelli di radon sono più elevati (2009-2012):
<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/radiazioni-ionizzanti/radon/i-monitoraggi/indagine-nelle-scuole-anni-2009-2012>
- [7.4.3] Controlli nelle scuole dai nidi alle medie incluse, pubbliche e private, nei Comuni preliminarmente individuati a rischio radon (2003-2006):
<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/radiazioni-ionizzanti/radon/i-monitoraggi/indagine-nelle-scuole-anni-2003-2006>
- [7.4.4] Descrizione della metodologia adottata per l'individuazione delle aree a rischio (indagine regionale 1996-2000):
<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/radiazioni-ionizzanti/radon/aree-a-rischio-in-veneto/metodologia-per-lindividuazione-delle-aree-a-rischio-radon>
- [7.4.5] Descrizione delle iniziative di approfondimento metrologiche condotte in abitazioni dell'area euganea e dell'elaborazione dedicata ai relativi dati di concentrazione:
<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/documenti/documenti-radon/ApprofondimentoAreaEuganea.pdf>
- [7.4.6] Il Radon in Veneto: ecco come proteggersi. (2001) ARPAV - Regione Veneto:
http://www.arpa.veneto.it/arpavinforma/pubblicazioni/il-radon-in-veneto-ecco-come-proteggersi/at_download/file
- [7.4.7] La mappatura delle aree ad elevato potenziale di radon. Indagine regionale 1996-2000:
<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/radiazioni-ionizzanti/radon/i-monitoraggi/la-mappatura-delle-aree-ad-elevato-potenziale-di-radon>
- [7.4.8] Linee guida per la prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambienti indoor. Regione Lombardia (2011):
http://www.sanita.regione.lombardia.it/shared/ccurl/687/320/Decreto%2012678%20del%2021_12_2011.PDF
- [7.4.9] Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei. Roma, 6 febbraio 2003:
http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/Linee_Guida_luoghi_lavoro_sotterranei.pdf
- [7.4.10] Monitoraggio Radon in provincia di Belluno: scuole monitorate e risultati rilevati:
http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/radon/ScuoleProv_Belluno.pdf
- [7.4.11] Monitoraggio Radon in provincia di Padova: scuole monitorate e risultati rilevati:
http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/radon_scuole-2012/copy2_of_Scuolepadova.pdf
- [7.4.12] Monitoraggio Radon in provincia di Treviso: scuole monitorate e risultati rilevati:
http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/radon/ScuoleProv_Treviso.pdf
- [7.4.13] Monitoraggio Radon in provincia di Vicenza: scuole monitorate e risultati rilevati:
http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/radon/ScuoleProv_Vicenza.pdf
- [7.4.14] Opuscolo informativo sul radon:
http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/documenti/documenti-radon/Allegato_6.zip

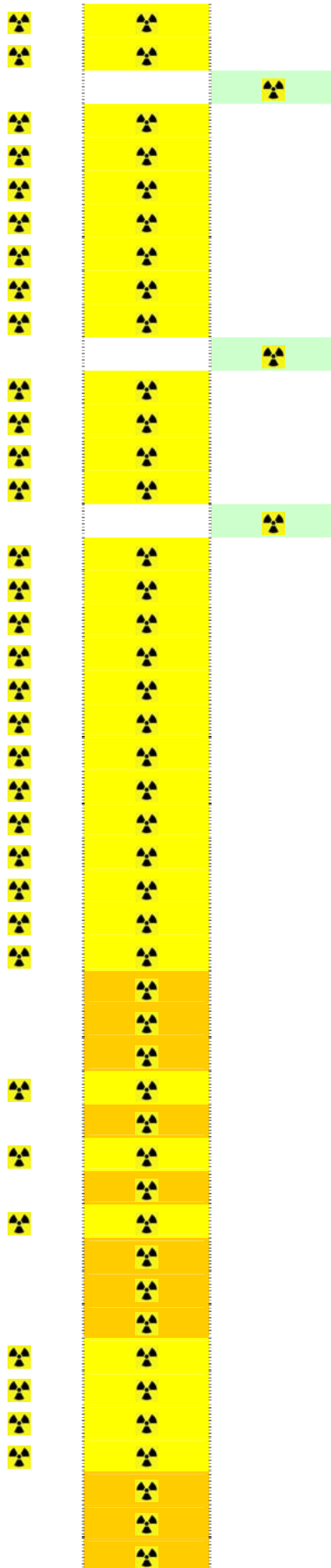
- [7.4.15] Sperimentazione delle azioni di rimedio sugli edifici con alta concentrazione di gas radon nel Veneto (2007):
<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/Rapportobonifiche2007.pdf>
- [7.4.16] Superamenti e aggiornamenti sullo stato di avanzamento delle bonifiche:
<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/radon/bonificheScuoleRadon.pdf>
- [7.4.17] Tabella dell'indicatore di rischio che stima la percentuale di abitazioni dei Comuni Euganei, attesi superare il livello di riferimento di 200 Bq/m³. L'aggiornamento dell'indicatore è in fase di recepimento presso la Regione Veneto:
http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/documenti/documenti-radon/Perc_abitazioni_LR200_Euganei2007.pdf
- [7.4.18] Tabella dell'indicatore di rischio che stima la percentuale di abitazioni di un Comune atteso superare il livello di riferimento di 200 Bq/m³. La tabella recepita nell'ambito della Legge regionale n. 11 del 2004 non contiene i Comuni dell'area euganea, oggetto di revisione in una successiva campagna di approfondimento:
http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/documenti/documenti-radon/Perc_abitazioni_LR200_Veneto2004.pdf
- [7.4.19] "DGRV_79_2002", Delibera regionale nella quale si stabilisce un livello di riferimento raccomandato per bonificare le abitazioni pari a 200 Bq/m³ in termini di concentrazione media annua, si definisce un primo elenco di Comuni a rischio radon, si invita la popolazione di quei Comuni e tutti i residenti ai piani bassi ad effettuare controlli di radon, si propongono successive iniziative di prevenzione e di approfondimento con specifiche campagne di indagine.
http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/normativa/delibera_n79.zip

ALLEGATO

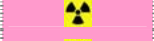
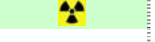
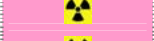
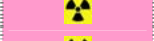
Tab.2 - COMUNI DEL VENETO INDIZIATI DI RISCHIO RADON. INDAGINI EFFETTUATE ED IN CORSO NELLE SCUOLE

Prov.	ISTAT	Comune	Comuni a rischio	Indagine 2003-2006	Indagine 2009-2012	Indagine 2010-2013
VR	23091	VERONA				
VI	24001	AGUGLIARO				
VI	24002	ALBETONE				
VI	24004	ALTAVILLA VICENTINA				
VI	24006	ARCUGNANO				
VI	24007	ARSIERO				
VI	24009	ASIAGO				
VI	24014	BREGANZE				
VI	24018	CALDOGNO				
VI	24019	CALTRANO				
VI	24020	CALVENE				
VI	24023	CAMPOLONGO SUL BRENTA				
VI	24024	CARRE'				
VI	24026	CASSOLA				
VI	24030	CHIUPPANO				
VI	24032	COGOLLO DEL CENGIO				
VI	24033	CONCO				
VI	24035	COSTABISSARA				
VI	24036	CREAZZO				
VI	24038	DUEVILLE				
VI	24040	FARA VICENTINO				
VI	24041	FOZA				
VI	24042	GALLIO				
VI	24044	GAMBUGLIANO				
VI	24048	ISOLA VICENTINA				
VI	24049	LAGHI				
VI	24050	LASTEBASSE				
VI	24051	LONGARE				
VI	24053	LUGO DI VICENZA				
VI	24054	LUSIANA				
VI	24055	MALO				
VI	24056	MARANO VICENTINO				
VI	24062	MONTECCHIO PRECALCINO				
VI	24066	MONTEVIALE				
VI	24067	MONTICELLO CONTE OTTO				
VI	24074	NOVENTA VICENTINA				
VI	24076	PEDEMONTE				
VI	24078	PIOVENE ROCCHETTE				
VI	24079	POIANA MAGGIORE				
VI	24080	POSINA				
VI	24082	POZZOLEONE				

VI	24084	RECOARO TERME
VI	24085	ROANA
VI	24086	ROMANO D'EZZELINO
VI	24087	ROSA'
VI	24088	ROSSANO VENETO
VI	24089	ROTZO
VI	24090	SALCEDO
VI	24091	SANDRIGO
VI	24093	SAN NAZARIO
VI	24095	SANTORSO
VI	24096	SAN VITO DI LEGUZZANO
VI	24097	SARCEDO
VI	24099	SCHIAVON
VI	24100	SCHIO
VI	24101	SOLAGNA
VI	24103	SOVIZZO
VI	24105	THIENE
VI	24106	TONEZZA DEL CIMONE
VI	24107	TORREBELVICINO
VI	24111	VALDAGNO
VI	24112	VALDASTICO
VI	24113	VALLI DEL PASUBIO
VI	24114	VALSTAGNA
VI	24115	VELO D'ASTICO
VI	24116	VICENZA
VI	24118	VILLAVERLA
VI	24119	ZANE'
VI	24122	ZUGLIANO
BL	25001	AGORDO
BL	25002	ALANO DI PIAVE
BL	25003	ALLEGHE
BL	25004	ARSIE'
BL	25005	AURONZO DI CADORE
BL	25006	BELLUNO
BL	25007	BORCA DI CADORE
BL	25008	CALALZO DI CADORE
BL	25009	CASTELLAVAZZO
BL	25010	CENCENIGHE AGORDINO
BL	25011	CESIOMAGGIORE
BL	25012	CHIES D'ALPAGO
BL	25013	CIBIANA DI CADORE
BL	25015	COMELICO SUPERIORE
BL	25016	CORTINA D'AMPEZZO
BL	25017	DANTA DI CADORE
BL	25018	DOMEGGE DI CADORE
BL	25019	FALCADE
BL	25020	FARRA D'ALPAGO



BL	25021	FELTRE		
BL	25022	FONZASO		
BL	25023	CANALE D'AGORDO		
BL	25024	FORNO DI ZOLDO		
BL	25025	GOSALDO		
BL	25026	LAMON		
BL	25027	LA VALLE AGORDINA		
BL	25028	LENTIAI		
BL	25029	LIMANA		
BL	25030	LIVINALLONGO DEL COL DI LANA		
BL	25031	LONGARONE		
BL	25032	LORENZAGO DI CADORE		
BL	25033	LOZZO DI CADORE		
BL	25034	MEL		
BL	25035	OSPITALE DI CADORE		
BL	25036	PEDAVENA		
BL	25037	PERAROLO DI CADORE		
BL	25038	PIEVE D'ALPAGO		
BL	25039	PIEVE DI CADORE		
BL	25040	PONTE NELLE ALPI		
BL	25041	PUOS D'ALPAGO		
BL	25042	QUERO		
BL	25043	RIVAMONTE AGORDINO		
BL	25044	ROCCA PIETORE		
BL	25045	SAN GREGORIO NELLE ALPI		
BL	25046	SAN NICOLO' DI COMELICO		
BL	25047	SAN PIETRO DI CADORE		
BL	25048	SANTA GIUSTINA		
BL	25049	SAN TOMASO AGORDINO		
BL	25050	SANTO STEFANO DI CADORE		
BL	25051	SAN VITO DI CADORE		
BL	25052	SAPPADA		
BL	25053	SEDICO		
BL	25054	SELVA DI CADORE		
BL	25055	SEREN DEL GRAPPA		
BL	25056	SOSPIROLO		
BL	25057	SOVERZENE		
BL	25058	SOVRAMONTE		
BL	25059	TAIBON AGORDINO		
BL	25060	TAMBRE		
BL	25061	TRICHIANA		
BL	25062	VALLADA AGORDINA		
BL	25063	VALLE DI CADORE		
BL	25064	VAS		
BL	25065	VIGO DI CADORE		

BL	25066	VODO DI CADORE			
BL	25067	VOLTAGO AGORDINO			
BL	25068	ZOLDO ALTO			
BL	25069	ZOPPE' DI CADORE			
TV	26001	ALTIVOLE			
TV	26003	ASOLO			
TV	26007	CAPPELLA MAGGIORE			
TV	26008	CARBONERA			
TV	26013	CASTELLO DI GODEGO			
TV	26021	CONEGLIANO			
TV	26025	CROCETTA DEL MONTELLO			
TV	26029	FONTE			
TV	26030	FREGONA			
TV	26039	MASER			
TV	26040	MASERADA SUL PIAVE			
TV	26046	MONTEBELLUNA			
TV	26055	PAESE			
TV	26057	PIEVE DI SOLIGO			
TV	26059	PONZANO VENETO			
TV	26077	SAN ZENONE DEGLI EZZELINI			
TV	26078	SARMEDE			
TV	26083	SUSEGANA			
TV	26085	TREVIGNANO			
TV	26086	TREVISO			
TV	26089	VEDELAGO			
TV	26091	VILLORBA			
TV	26093	VOLPAGO DEL MONTELLO			
PD	28001	ABANO TERME			
PD	28005	ARQUA' PETRARCA			
PD	28009	BAONE			
PD	28011	BATTAGLIA TERME			
PD	28030	CERVARESE SANTA CROCE			
PD	28031	CINTO EUGANEO			
PD	28032	CITTADELLA			
PD	28037	ESTE			
PD	28039	GALLIERA VENETA			
PD	28040	GALZIGNANO TERME			
PD	28047	LOZZO ATESTINO			
PD	28055	MONSELICE			
PD	28057	MONTEGROTTO TERME			
PD	28060	PADOVA			
PD	28071	ROVOLON			
PD	28077	SAN MARTINO DI LUPARI			
PD	28089	TEOLO			
PD	28091	TOMBOLO			
PD	28092	TORREGLIA			
PD	28105	VO			

totale 180

% 31



Comuni a rischio Radon. Anno di aggiornamento dell'elenco: 2002. Fonte: DGRV n. 79 del 18/01/2002.



Comuni interessati dall'indagine nelle scuole (DGRV n. 79 del 18.01.2002)



Comuni indagati per iniziative locali dell'ARPAV e delle Aziende ULSS competenti per territorio.



Comuni dell'area euganea fortemente indiziata di rischio Radon



Comuni interessati dall'indagine nelle scuole 2009 - 2012



Comuni interessati dall'indagine nelle scuole(nidi + materne) 2010 - 2013 (DGRV n. 3139 del 2010)