

La costruzione della conoscenza dell'inquinamento da radon nella pianificazione urbanistica

Roberto Gerundo^(a), Michele Grimaldi^(b), Alessandra Marra^(c)

^(a) Università degli studi di Salerno, DiCiv - Dipartimento di Ingegneria Civile, Via Giovanni Paolo II, 132 - 84084 - Fisciano (SA), *r.gerundo@unisa.it*

^(b) Università degli studi di Salerno, DiCiv - Dipartimento di Ingegneria Civile, Via Giovanni Paolo II, 132 - 84084 - Fisciano (SA), *migrimaldi@unisa.it*

^(c) Università degli studi di Salerno, DiCiv - Dipartimento di Ingegneria Civile, Via Giovanni Paolo II, 132 - 84084 - Fisciano (SA), *alessandra.marra3@gmail.com*

Riassunto

In considerazione dei rilevanti effetti sulla salute, il radon è classificato sin dal 1988 come agente cancerogeno di Gruppo 1 e dichiarato secondo responsabile dei tumori all'apparato respiratorio. In considerazione dei rilevanti effetti sulla salute, esso dovrebbe essere riconosciuto tra le categorie di rischi ambientali che la pianificazione territoriale è chiamata a gestire in termini di mitigazione, il che suggerisce la possibilità di riconoscere differenti linee d'azione, corrispondenti ai vari livelli di pianificazione. La metodologia proposta, applicata al comune di Eboli (SA), prevede la costruzione della carta del rischio da radon a scala comunale, quale strumento di conoscenza per la mitigazione del rischio alla scala urbana. A tal fine occorre costruire un sistema informativo territoriale, per il quale è necessario acquisire alcuni dati già ordinariamente disponibili nel processo di redazione del Piano Urbanistico Comunale, oltre ai dati relativi alle misure sperimentali di radon, sia nel suolo che negli edifici. In conclusione, le informazioni provenienti dalle banche dati generalmente accessibili non risultano sufficienti per la mappatura del rischio da radon, ma occorre integrarle con specifiche indagini sul campo.

Abstract

In view of the significant health effects, the radon is classified since 1988 by the WHO as a carcinogen of the Group I, and it is considered the second factor responsible of lung cancer. In view of the significant health effects, the radon must be considered among the territorial risks that the planning has to manage in terms of mitigation, which suggests the possibility of recognizing different lines of action, corresponding to the various levels of planning.

The proposed methodology, applied to the municipality of Eboli (SA), provides for the construction of a radon risk map at municipal scale, as a tool for awareness of risk mitigation at the urban scale.

To this end, it is required to have a territorial information system for which it is necessary to acquire some data already available in the drafting of the municipal urban plan as well as data on experimental radon measurements, both in soil and buildings. In conclusion, information from generally accessible databases is not enough to map radon risk, but it needs to be supplemented with specific field surveys.

Introduzione

Tra le tipologie di rischio canonicamente considerate nella pianificazione, come il rischio sismico, idrogeologico, vulcanico, da incendi e da incidente rilevante, non rientra una tipologia di rilevante impatto che è il rischio da gas radon negli ambienti chiusi (Castelluccio et al., 2012). Il radon è un gas radioattivo, classificato sin dal 1988 dall'OMS come agente cancerogeno di Gruppo I (WHO-IARC, 1988), ovvero di accertata oncogenicità per l'uomo, inoltre recenti studi lo dichiarano secondo responsabile del tumore al polmone dopo il fumo da tabacco (WHO, 2009): è responsabile di un significativo numero di decessi per tumore al polmone in tutto il mondo, provocandone 21100 solo negli Stati Uniti (EPA, 2003). La principale fonte di radon è il suolo (Nero, Nazaroff, 1984), dove esso viene prodotto dal radio, nella catena di decadimento radioattivo dell'uranio, presente in tutta la crosta terrestre, e in misura minore i materiali da costruzione. Essendo un gas, dal suolo (radon *soil-gas*), attraverso un meccanismo detto di esalazione, il radon raggiunge l'atmosfera, dove è disperso dalle correnti d'aria, mentre negli ambienti chiusi (radon *indoor*), essendo più pesante dell'aria, tende ad accumularsi raggiungendo concentrazioni anche molto elevate: il rischio per la salute pubblica è correlato, dunque, all'esposizione al radon *indoor*. Nel passaggio del radon dal suolo all'interno dell'edificio, un ruolo fondamentale viene rivestito dalla tipologia di fondazione: una fondazione a platea in c.a., ad esempio, funge da barriera al radon, molto più che una fondazione in muratura portante. La popolazione maggiormente esposta, sulla base delle campagne di misura condotte nel corso degli anni, risulta essere quella che occupa i piani degli edifici maggiormente a contatto con il suolo (Zannoni et al., 2006). Studi epidemiologici, inoltre, dimostrano come il rischio aumenti al diminuire dell'età, diventando massimo nella fascia di età compresa tra 0 e 19 anni (Spencer, 1986). Vista la rilevanza globale del problema, l'OMS ha elaborato nel 2009 un intero manuale dedicato al radon, nel quale si richiede alle autorità nazionali di fissare un valore soglia, oltre il quale prevedere interventi di mitigazione, oltre che individuare le aree particolarmente inclini al radon, note dalla letteratura come *radon prone areas*, allo scopo di indirizzare in tali aree interventi di mitigazione più severi, da prescrivere all'interno dei regolamenti edilizi (WHO, 2009). Tali raccomandazioni sono state interamente inglobate nella recente Direttiva Europea del 2013, la 59/2013/Euratom, che dovrà essere recepita dagli Stati Membri entro febbraio 2018. L'OMS, sulla base dell'evidenza scientifica, raccomanda il non superamento del valore di 100 Bq/m^3 nella misura più restrittiva e in ogni caso tassativamente di non superare i 300 Bq/m^3 (WHO, 2009), valore questo, recepito dalla recente Direttiva europea del 2013 (EU 59, 2013). Ad oggi, sia a livello internazionale che europeo si riscontrano valori di riferimento differenti stato per stato (Gue, 2015), così come non esiste ancora uno standard internazionale per la mappatura delle *radon prone areas* (Dubois, 2005), mentre la gestione del rischio da radon è già sostanzialmente affidata al regolamento edilizio. In Italia non è mai stato fissato un livello di riferimento per le abitazioni, poiché una normativa specifica esiste solo per i luoghi di lavoro ed è entrata in vigore con il D.Lgs. 241/00, che, peraltro, demanda alle Regioni l'individuazione delle *radon prone areas*, senza chiarire i criteri di individuazione delle stesse. La gestione del rischio da radon, quando

attenzionato, è stata valutata nei regolamenti edilizi comunali, tuttavia, le prescrizioni in essi contenute fanno riferimento all'intero territorio comunale, secondo un approccio protezionistico uniforme, che può risultare valido ad una scala di minore dettaglio rispetto a quella urbana, ma non è coerente con l'ambito di applicazione del regolamento edilizio comunale. È necessario definire, cioè, differenti livelli di approfondimento della conoscenza del rischio da radon in un territorio, corrispondenti ai vari livelli di pianificazione, secondo un approccio gerarchico e multiscalare. Su tale impostazione metodologica è incentrato il programma Rad_Campania, un programma di ricerca interdipartimentale tra le Università di Salerno e Napoli, finalizzato all'individuazione delle *radon prone areas* a differenti e progressivi livelli di dettaglio, dalla scala regionale fino alla scala comunale, a supporto della pianificazione, rispettivamente territoriale e urbanistica (Guida et al., 2008).

Metodologia

La metodologia proposta, già discussa dagli autori in un contributo precedente, si propone di implementare il rischio da radon nella pianificazione urbanistica, attraverso la costruzione della carta del rischio da radon a scala comunale, elaborato conoscitivo finalizzato a supportare la definizione delle azioni di mitigazione, differenziate a seconda dei livelli di rischio individuati ed attuate mediante idonee tecniche di intervento, descritte nel dettaglio in apposite schede da allegare al Regolamento Urbanistico Edilizio Comunale. Preventivamente, a partire dall'equazione fondamentale del rischio, occorre definire l'equazione del rischio da radon, che esprime quest'ultimo come combinazione di pericolosità ed esposizione, ponendo la vulnerabilità pari all'unità, condizione equivalente a quella di massimo danno, poiché il bene esposto, rappresentato dalla popolazione, è incapace di limitare la propria esposizione al radon, essendo questo un gas inodore e incolore.

La pericolosità da radon, connessa ad un'elevata concentrazione di radon *indoor*, dipende sia dalla pericolosità da suolo, principale fonte di produzione del radon, sia dalla tipologia di fondazione, a seconda della quale il passaggio all'interno dell'edificio del radon dal suolo è più o meno ostacolato.

Ciò premesso, la carta del rischio da radon a scala comunale è ottenuta dalla combinazione della carta dell'esposizione con la carta della pericolosità da radon, a sua volta costruita ponendo come dato di input la carta della pericolosità da suolo a scala urbana (Gerundo et al., 2016).

Per la mappatura del rischio da radon, occorre costruire un geodatabase, attraverso il quale organizzare i dati acquisiti da indagini canonicamente a corredo del Piano urbanistico comunale, desumibili da alcune carte geologiche, urbanistiche ed agronomiche del Puc, integrati dai dati delle misure di radon in situ.

Caso studio

La metodologia proposta è stata applicata al comune campano di Eboli (SA), nell'ambito della convenzione tra il DiCiv e lo stesso Comune per la redazione del Piano Urbanistico Comunale (Figura 1).

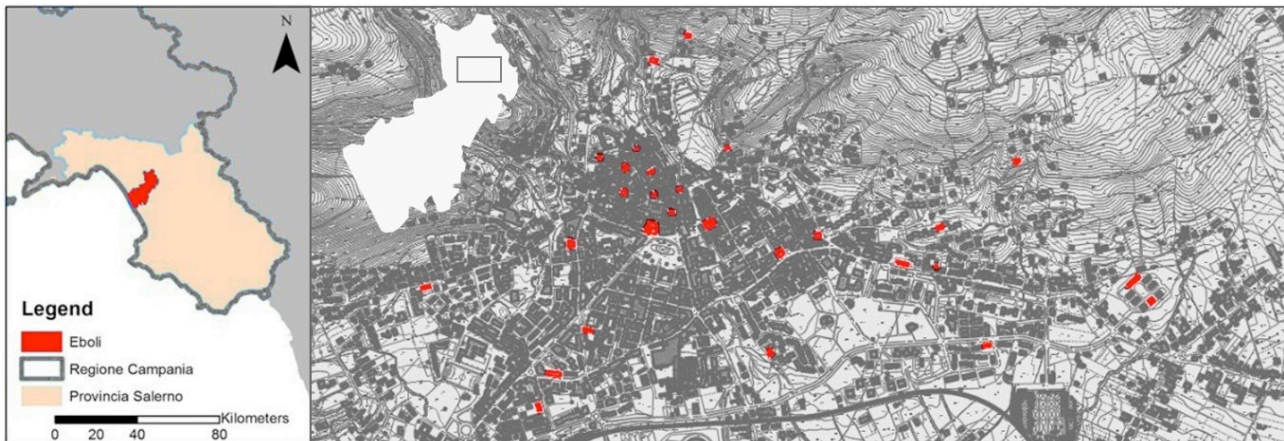


Figura 1 - Localizzazione delle stazioni di misura nel centro abitato di Eboli (SA)

Scelta del campione di misura

Il comune in esame risulta costituito da quattro centri abitati, tuttavia, dovendo limitare l'analisi *indoor* ad un campione di edifici il più possibile rappresentativo delle tecniche costruttive ricorrenti, si è scelto di indirizzare la campagna di misura verso il centro abitato di maggiori dimensioni, corrispondente alla città di Eboli. Inoltre, la scelta del campione di misura è stata effettuata cercando di ottenere una distribuzione delle misure sperimentali in *soil-gas* che fosse rappresentativa dei litotipi prevalenti. Alla luce di tali considerazioni, si è indirizzata l'indagine verso alcuni edifici e relativi suoli adiacenti (Figura 1), per un totale di 30 edifici e relativi suoli adiacenti.

Strumento e protocollo di misura impiegati

Nella campagna di misura svolta nel presente lavoro sono state effettuate misure istantanee, sia in *soil-gas* che *indoor*, delle concentrazioni di radon con la strumentazione portatile attiva Rad7 Radon detector (DurrIDGE Company Inc., USA). Il Rad7 può essere utilizzato nell'esecuzione di misurazioni di radon sia negli ambienti chiusi che nel suolo, assemblando un'apposita sonda da infiggere nel suolo stesso (Figura 2). Il principio di funzionamento del dispositivo, infatti, si basa sulla misurazione della concentrazione di radon in un campione di aria, aspirato all'interno dello strumento stesso, indipendentemente dal fatto che essa provenga da un ambiente confinato o sia estratta dal suolo. Le misure sono state eseguite attenendosi ai protocolli del Programma Rad_Campania, i quali prevedono, preliminarmente all'operazione di misura vera e propria, della durata di trenta minuti, di individuare, rilevare e posizionare, mediante GPS, le stazioni di misura. Inoltre, indipendentemente che si tratti di una misura nel suolo o negli ambienti chiusi, il protocollo prevede, prima di effettuare la misura vera e propria, di verificare che l'umidità all'interno dello strumento sia entro i limiti accettabili ($RH < 6\%$) e che non vi siano residui di radon dovuti a misure precedenti. Quindi, all'inizio delle misure e tra una misura e l'altra bisogna sempre effettuare un *purge* del RAD7 di almeno 30 minuti: per fare tale operazione occorre collegare l'ingresso dello strumento alla base di una colonna contenente materiale deumidificante, chiamato drierite (Figura 2). La misurazione, con riferimento alle misure in *soil gas*, è preceduta dall'assemblaggio della sonda che consente il prelievo dal suolo del campione di aria, denominata *Steel Soil Gas Probe* e costituita da

un'asta cava in acciaio aperta all'estremità inferiore, che occorre infiggere nel suolo per una profondità di circa 80 cm. Relativamente alle misure *indoor*, in accordo al protocollo Rad_Campania, la scelta dei locali da monitorare è stata effettuata eseguendo una valutazione preliminare sulle caratteristiche degli edifici, relativamente ai materiali da costruzione impiegati e alla posizione dei locali rispetto al terreno, allo scopo di individuare i locali presumibilmente caratterizzati da maggiori concentrazioni di radon. In linea generale, le misure sono state effettuate al piano terra degli edifici. Una volta individuati i locali nei quali effettuare la misurazione, è stato chiesto ai proprietari di sigillare le aperture di tali ambienti nelle 24 ore precedenti l'operazione di misura, allo scopo di simulare la condizione peggiore in termini di concentrazione di radon in un ambiente chiuso nell'arco dell'anno, ottenendo, in tal modo, un valore di misura equiparabile a quello della concentrazione media annua, al quale fa riferimento la normativa. Al fine di indagare le cause di eventuali concentrazioni elevate di radon *indoor* e/o in *soil-gas* il protocollo prevede poi di compilare, contestualmente all'esecuzione delle misure, delle schede informative, differenziate a seconda che si riferiscano a misure indoor o in *soil-gas* e perciò denominate scheda *indoor* e *outdoor*, rispettivamente (Figura 3).

Risultati e Discussione

Una volta acquisiti i dati relativi alle misure effettuate, occorre dapprima procedere alla costruzione della carta della pericolosità da suolo, che si basa sui risultati sia delle misure sperimentali di radon *soil-gas*, sia di valori stimati di concentrazione di radon nel suolo nei punti del territorio comunale privi di misure sperimentali, attraverso un metodo già sperimentato per la redazione della carta delle *radon prone areas* della Provincia di Salerno nell'ambito del Programma Rad_Campania. Secondo tale metodo, per procedere alla spazializzazione delle misure puntuali effettuate, occorre la conoscenza distribuita sull'intero territorio comunale di alcuni parametri, riconosciuti dalla letteratura apportare un significativo contributo alla esalazione di radon dal suolo:

- permeabilità e radioattività, ottenuti attraverso la carta geolitologica del Piano urbanistico comunale (Puc);
- tettonica e carsismo, ottenuti attraverso la carta idrogeologica del Puc;
- morfologia, ottenuti attraverso la carta geomorfologica del Puc;
- vegetazione, ottenuti attraverso la carta dell'uso del suolo agricolo e la carta dell'uso del suolo urbano del Puc.

La costruzione alla scala urbana della mappa della pericolosità da radon è ottenuta sulla base sia dei risultati sperimentali di radon indoor, sia di valori stimati, per la quantificazione dei quali si propone un metodo basato sulla attribuzione di punteggi ai parametri ritenuti responsabili dell'ingresso negli edifici del radon esalato dal suolo, in particolare:

- il radon potenzialmente esalato dal suolo, ottenuto dalla carta della pericolosità da suolo precedentemente ottenuta;
- la tipologia di fondazione, ottenuta dalla carta rappresentativa dei dati del censimento sulla popolazione e abitazioni spazializzati rispetto alle sezioni censuarie (ISTAT, 2011).

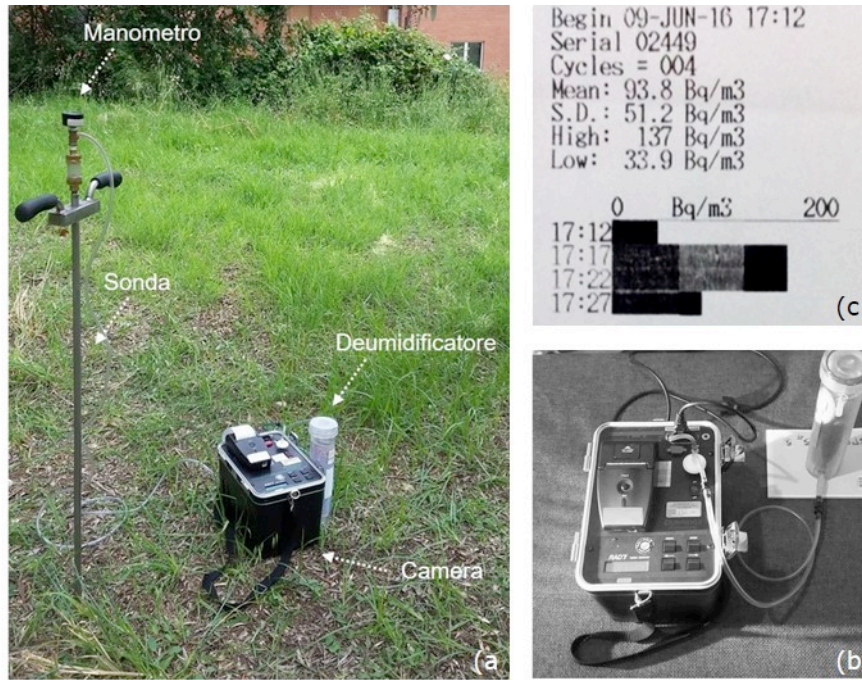


Figura 2 – Strumento di misura impiegato per le indagini in situ, nel suolo (a) e negli edifici (b), con esempio del risultato di una misura indoor (c)

Dati anagrafici:	
Proprietario/Gestore:	Condominio
Via:	n.
Località: Eboli	CAP: 84025
Comune: Eboli	Provincia: Salerno
A. DATI GENERALI STAZIONE DI MISURA	
Denominazione stazione:	S_SA_EBL_U_PR_15_M2
Provincia:	Salerno
Comune:	Eboli
Categoria:	Urbana
B. CARATTERISTICHE DELLA STAZIONE DI MISURA	
B.1 INFORMAZIONI SULLA STAZIONE	
Quota:	103,2 m.s.l.m.
Tipologia di suolo:	oliveto
Litologia:	detritico-colluviale, con buona quantità di clasti carbonatici e matrice limoso-sabbiosa
Morfologia:	ambito collinare
Spessore suolo:	50 cm
Eventuale stratigrafia:	detritico colluviale (0-0.80m), detrito cementato
C. RISULTATI DELLA MISURA DI RADON	
Codice stazione:	S_SA_EBL_U_PR_15_M2
Data: 03/06/2016	Ora: 12:53
Device:	Protocol: GRAB
Condizioni ambientali:	Temperatura: 24.0°C Umidità: 7% Vento: sostenuto Soleggiamento: assente (coperto)
Operatori:	D.Guida - A. Cuomo - Alessandra Marra
Risultati:	Media: 1350 Bq/mc Deviazione standard: 241 Bq/mc

Dati anagrafici:	
Proprietario/Gestore:	Unico
Via:	n.
Località: Centro storico	CAP: 84025
Comune: Eboli	Provincia: Salerno
A. DATI GENERALI STAZIONE DI MISURA	
Denominazione stazione:	B_SA_EBL_U_PR_12_PT
Provincia:	Salerno
Comune:	Eboli
Categoria:	Urbana
Tipologia edificio:	Struttura di 4 piani fuori terra, parzialmente interrata, in muratura portante di pietra calcarea (presumibilmente consolidata a seguito di ristrutturazione), con solai latero-cementizi (a seguito di ristrutturazione) e fondazioni dirette in muratura
età della costruzione	XVIII sec.
altitudine edificio	119,48 m.s.l.m.
B. CARATTERISTICHE DELLA STAZIONE DI MISURA	
B.1 INFORMAZIONI SULLA STAZIONE	
Quota:	Piano terra
Tipologia di suolo:	Magazzino
Caratteristiche:	Primo calpestio
Aperture:	2 finestre
C. RISULTATI DELLA MISURA DI RADON	
Codice stazione:	B_SA_EBL_U_PR_12_PT
Data: 26/05/2016	Ora: 11:14
Device:	Protocol: GRAB
Condizioni ambientali:	Temperatura: 22.5°C Umidità: 7%
Operatore:	Marra Alessandra
Risultati:	Media: 85.2 Bq/mc Deviazione standard: 19,5 Bq/mc

Figura 3 – Esempi di schede di campionamento compilate durante le operazioni di misura: scheda outdoor (a sinistra) e scheda indoor (a destra)

Successivamente, per la costruzione della carta dell'esposizione, si è stimato su base censuaria il numero massimo di popolazione teoricamente insediabile nei piani terra degli edifici, utilizzando la dotazione procapite volumetrica fissata dal D.M. 1444/68 per tradurre il volume dei piani terra degli edifici in abitanti. Inoltre, si è considerato un fattore amplificativo per tenere conto della maggiore esposizione della popolazione compresa nella fascia d'età 0-19 anni. Una volta ottenute la carta della pericolosità complessiva e la carta dell'esposizione, per la costruzione della carta del rischio da radon, ci si è rifatti ad una matrice di rischio, analoga a quella relativa al rischio idrogeologico (Gerundo, Fasolino, 2010), che mette in relazione il livello di danno, espresso come prodotto della vulnerabilità, posta pari all'unità, e dell'esposizione, con i livelli di pericolosità. Tali livelli di intensità sono stati ottenuti, in assenza di soglie di riferimento, attraverso il metodo di classificazione spaziale Natural break (Jenks, 1967) che richiede come dato di ingresso l'assegnazione del numero di classi, nel caso specifico cinque, analogamente a quanto stabilito nella carta a livello provinciale (Guida et al., 2008). Si è quindi ottenuta la matrice del rischio e conseguentemente la carta del rischio da radon (Figura 4).

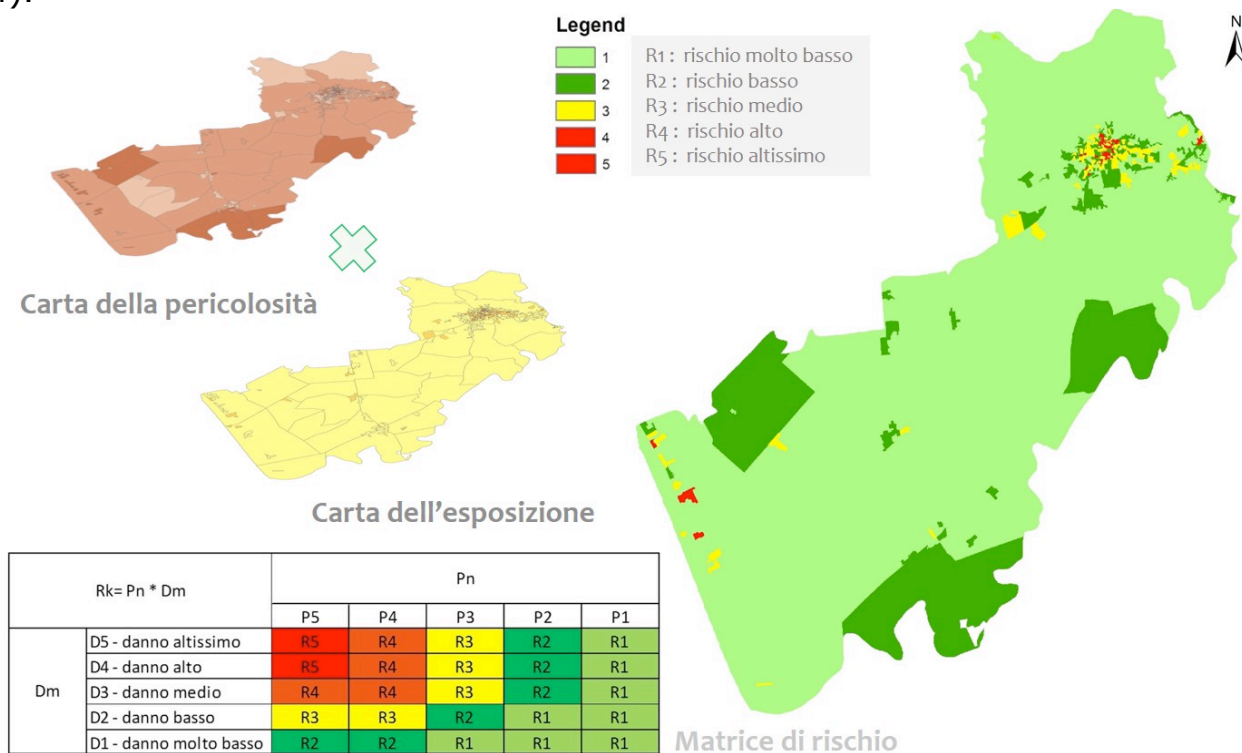


Figura 4 – Carta del rischio da radon per il Comune di Eboli (SA)

Conclusioni

Le informazioni provenienti dalle banche dati generalmente accessibili nel processo di formazione del Piano Urbanistico Comunale non risultano sufficienti per la mappatura del rischio da radon, ma occorre integrarle con specifiche indagini sul campo. Tale integrazione è perfettamente sostenibile dal punto di vista economico poiché l'approfondimento geologico richiesto per l'implementazione della metodologia necessita di una parziale integrazione degli studi geologici già ordinariamente previsti per la redazione di uno strumento urbanistico secondo la normativa vigente (L.r. 9/1983 e s.m.i.).

Riferimenti bibliografici

- Gerundo R., Grimaldi M., Marra A. (2016), "A methodology hazard-based for the mitigation of the radon risk in the urban planning", in *UPLanD – Journal of Urban Planning, Landscape & environmental Design*, 1(1):27-38
- Gue L. (2015), *Revisiting Canada's Radon Guidelines*, David Suzuki Foundation, Vancouver.
- DIRETTIVA 2013/59/EURATOM, *Norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom*, Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee del 17 gennaio 2014
- Castelluccio M., Giannella G., Lucchetti C., Moroni M., Tuccimei P. (2012) "La classificazione della pericolosità radon nella pianificazione territoriale finalizzata alla gestione del rischio", in *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 2:5-16
- ISTAT (2011), *15° Censimento Generale della Popolazione e delle Abitazioni 2011 Manuale della rilevazione*, Istituto Nazionale di Statistica, Roma
- Gerundo R., Fasolino I. (2010), *Sicurezza territoriale ed efficienza urbanistica*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli
- WHO (2009), *WHO Handbook on Indoor Radon: a public health perspective*, Zeeb H. & Shannoun F. (Eds.), France
- Guida D., Guida M., Cuomo A., Guadagnuolo D., Siervo V. (2008), "La valutazione delle Radon-prone Areas in Regione Campania. Applicazioni di un approccio gerarchico multiscalare per la pianificazione ambientale", in *Journal of technical and environmental geology*, 2:39-62
- Zannoni G., Bellezza M., Bigliotto C., Prearo I. (2006), *Gas radon: tecniche di mitigazione. Indagine sperimentale sulla correlazione fra attacco a terra e tecniche di mitigazione*, Edicom Edizioni, Monfalcone
- Dubois G. (2005), *An overview of radon surveys in Europe*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- EPA (2003), *EPA assessment of risks from radon in homes*, Office of Radiation and Indoor Air United States Environmental Protection Agency, Washington
- 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 Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 203 del 31 agosto 2000
- WHO, IARC (1988), *IARC monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans: main- made mineral fibres and radon*, IARC monograph n. 43, Lyon
- Spencer J.E. (1986), "Radon gas: a geologic hazard", in *Fieldnotes, Arizona Bureau of Geology and Mineral Technology*, 16(4):1-6
- Nero A.N., Nazaroff W.W. (1984), "Characterising the source of Radon indoors", in *Radiation Protection Dosimetry*, 7:23-39
- Jenks G.F. (1967), "The Data Model Concept in Statistical Mapping" in Konrad Frenzel (a cura di), *International Yearbook of Cartography*, George Philip, 7:186-190