

## Il radon nei Colli Euganei (Veneto): aspetti metodologici e ambientali per l'individuazione delle zone a rischio su piccola scala

Bertolo A. e Bigliotto C.

Arpa Veneto, Via Ospedale 22, 35121 Padova, abertolo@arpa.veneto.it

### RIASSUNTO

La definizione delle aree a rischio radon è stato affrontato in Italia attraverso lo sviluppo di diverse procedure e metodologie applicate, di volta in volta, alle singole realtà regionali.

Uno degli aspetti maggiormente critici riguardante le mappature realizzate riguarda sicuramente la scala di dettaglio dell'informazione fornita, che per un fenomeno con grande variabilità su breve distanza rappresenta un tema non certo trascurabile. Per affrontare tale criticità, riscontrabile peraltro in letteratura ed emersa anche in ambiti nazionali di confronto, sono allo studio nuove metodologie di rappresentazione.

Nel presente lavoro, a partire da oltre 200 misurazioni di radon indoor in differenti tipologie di edifici, è stata realizzata con tecniche geostatistiche una prima mappatura del distretto geografico dei Colli Euganei (Veneto, provincia di Padova), di estensione pari a circa 19000 ettari.

La possibilità di operare su una piccola scala d'indagine utilizzando diversi livelli informativi implementati in ambiente GIS, rappresentanti tanto gli aspetti ambientali che quelli antropici, aiuta a comprendere con maggior specificità la variabilità spaziale del radon, al fine di definire più accuratamente i limiti geografici delle zone a rischio.

### INTRODUZIONE

L'influenza dei diversi fattori che intervengono sul valore di una misura di radon indoor, determina una oggettiva complessità di analisi qualora si voglia realizzare una mappatura del fenomeno che ne rappresenti la sua distribuzione spaziale. Attualmente non esiste un'univoca indicazione metodologica per la definizione delle aree a rischio radon, e l'applicazione dei diversi metodi d'indagine, sia in campo nazionale e internazionale, fanno emergere le criticità del fenomeno che ha il suo aspetto più interessante nella grande variabilità su breve distanza (Dubuois, 2006)

Nel presente lavoro viene presentato una tra le possibile metodologie di indagine, che consiste nello studio spaziale del radon indoor nell'area del Parco Regionale dei Colli Euganei (provincia di Padova), un insieme collinare peculiare che si eleva in maniera distinta dalla pianura padano-veneta. La limitata estensione dell'area geografica (circa 19000 ettari), associata a una marcata variabilità geo-litologica, consente di interpretare con maggior dettaglio i limiti geografici delle zone definibile a "rischio radon".

A partire da 240 punti di misura di radon indoor in differenti tipologie di edifici (abitazioni, scuole e luoghi di lavoro), è stata realizzata con tecniche geostatistiche (Isaaks, 1989) una preliminare mappatura del distretto geografico, scegliendo come indicatore la probabilità di superamento del valore di 200 Bq/m<sup>3</sup> (Kanevski, 2004).

### ANALISI STATISTICA

Come per la maggior parte dei dati ambientali, la distribuzione dei valori di radon indoor si discosta dalla normalità, e pertanto, con l'obiettivo di mettere in evidenza delle differenze significative tra le tipologia di edifici e le loro rispettive localizzazioni, i risultati statistici sono stati valutati tramite l'applicazione di alcuni test di inferenza non parametrici (Ciotoli, 2005). In particolare gli edifici scolastici sono suddivisi, sulla base di una differenziazione geografica in ambiente GIS, in scuole "interne" al rilievo e scuole "esterne", ove per scuole "esterne" si definiscono quelle scuole ubicate in un contesto geografico limitrofo, ma che ha subito geodinamiche evolutive diverse rispetto a quelle dei rilievi collinari. Le abitazioni, invece, sono localizzate quasi tutte all'interno del limite collinare; non sono stati considerati per i test inferenziali gli ambienti di lavoro, in quanto la loro bassa numerosità non permette di ottenere confronti significativi.

Per il confronto tra i valori medi sono stati utilizzati il test di Mann-Whitney (MW) e quello di Kruskal-Wallis (KW), mentre per il confronto tra le distribuzioni è stato utilizzato il test di Kolmogorov-Smirnov (KS) (Soliani, 2008). Nella tabella 1 sono riportati i principali parametri statistici relativi ai dati utilizzati

Tabella 1 – Statistica descrittiva dei dati di concentrazione di radon indoor nei Colli Euganei

Tipologia	Numero di punti	Range (Bq/m <sup>3</sup> )	Media Aritmetica (Bq/m <sup>3</sup> )	Deviazione standard (Bq/m <sup>3</sup> )	Media Geometrica (Bq/m <sup>3</sup> )
Abitazioni	138	19 - 6377	255	639	114
Scuole	92	23 - 1057	122	196	80
Scuole "interne"	58	31 - 1057	153	205	95
Scuole "esterne"	34	23 - 244	69	44	60
Ambienti di lavoro	10	85 - 630	340	203	278

I risultati dei test inferenziali (ad un livello di significatività  $p=0.05$ ) stabiliscono, in primo luogo, una diversità statisticamente significativa tra la media delle concentrazioni nelle abitazioni e nelle scuole ( $p=0.005868$  test MW e  $p=0.00585$  test KW), e questo evidenzia l'influenza delle diverse caratteristiche costruttive e di uso tra le due tipologie di edifici.

L'aspetto più interessante deriva dal confrontare i dati relativi alle due tipologie di scuole: mentre il confronto tra le distribuzioni dei valori di concentrazione non risulta statisticamente differente ( $p=0.1313$  test KS), il confronto tra i due valori medi lo è ( $p=0.01347$  test MW,  $p=0.01331$  test KW), confermando la correttezza di una suddivisione basata su un chiaro elemento di differenziazione geografico, quale quello dato dalla localizzazione rispetto al rilievo collinare.

Un analogo risultato si presenta tra abitazioni e scuole "esterne", dove è significativa la differenza sia tra i valori medi ( $p=0.0004315$  test MW,  $p=0.0004284$  test KW) sia tra le distribuzioni ( $p=0.002027$  test KS), mentre questo non avviene tra scuole "interne" ed abitazioni; in quest'ultimo caso, il risultato ottenuto è interpretabile come "somiglianza" di comportamento riguardo al radon di edifici che risiedono all'interno del rilievo collinare, e che evidentemente subiscono una maggiore influenza dovuta alle condizioni litologiche, in grado di prevalere rispetto ai contributi dovuti alle caratteristiche costruttive e di utilizzo degli edifici stessi.

Sulla base di queste considerazioni si è scelto di utilizzare le concentrazioni nelle abitazioni come dataset per realizzare la mappa di probabilità di superamento di un dato valore fissato di radon, mentre le concentrazioni nelle scuole "interne" sono utilizzate come dataset di confronto e di validazione.

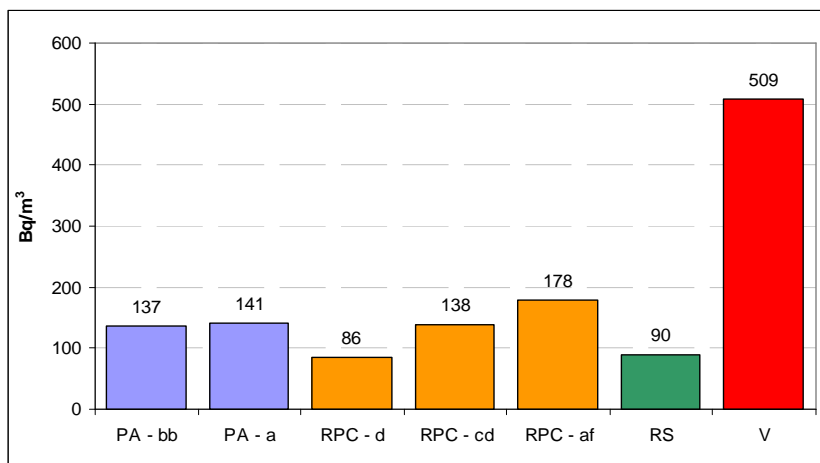
## ANALISI SPAZIALE

Per mettere in evidenza alcune correlazioni di tipo ambientale e per confermare i risultati dei test statistici sono state utilizzate overlay topologici e query spaziali in ambiente GIS. Il tematismo utilizzato è rappresentato dalla carta in formato raster, alla scala 1:25000, "I Suoli dei Colli Euganei" (AA.VV., 2001), al quale sono stati sovrapposti tematismi puntuali rappresentanti gli edifici scolastici e le abitazioni.

Un ulteriore tematismo areale inizialmente preso in considerazione è rappresentato dalla carta geologica dei Colli Euganei; tuttavia, pur avendo la stessa scala di rappresentazione di quello dei suoli, le informazioni deducibili appaiono troppo generali: la scelta invece del tematismo areale "tipologia di suolo" permette di utilizzare un'informazione geografica che meglio rappresenta l'interfaccia terreno-edificio, poiché il tematismo è costruito a partire da osservazioni e rilievi di campagna riferiti ai primi metri di profondità del terreno.

Nella figura 1 relativa agli edifici scolastici vengono riportati i valori medi di concentrazione di radon indoor suddivisi a seconda dei diversi tipi di suolo su cui insistono, mettendo in evidenza una differenziazione significativa all'interno del sistema dei depositi che costituiscono il raccordo pianura-collina (RPC), nonché una sostanziale omogeneità nei valori medi per le scuole ricadenti nei due paesaggi di pianura alluvionale che circoscrivono l'area dei Colli (PA): i due sistemi PA e RPC presentano un valor medio di concentrazione pressoché uguale. La categoria che presenta il valor medio più basso è quella che insiste sul substrato di rocce sedimentarie, il cui contributo al radon indoor è correlato essenzialmente al grado di fratturazione. Infine risulta del tutto prevedibile la correlazione tra substrato di tipo vulcanico ed elevato valor medio di radon.

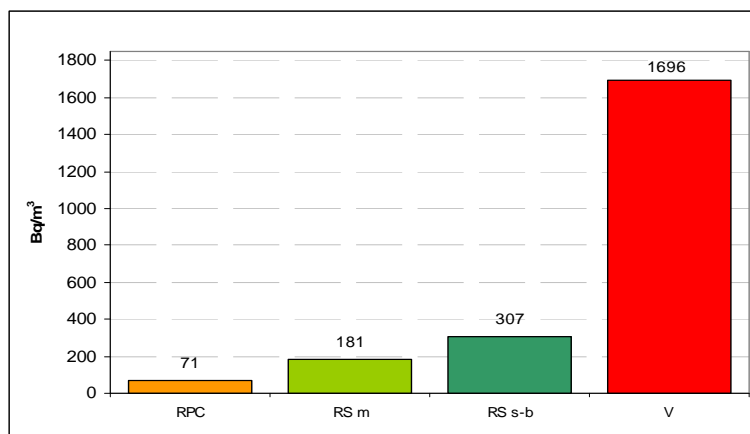
Figura 1 – Concentrazioni medie per gli edifici scolastici suddivisi a seconda della tipologia di suolo di pertinenza



PA : Pianura Alluvionale – [bb: Brenta-Bacchiglione, a: Adige]; RPC: Raccordo Pianura Collina – [d:depositi, cd:conoidi di detrito, af: alluvioni fondovalle]; RS: Rocce sedimentarie; V: Vulcaniti

Le medesime correlazioni sono state analizzate per quanto riguarda le abitazioni, con risultati differenti: ad esempio (fig. 2) è stato scelto un comune in cui vi fosse sia una sufficiente numerosità statistica sia una certa rappresentatività della variabilità litologica dei Colli Euganei; mentre rimane confermata la corrispondenza tra le vulcaniti ed un elevato valor medio di radon, si può notare che l'associazione con le rocce sedimentarie, oltre ad essere quantitativamente maggiore, è ulteriormente differenziata nelle sue due diverse tipologie di substrato (marne e scaglia-biancone). Evidente è infine l'effetto del sistema Raccordo Pianura-Collina, che non sembra fornire valori elevati di radon.

Figura 2 – Concentrazioni medie per le abitazioni in un comune suddivise a seconda della tipologia di suolo di pertinenza



RPC: Raccordo Pianura Collina; RS: Rocce sedimentarie – [m: marne, s-b: scaglia e biancone]; V: Vulcaniti

#### ANALISI GEOSTATISTICA - SIMULAZIONE

La marcata variabilità su breve scala delle tipologie di suolo che caratterizza l'intera area euganea, con cambiamenti litologici che si succedono nell'ordine di poche centinaia di metri, rende difficile effettuare una significativa mappa della distribuzione delle concentrazioni di radon (Dubuois, 2006).

La discontinuità spaziale può essere invece meglio riprodotta attraverso la realizzazione di una mappa di probabilità di superamento di un valore fissato, posto nel nostro caso pari a 200 Bq/m<sup>3</sup>. La mappa presentata (fig.3) è stata realizzata a partire dai dati delle abitazioni utilizzando strumenti geostatistici basati sulle Simulazioni Gaussiane Sequenziali (Bertolo, 2006). La mappa è stata realizzata creando 100 simulazioni su una griglia di interpolazione di 1.5x1.5 Km<sup>2</sup>; le aree con elevata probabilità di superamento sono soprattutto quelle più interne al rilievo collinare, in accordo con la maggior presenza di litotipi vulcanici. Evidenti sono anche alcune zone di raccordo tra pianura e collina, laddove lo spessore dei sedimenti o non è sufficiente a contenere il radon proveniente dalle rocce sottostanti oppure maggiore è la presenza della fratturazione.

La similarità statistica tra il dataset delle abitazioni e quello delle scuole "interne" ha permesso di validare la mappa di probabilità ottenuta, confrontandola qualitativamente con i valori di concentrazione negli edifici scolastici: nelle zone in cui la stima fornisce alte probabilità di superamento del valore fissato, anche i valori medi degli edifici scolastici risultano elevati.

#### CONCLUSIONI

La possibilità di osservare il fenomeno del radon indoor in un contesto territoriale di piccole dimensioni come quello dei Colli Euganei consente di caratterizzare in modo specifico il comportamento dei diversi fattori che influiscono sul valore di concentrazione a piccola scala.

L'interpretazione dei test statistici utilizzati ha messo in evidenza l'influenza delle diverse tipologie costruttive, differenziando le abitazioni dalle scuole, ed ha suggerito, per queste ultime, delle differenziazioni interpretabili attraverso la posizione geografica degli edifici.

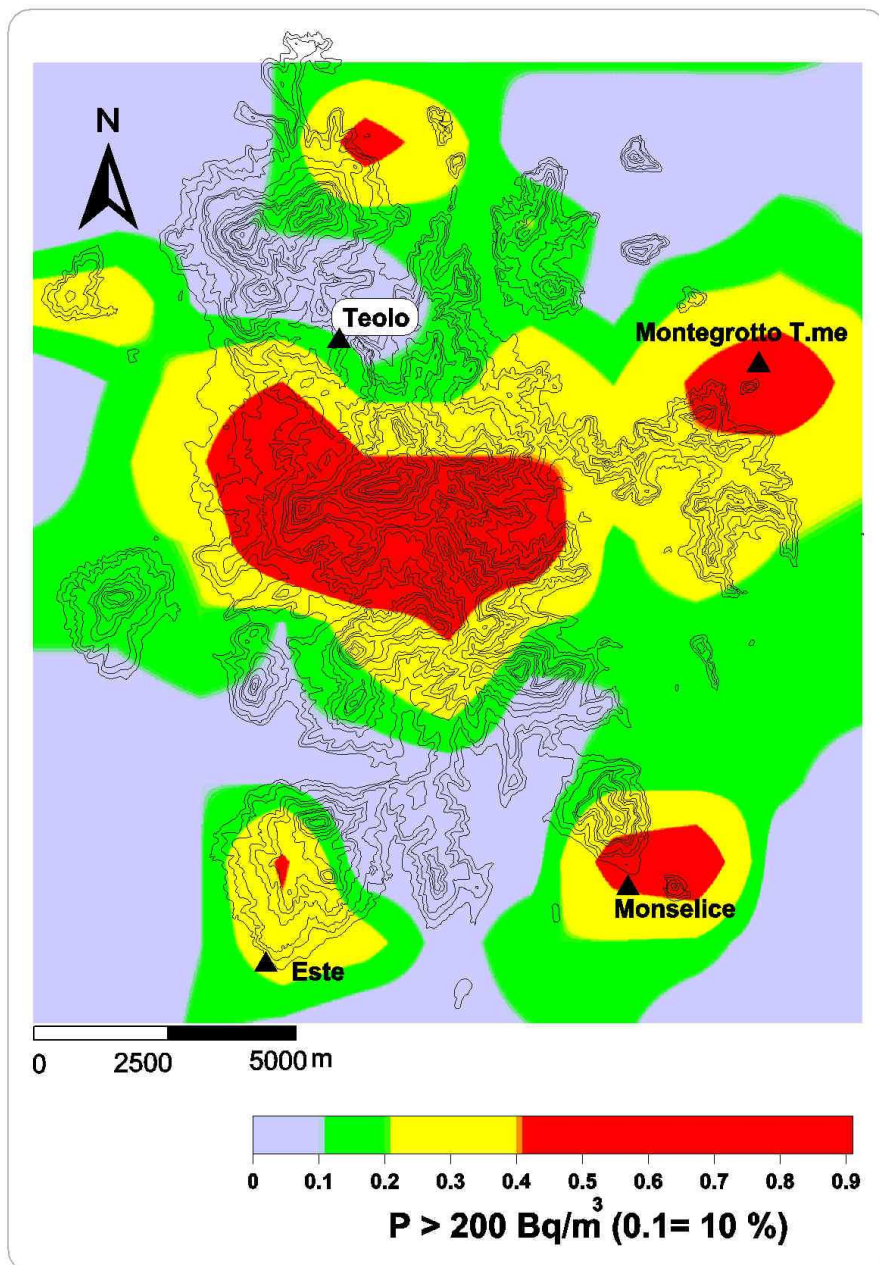
La metodologia geostatistica ha permesso di esprimere la variabilità del fenomeno radon assumendo come indicatore la probabilità di superamento di un dato valore di concentrazione.

L'integrazione tra questi risultati e le analisi spaziali supportate da un sistema informativo geografico, hanno fornito le necessarie indicazioni da applicare nella metodologia geostatistica seguita, la quale ha permesso di esprimere la variabilità del fenomeno radon come probabilità di superamento.

Lo sforzo ulteriore sarà quello di parametrizzare i vari fattori che influiscono sulla concentrazione di radon, e in particolare attribuire il corretto peso di stima alla variabile suolo, in modo tale da riuscire a

costruire una mappa di probabilità su piccola scala, che possa esser utilizzata come base decisionale nell'ambito della pianificazione territoriale intracomunale.

Figura 3 – Mappa della probabilità di superamento dei 200 Bq/m<sup>3</sup>



## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., *I suoli dei Colli Euganei*. 2001 Veneto Agricoltura
- Bertolo et al. *Distribuzione territoriale del radon indoor nella provincia di Belluno: analisi geostatistica*. 2006. Atti del Convegno Nazionale sugli Agenti Fisici. Biella
- Ciotoli G, Finora MG. *Dalla statistica alla geostatistica – Introduzione all'analisi dei dati geologici e ambientali*. 2005 Aracne Editrice.
- Dubois G, Bossew P. *The radon "noise" and its geostatistical implications: risk mapping or mapping at risk?* 2006 XIth International Congress for Mathematical Geology (IAMG2006)
- Kanevski G.M, Maignan M. *Analysis and modelling of spatial environmental data*. 2004 EPFL Press.
- Isaaks E.H, Srivastava R.M. *An introduction to applied geostatistics*. 1989 Oxford University Press.
- Soliani L, *Statistica Applicata* 2008 Uninova