

## Distribuzione spaziale del radon indoor nel Triveneto con tecniche geostatistiche

<sup>a</sup>Bertolo A., <sup>a</sup>Bigliotto C., <sup>b</sup>Giovani C., <sup>b</sup>Garavaglia M., <sup>b</sup>Spinella M., <sup>c</sup>Verdi L., <sup>c</sup>Pegoretti S.

<sup>a</sup>Arpa Veneto, Dipartimento di Padova, Via Ospedale 22, 35121 Padova, abertolo@arpa.veneto.it

<sup>b</sup>Arpa Friuli Venezia Giulia, Via Colugna 42, 33100 Udine, fisamb@arpa.fvg.it

<sup>c</sup>Appa Bolzano, Via Amba Alagi 5, 39100 Bolzano, luca.verdi@provincia.bz.it

### INTRODUZIONE

La rappresentazione geografica della marcata variabilità spaziale dei valori di radon indoor è stata affrontata negli ultimi anni a livello nazionale e internazionale con diversi approcci e metodologie, tra le quali spiccano le tecniche geostatistiche, che sembrano fornire risultati promettenti (Maignan, 2003).

L'utilizzo di tali tecniche nel presente lavoro punta a caratterizzare il fenomeno radon indoor nel territorio del Triveneto secondo due diverse tipologie di rappresentazioni geografiche: la prima è legata ad una analisi spaziale della distribuzione dei punti di misura e consente di ottenere una mappatura descrittiva del fenomeno; la seconda invece determina la mappa di probabilità di superamento di un valore stabilito di concentrazione di radon (nel nostro caso posto pari a 200 Bq/m<sup>3</sup>), con la possibilità infine di validare quanto ottenuto.

I dati utilizzati nel presente lavoro sono quelli già presentati in un precedente contributo scientifico (Bertolo et al., 2006), e qui riportati (tab. 1) ai fini di una migliore comprensione del seguito.

Tabella 1 – Statistica descrittiva dei dati di concentrazione di radon indoor nel Triveneto (in Bq/m<sup>3</sup>)

Numero di punti	Range	Media Aritmetica	Deviazione standard	Media Geometrica
4564	2 – 2923	168	248	99

### ANALISI GEOSTATISTICA

L'obiettivo dell'analisi geostatistica condotta è quello di ricostruire la continuità spaziale del fenomeno, intesa come capacità del valore misurato di rappresentare in modo significativo una certa area attorno a se. La ricerca della continuità spaziale è rivolta quindi a qualificare un'informazione puntuale (concentrazione di radon indoor) nello spazio geografico circostante, al fine di definire e interpretare più correttamente la successiva procedura di stima (Ciotoli, 2005).

Le maggiori difficoltà di interpretazione della continuità spaziale sono dovute alla variabilità su breve scala del fenomeno radon indoor che rende complesso, ma nello stesso tempo esplicativo, l'intero percorso di analisi geostatistica. In questo studio sono pertanto stati analizzati i diversi aspetti che influenzano la variabilità su breve scala con particolare riguardo alla distribuzione geografica dei punti di misura.

### ESPLORAZIONE SPAZIALE DEI DATI

Il territorio d'indagine è stato suddiviso in celle rettangolari di estensione di circa 30 Km<sup>2</sup> nelle quali sono state calcolate media e deviazione standard dei punti di misura ricadenti in ognuna delle celle (metodo delle Moving Windows Statistics). La marcata correlazione lineare risultante tra le due funzioni evidenzia la variabilità su breve scala, con valori medi che si differenziano notevolmente tra cella e cella (Chiles, 1999).

Il grado di irregolarità nella distribuzione spaziale dei singoli punti di misura è invece espresso attraverso la definizione di alcuni indici quali il baricentro della distribuzione geografica dei punti di misura e l'entità di dispersione degli stessi (metodo dell'indice di Morischita)-(Morischita, 1962). Lo studio di tali indici fa emergere l'influenza dei numerosi dati dell'Alto Adige, che sbilanciano e aumentano l'aggregazione dei punti di misura. Allo scopo di migliorare la comprensione della variabilità spaziale del fenomeno radon risulta opportuno applicare metodi di declustering. Tale metodo, utilizzato soprattutto quando si hanno a disposizione molti dati, permette di suddividere il dataset iniziale in due sottoinsiemi di dati complementari, ottenendo una distribuzione più omogenea dei punti di misura, ed uniformando, di fatto, la densità di campionamento e la variabilità media (Kanevsky, 2004).

Questa operazione ha consentito, pertanto, di ottenere dai 4564 punti di misura iniziali un dataset operativo di 919 dati per la successiva fase di analisi variografica e di stima, e un dataset complementare che è stato utilizzato per la procedura di validazione della stima spaziale ottenuta.

### ANALISI VARIOGRAFICA

Utilizzando i dati del dataset operativo è stata intrapresa l'analisi del variogramma sperimentale, ossia di quella funzione di distanza che permette di strutturare la continuità spaziale del fenomeno e di trasferire i parametri che lo modellano nell'applicazione degli algoritmi di stima (Hisaaks, 1989).

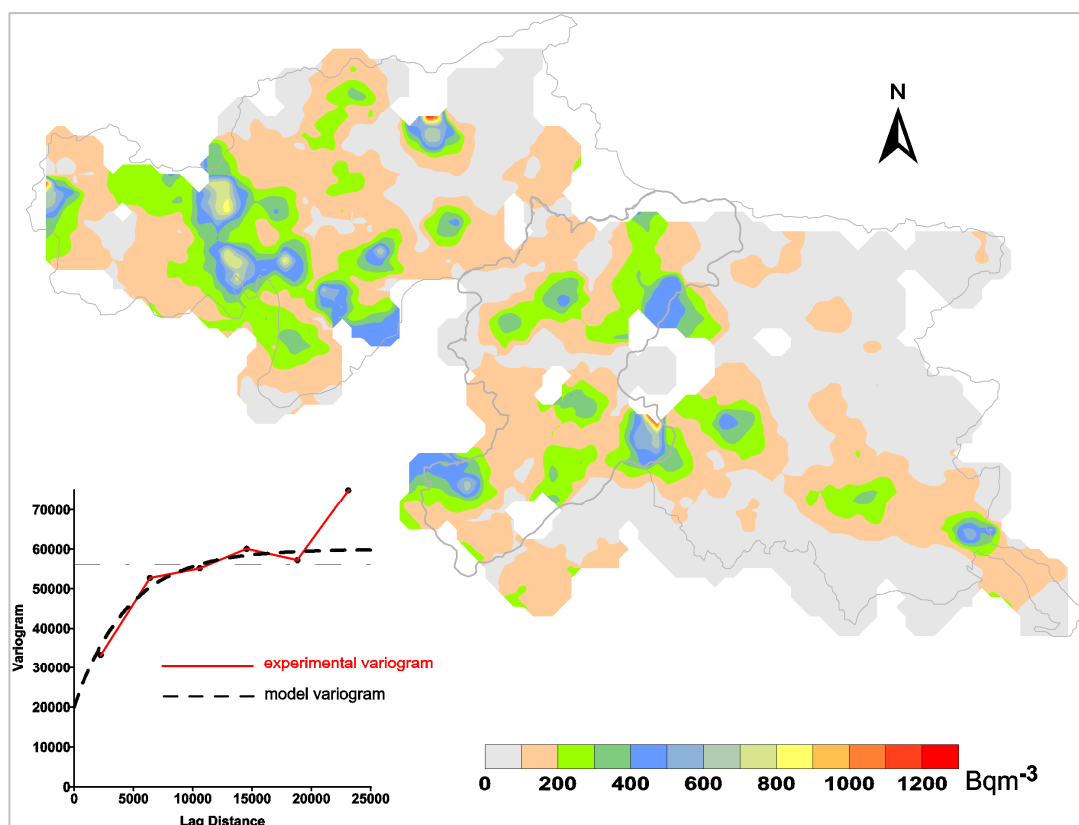
Esaminando la funzione spaziale su diverse scale si osserva che su brevi scale d'indagine (< 500 metri) la struttura spaziale è distorta dalle condizioni abitative degli edifici, su scale intermedie ( 500 - 1300 metri) la struttura è influenzata da condizioni ambientali locali (microclima, variazioni litologiche ecc.), mentre su scale più elevate (oltre i 2000 metri) la struttura è condizionata da effetti di natura geologica e tettonica di scala regionale.

## STIMA SPAZIALE

I parametri ottenuti dalla modellizzazione della curva sperimentale del variogramma sono stati utilizzati dall'algoritmo di stima che, nel presente lavoro, è il Kriging Ordinario (Tondeur, 2006), che tiene conto dei rapporti spaziali tra punto e punto di misura e tra punto di misura e nodo della griglia di interpolazione adottata.

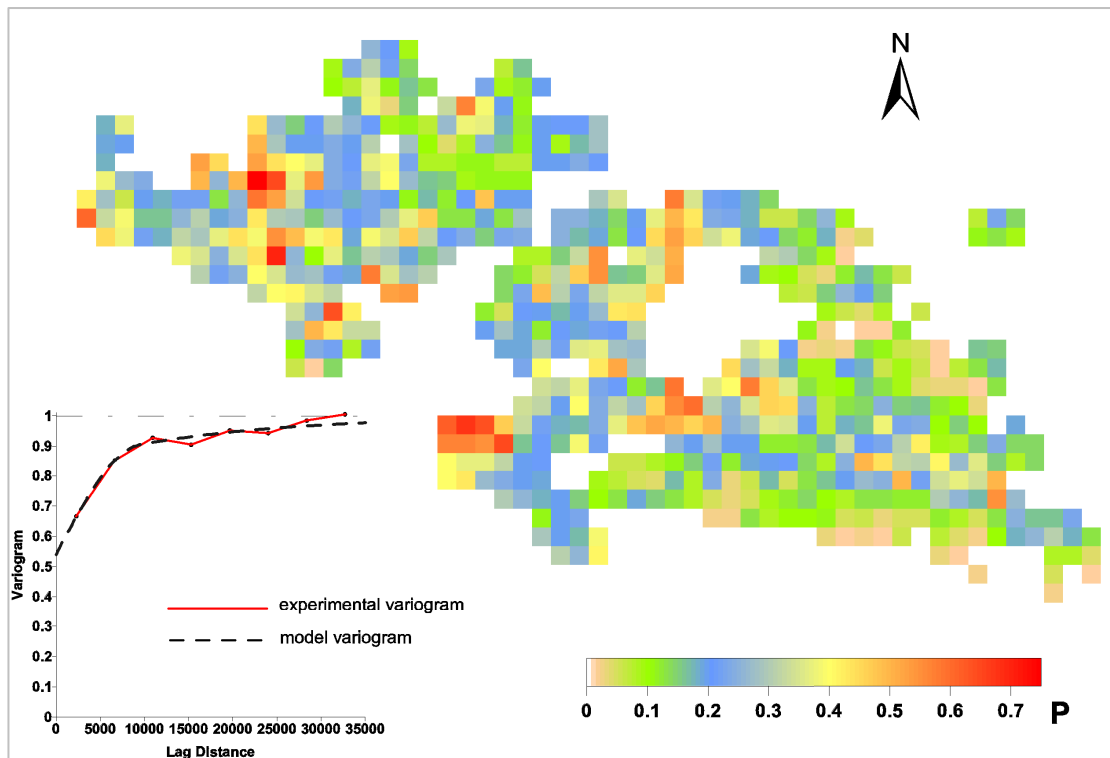
La mappatura che ne deriva (Fig. 1), realizzata su una griglia di dimensione 2.5x2.5 Km<sup>2</sup>, fornisce una fotografia della distribuzione media dei valori di radon, anche se non può essere assunta come un valido strumento predittivo a causa dell'effetto smoothing indotto dall'algoritmo (Dubuois, 2006); sono comunque evidenziabili alcune correlazioni generali con gli aspetti geologici di ampia scala: ad esempio le aree ad elevata concentrazione sono riconducibili a zone geologiche caratterizzate da una maggior presenza di formazioni metamorfiche e ignee e da situazioni tettoniche particolarmente significative (Slejko et al.,1987).

Figura 1 – Mappa di distribuzione del radon indoor nel Triveneto



Un approccio completamente diverso, e forse più significativo ai fini predittivi di nostro interesse, consiste nell'ottenere una mappa di probabilità di superamento di un dato valore di radon (nel nostro caso posto pari a 200 Bq/m<sup>3</sup>), attraverso l'applicazione del metodo delle Simulazioni Gaussiani Sequenziali - SGS - (Kanevsky, 2004). A partire dal medesimo dataset operativo utilizzato precedentemente, è stata effettuata una nuova analisi variografica che prevede una trasformazione di tipo normale della distribuzione dei valori di radon: la metodica permette di costruire un certo numero di realizzazioni equiprobabili del fenomeno, la cui media è rappresentata come mappa della probabilità di superamento del valore di radon scelto, realizzata su una griglia di dimensione 5x5 Km<sup>2</sup> (fig. 2).

Figura 2 – Mappa della probabilità di superare il valore di 200 Bq/m<sup>3</sup>



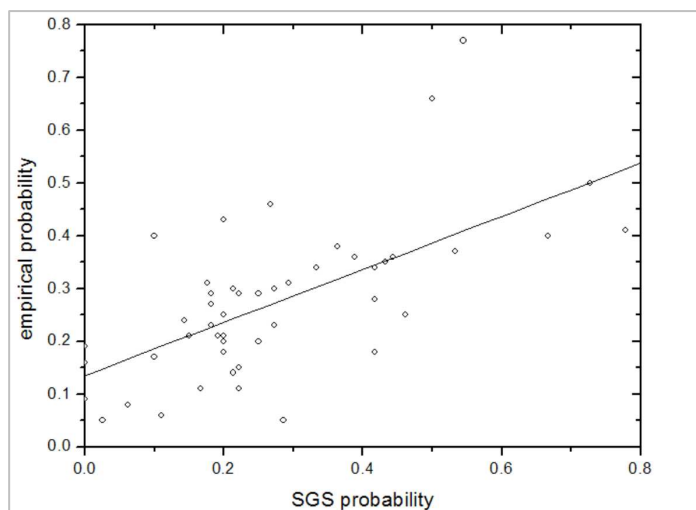
**VALIDAZIONE**

Al fine di valutare la significatività della rappresentazione di probabilità ottenuta, è stato effettuato il confronto tra la mappa e il dataset di validazione, costituito dai risultati di misure di radon indoor, e immaginabile come risultante da una campagna di misura effettuata indipendentemente dalla realizzazione della mappa.

Sovrapponendo i punti di misura alla mappa di probabilità è stato determinato, per ogni cella della mappa, il numero di punti del dataset di validazione che vi ricadono; quindi è stata calcolata, per ogni cella con significatività statistica, la probabilità empirica di superamento del valore di 200 Bq/m<sup>3</sup>.

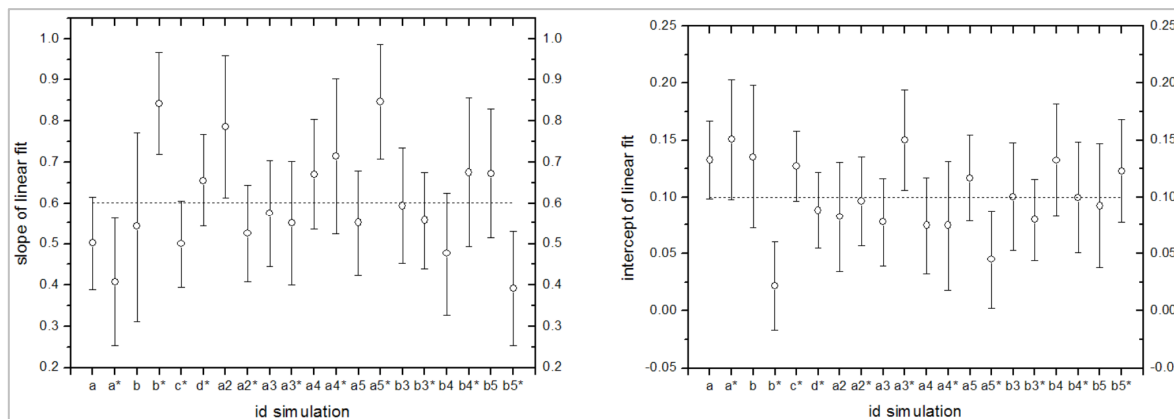
Il confronto tra le probabilità di superamento, calcolate per ogni cella significativa tramite SGS e tramite le misure di validazione, viene riportato in fig. 3, assieme alla retta di correlazione, dando indicativamente conferma della bontà del potere predittivo della tecnica geostatistica utilizzata.

Figura 3 – Correlazione tra probabilità stimata ed empirica



Per valutare la stabilità del metodo di validazione proposto, sono state realizzate 20 simulazioni a partire da dataset generati da differenti declustering, considerando una scala d'indagine di 5 Km<sup>2</sup> e un migliaio di valori per ogni simulazione. I risultati ottenuti, riportati in figura 4, in cui vengono rappresentati la pendenza e l'intercetta delle rette di correlazione al variare delle simulazioni, appaiono abbastanza stabili e dimostrano la validità delle ipotesi di lavoro adottate.

Figura 4 – Parametri statistici della procedura di validazione per ogni simulazione eseguita



## CONCLUSIONI

È ormai evidente dai numerosi studi condotti in questi anni che la marcata variabilità spaziale del fenomeno radon indoor può essere modellizzata in modo proficuo attraverso metodi di analisi che realizzino mappe di probabilità di superamento di un dato valore, più che attraverso semplici mappature dei livelli riscontrati, in quanto una rappresentazione del fenomeno che ne dia una fotografia istantanea non può essere efficacemente utilizzata, ad esempio, dai soggetti istituzionali interessati ad una azione di prevenzione.

In particolare l'utilizzo di tecniche di tipo geostatistico, quali quelle applicate nel presente lavoro, permette di qualificare la componente spaziale del fenomeno, sia come descrizione e quantificazione delle caratteristiche della rete di monitoraggio, sia come possibilità di operare su diverse scale d'indagine in grado di evidenziare alcuni aspetti ambientali legati al fenomeno in studio.

L'applicazione inoltre delle metodiche di validazione alle mappe di probabilità, ottenute attraverso le Simulazioni Gaussiane Sequenziali, rappresenta una tecnica promettente al fine di confermare la bontà predittiva e quindi avvicinarsi maggiormente all'obiettivo di realizzare la "miglior" mappa di probabilità possibile.

## Bibliografia

- Bertolo A, et al. *Distribuzione del radon indoor nel Triveneto: un approccio di tipo geostatistico*. 2006 Atti del Convegno Nazionale sugli Agenti Fisici - Biella.
- Chiles JP, Delfiner P. *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. 1999 John Wiley and Sons.
- 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 Xlth 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.
- Maignan M. et al. *Radon mapping based on geostatistical models*. 2003 Atti del Congresso nazionale ARPA-ISE
- Morschita, M. *I<sub>g</sub> – index, a measure of dispersion of individuals*. 1962. Res. Popul. Ecol., n. 4
- Slejko D. et al, *Modello Sismotettonico dell'Italia Nord-Orientale*. 1987 Consiglio Nazionale delle Ricerche
- Tondeur F. *Geostatistical mapping of indoor radon data with kriging using geological data*. 2006 8th International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping.