

RAPPORTI TECNICI INGV

La distribuzione del *radon indoor*
in alcuni settori della città di Roma
Ricercatori e studenti in un progetto innovativo:
dalla raccolta del dato alla stesura
di un articolo scientifico



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

412

2.5 km

Roma

Direttore Responsabile

Valeria DE PAOLA

Editorial Board

Luigi CUCCI - Editor in Chief (luigi.cucci@ingv.it)
Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)
Mario CASTELLANO (mario.castellano@ingv.it)
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)
Mauro DI VITO (mauro.divito@ingv.it)
Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)
Milena MORETTI (milena.moretti@ingv.it)
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)
Umberto SCIACCA (umberto.sciacca@ingv.it)
Alessandro SETTIMI (alessandro.settimi1@istruzione.it)
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)

Segreteria di Redazione

Francesca DI STEFANO - Coordinatore
Rossella CELI
Barbara ANGIONI
Tel. +39 06 51860068
redazionecec@ingv.it

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale
di Geofisica e Vulcanologia
Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI
Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

RAPPORTI TECNICI INGV

La distribuzione del *radon indoor*
in alcuni settori della città di Roma

Ricercatori e studenti in un progetto innovativo:
dalla raccolta del dato alla stesura di un articolo scientifico

*The radon indoor distribution
in different areas of Rome*

*Researchers and students in an innovative project:
from data collection to the drafting of a scientific paper*

Gruppo IRON^{1,*}, Classe 3I a.s. 2017/2018^{2,**}

¹INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma

²Liceo Scientifico Cavour, Roma

Accettato 1 luglio 2019 | Accepted 1st July 2019

Come citare | How to cite Gruppo IRON - INGV, Classe 3I a.s. 2017/2018, (2020). La distribuzione del radon indoor in alcuni settori della città di Roma. Ricercatori e studenti in un progetto innovativo: dalla raccolta del dato alla stesura di un articolo scientifico. Rapp. Tec. INGV, 412: 1-24.

In copertina Localizzazione delle Abitazioni A, B, C, D (Foglio 374 "Roma" - Carta Geologica d'Italia 1:50.000, 2008) | Cover Location of the houses A, B, C, D (Foglio 374 "Roma" - Carta Geologica d'Italia 1:50.000, 2008)

412

*Gruppo IRON: Andrea Antonioli, Simone Atzori, Valentina Cannelli, Maria Grazia Ciaccio, Gianfranco Galli, Daniele Melini, Antonio Piersanti, Gaia Soldati, Elena Spagnuolo

**Classe 3I, a.s. 2017/2018: Valerio Ardizio, Daniele Bae, Ascanio Borri, Francesco Bova, Claudia Carbonari, Gea Ciaccio, Elisa Cocchieri, Lorenzo Corazza, Marco De Martino, Lucrezia Del Monte, Sergio Di Donfrancesco, Marco Durante, Lorenzo Gianfranceschi, Ludovico Journo, Chiara Matassino, Giordano Nesci, Gabriele Petriello, Alessia Pittaccio, Diego Polverino, Marta Rando, Leonardo Ricci, Giorgio Ricciardi, Daniel Sanna, Virginia Serafino, Elisa Simonazzi, Lorenzo Stazi, Angelica Vecchiarelli. Franco Lombardi, Rosaria Mancinelli (docenti).

INDICE

Riassunto	7
Summary	7
Introduzione (gruppo IRON, INGV)	7
Il Rapporto ASL (Classe 3I, a.s. 2017/2018, Liceo Cavour)	10
1. Radon: elemento, radioattività, salute	10
1.1 Che cos'è il radon?	10
1.2 Unità di misura	11
1.3 Cosa sono le radiazioni?	11
1.4 Effetti sulla salute	11
2. Riduzione della concentrazione del radon	11
2.1 Metodi generali per ridurre il radon negli ambienti	12
2.2 Depressurizzazione del suolo	12
2.3 Ventilazione	12
2.4 Ventilazione del vespaio	13
2.5 Pressurizzazione dell'edificio	13
2.6 Sigillatura delle vie di ingresso	13
2.7 Azioni di prevenzione per nuove costruzioni	13
3. Diffusione del radon e dipendenza dalla geologia	14
4. Introduzione all'indagine svolta: gli incontri formativi	14
4.1 Primo incontro: la teoria	14
4.2 Secondo incontro: con quali strumenti si misura il radon e come funzionano	15
4.3 Terzo, quarto incontro: che cos'è Excel e come funziona	16
4.4 Quinto, sesto incontro: procedimento di prime analisi dati	16
Discussioni	19
Conclusioni	20
Bibliografia	21

Riassunto

All'interno dei percorsi formativi di Alternanza Scuola-Lavoro un gruppo di ricercatori dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha proposto e sviluppato con una terza classe del Liceo Scientifico Cavour di Roma un progetto riguardante l'avvicinamento degli studenti al mondo della ricerca scientifica, allo scopo di affrontarla e svilupparla in tutte le sue fasi. Dopo aver spiegato e condiviso l'obiettivo della ricerca con gli alunni, la prima fase del progetto ha riguardato la raccolta dei dati tramite l'utilizzo di strumenti di misura; si è in seguito proceduto all'analisi dei dati ottenuti, attraverso un foglio elettronico di calcolo, la produzione di grafici e mappe tematiche e infine la scrittura di un articolo scientifico (parte essenziale del lavoro del ricercatore) con la descrizione della ricerca svolta e dei risultati ottenuti.

La ricerca ha riguardato la distribuzione del *radon indoor* in alcuni rioni di Roma. Gli studenti hanno avuto la possibilità di misurare il *radon indoor* tramite strumenti specifici nelle loro abitazioni e nella loro scuola, di analizzarne la distribuzione spaziale e temporale e di individuare dei casi particolarmente anomali. Sono stati quindi evidenziati i legami tra i valori misurati, la geologia del sottosuolo e le tipologie abitative, illustrati per mezzo di mappe tematiche, facendo confluire il tutto nella scrittura di un articolo scientifico.

Il presente rapporto tecnico è stato introdotto dai ricercatori e sviluppato dagli studenti.

Summary

Within the training courses of *Alternanza Scuola-Lavoro* (a governative project for the introduction of work themes to the undergraduate students), a group of researchers from the *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia* proposed and developed a project to a third class of the *Liceo Scientifico Cavour* in Rome. The idea was to introduce the students to the world of scientific research, allowing them to be faced in all their phases. The work was envisaged through the use of measuring instruments, data analysis, graph production, the construction of thematic maps and finally the writing in English of a scientific article (essential part of the researcher's work) with the description of the research carried out and the results obtained.

The research involved the distribution of radon indoor in some districts of Rome. The students had the opportunity to measure radon indoor through specific instruments in their houses and in their school, looking for possible spatial and temporal distribution between different data type and to isolate particularly anomalous cases. The aim was to investigate links between the measured values, the area's geology and the housing typologies, to build thematic maps able to highlight the results achieved and finally to write a scientific article.

This technical report has been introduced by the researchers and developed by the students.

Introduzione (gruppo IRON, INGV)

La legge 107/2015 (La Buona Scuola di Renzi-Giannini) ha regolamentato l'obbligo di Alternanza Scuola-Lavoro (ASL) da svolgersi per tutti gli alunni nell'ultimo triennio delle scuole secondarie di secondo grado, nella misura di 200 ore nei licei e 400 ore negli istituti tecnici e professionali. La normativa è stata introdotta con il D. Lgs 77/2005 applicativo della legge 53/2003 (riforma Moratti).

I percorsi di ASL sono inseriti nel Piano Triennale dell'Offerta Formativa e nascono per offrire agli studenti l'opportunità di inserirsi, in periodi determinati con la struttura ospitante, in specifici contesti lavorativi, contribuendo alla realizzazione di un collegamento tra le istituzioni scolastiche e il mondo del lavoro. Molto importante è che gli studenti siano costantemente

guidati nelle varie esperienze, sia nell'ambito della scuola che presso il soggetto ospitante (tutor interno e tutor formativo esterno), che non ci siano costi per le famiglie e che gli allievi che frequentano questi percorsi di alternanza scuola lavoro mantengano lo status di studenti.

Il presente progetto è stato proposto, dal gruppo di ricerca dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia che si occupa della rete di monitoraggio del radon in Italia, *the Italian Radon mOnitoring Network* [Cannelli et al., 2018] (IRON), alla classe 3I del Liceo Scientifico Cavour, con la finalità di avvicinare gli studenti al mondo della ricerca scientifica permettendo loro di conoscerla, affrontarla e svilupparla nelle sue fasi principali.

La ricerca ha riguardato la distribuzione del *radon indoor* in alcuni rioni della città di Roma. Il radon è un gas nobile radioattivo prodotto dal decadimento dell'uranio e del torio naturalmente presente nei terreni dai quali diffonde con relativa facilità mescolandosi con gli altri gas presenti nell'atmosfera.

L'unità di misura derivata della concentrazione di radon nel Sistema di Unità Internazionale (SI) è espressa in: Bq/m^3 (Becquerel per metro cubo).

Nell'atmosfera, la concentrazione di radon ha generalmente valori accettabili per la salute di circa 10 Bq/m^3 , mentre quando questo gas si accumula in ambienti chiusi si parla di *radon indoor*, le cui concentrazioni possono invece raggiungere valori dell'ordine di migliaia di Bq/m^3 con ripercussioni molto importanti sulla salute, in quanto alti valori di radon sono considerati la seconda causa mondiale di neoplasie polmonari dopo il fumo di sigaretta [WHO, <http://www.who.int/en/>; IARC, <http://www.iarc.fr/>]. L'organizzazione mondiale della sanità considera valori maggiori di 100 Bq/m^3 potenzialmente dannosi per la salute umana.

Per questa ragione lo studio del *radon indoor* ha assunto negli ultimi anni una forte rilevanza socio-sanitaria. Peculiarità del fenomeno *radon indoor* è la stretta e complessa interazione con l'edificio nel quale il gas si può accumulare. La concentrazione del radon è strettamente correlata al substrato geologico su cui è costruita la casa, al tipo di contatto tra edificio e suolo (tipologia e tecnologia costruttiva dell'impianto di messa a terra), dalle caratteristiche stesse dell'edificio (forma, dimensione, livello rispetto al suolo dei locali abitati, ecc.) e dai materiali costruttivi (alcuni, come ad esempio il tufo presentano una forte esalazione).

Il presente lavoro, svolto nell'anno scolastico 2017-2018, ha inizialmente affrontato l'aspetto teorico (cos'è il radon, perché e come si analizza), le modalità di raccolta dei dati tramite l'utilizzo di strumenti ad hoc negli appartamenti degli studenti e in alcuni locali della scuola ed esercitazioni sul programma Excel. Gli incontri si sono svolti sia presso l'INGV (Fig. 1), che presso il Liceo Cavour (Fig. 2).

Figura 1 Lezione tenuta da ricercatori INGV agli studenti presso la sede dell'Istituto di Ricerca.

Figure 1 Meeting between students and INGV researchers at the Research Institute.





Figura 2 Esercitazione pratica guidata da ricercatori INGV presso il Liceo Cavour.

Figure 2 Lesson led by INGV researchers at Liceo Cavour.

Le analisi delle concentrazioni di radon registrate dagli strumenti gestiti dai ragazzi hanno permesso di sviluppare osservazioni molto interessanti che potranno essere oggetto di approfondimenti futuri, come l'analisi dettagliata del dato, la costruzione di mappe tematiche e infine la scrittura in lingua inglese di un articolo scientifico con la descrizione della ricerca svolta e dei risultati ottenuti. Il progetto è stato rivolto all'intera classe e i 27 studenti hanno partecipato attivamente a ogni fase del progetto. Il gruppo IRON ha messo a disposizione 4 rilevatori attivi di radon in continuo che sono stati utilizzati, a turni di due settimane, nelle abitazioni degli studenti (Fig. 3). Gli strumenti sono stati posizionati nei due dei locali più abitati della casa, lontani da finestre al fine di minimizzare correnti d'aria che possono inficiare la validità della misura, una settimana per ognuno dei locali; gli studenti hanno inoltre avuto il compito di prendere nota dei giorni di funzionamento dello strumento e di eventuali osservazioni utili all'analisi successiva del dato (per esempio giorni consecutivi di chiusura dell'appartamento, areazione anomala, e altro). Una volta conclusa questa fase si è proceduto allo scaricamento dati e alla loro elaborazione e visualizzazione. Gli studenti hanno inoltre raccolto informazioni sulle tipologie edilizie delle loro abitazioni (materiali, anno e tipo di costruzione) utili all'interpretazione dei dati osservati. La descrizione geologica dei siti di raccolta-dati, necessaria ai fini di un'analisi comprensiva dei risultati, è stata solo introdotta nel progetto. La sua importanza è risultata comunque evidente nel caso del rilevamento di un'alta concentrazione di radon (Fig. 4) in un'abitazione (Abitazione E descritta nel par. 4.4) che si è poi visto essere costruita sopra materiale vulcanico con mura interne in tufo (Fig. 5).

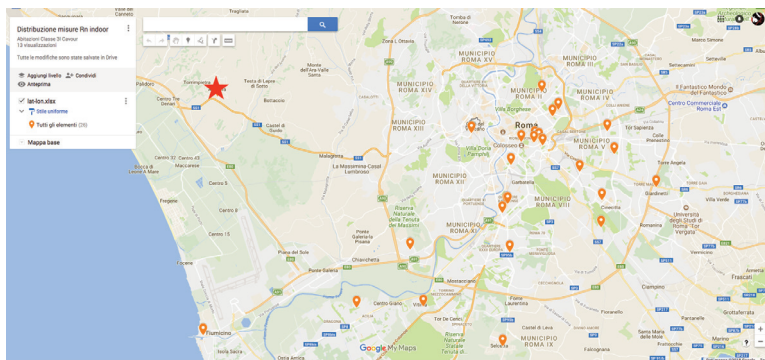


Figura 3 Distribuzione dei punti di misura (abitazioni degli studenti); la stella rossa indica il sito di misura in cui si è registrato il dato anomalo di Fig. 4.

Figure 3 Distribution of measurement points (student's homes); the red star indicates the measurement site where the anomalous data in Fig. 4 is recorded.

Figura 4 Concentrazione di radon espressa in Bq/m³ acquisita nell'abitazione indicata in Fig. 3 (stella rossa) nel mese di Dicembre 2017.



Figure 4 Radon concentration in Bq/m³ measured at home of Fig. 3 (red star) in the month of December 2017.

Figura 5 Geolocalizzazione dell'abitazione (Abitazione E descritta nel par. 4.4) segnalata in Fig. 3 (stella rossa) su depositi vulcanici (Tufo)

http://www.datiopen.it/it/opendata/Regione_Lazio_Carta_geologica_scala_1_25000.



Figure 5 Geolocation of the house (House E described in par. 4.4) indicated in Fig. 3 (red star) on volcanic deposits (Tufo)

http://www.datiopen.it/it/opendata/Regione_Lazio_Carta_geologica_scala_1_25000.

In conclusione, durante lo svolgimento del progetto gli studenti hanno avuto la possibilità non solo di conoscere e approfondire il “problema radon”, ma anche di misurare il *radon indoor* tramite strumenti nelle loro abitazioni e nella loro scuola, di fare una prima analisi della distribuzione spaziale e temporale effettuando dei primi collegamenti con la geologia e con le tipologie abitative. In questo modo gli studenti hanno potuto sviluppare nuove competenze, consolidare quelle apprese a scuola e acquisire la cultura di un lavoro come quello del ricercatore attraverso un'esperienza condivisa con chi la ricerca scientifica la svolge con passione da anni. Al termine di questo progetto gli studenti hanno scritto un rapporto di attività di ASL che viene riportato di seguito.

Il Rapporto ASL (Classe 3I, a.s. 2017/2018, Liceo Cavour)

1. Radon: elemento, radioattività, salute

1.1 Che cos'è il radon?

Il radon-222 è un elemento chimico naturale, radioattivo, appartenente alla famiglia dei cosiddetti gas nobili o inerti. È incolore, inodore, insapore e non può essere avvertito dai sensi. Deriva dal “decadimento nucleare” del radio che a sua volta proviene dall'uranio. Questi elementi sono presenti fin dalle origini della Terra, in quantità molto variabile, in tutta la crosta terrestre e quindi anche nei materiali da costruzione che da questa derivano (cementi, tufo, laterizi, pozzolane, graniti, ecc.). L'uranio-238 è il capostipite di una catena naturale che attraverso successivi decadimenti del nucleo si trasforma in elementi e isotopi diversi fino a raggiungere l'isotopo stabile del piombo-206. Durante tutto il processo vengono emesse, ad ogni trasformazione nucleare, radiazioni ionizzanti di diverso tipo: alfa, beta, gamma o combinazioni di esse. L'uranio e il radio sono elementi solidi, ma il radon è un gas e quindi è in grado di muoversi e di

fuoriuscire dal terreno, dai materiali da costruzione e dall'acqua ed entrare negli edifici. Non esiste luogo dove il radon non sia presente. In atmosfera si disperde rapidamente e non raggiunge quasi mai elevate concentrazioni, ma nei luoghi chiusi (case, scuole, negozi, ambienti di lavoro, ecc.) può, in alcuni casi, arrivare a concentrazioni tali da rappresentare un rischio eccessivo per gli occupanti.

1.2 Unità di misura

Come unità di misura viene utilizzato il Bq/m³ (Becquerel per metro cubo) che rappresenta il numero di disintegrazioni nucleari che ogni secondo sono emesse in un metro cubo di aria. In pratica, una concentrazione di 400 Bq/m³ vuol dire che 400 nuclei di radon si stanno trasformando, ogni secondo, in ogni metro cubo di aria, emettendo radiazioni.

1.3 Cosa sono le radiazioni?

Gli atomi (o elementi) costituiscono la base della materia. Sono formati da un nucleo centrale costituito da protoni e neutroni intorno ai quali ruotano gli elettroni. Molti elementi presenti in natura e altri artificialmente prodotti sono caratterizzati da una instabilità dei propri nuclei e tendono spontaneamente a trasformarsi verso forme più stabili. Le trasformazioni consistono nell'emissione di particelle e/o di energia da parte del nucleo e costituiscono il fenomeno della radioattività. Le particelle o l'energia emesse durante le trasformazioni sono le cosiddette radiazioni ionizzanti. L'aggettivo ionizzante è dovuto alla proprietà di modificare la struttura della materia con la quale interagiscono. Esistono principalmente tre tipi di radiazioni: radiazioni alfa, beta e gamma.

1.4 Effetti sulla salute

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO), attraverso l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC), ha classificato fin dal 1988 il radon nel "Gruppo 1" nel quale sono elencate le 105 sostanze per le quali si ha la massima evidenza di cancerogenicità per l'uomo. Il principale effetto sanitario è il tumore polmonare. Le più recenti e accurate stime di rischio basate su un insieme di 13 studi europei (<https://www.testo-unico-sicurezza.com/rischio-radon-luoghi-lavoro.html>) che prendono in esame le esposizioni nelle abitazioni, confermano e consolidano le valutazioni dei decenni precedenti. In media ogni 100 Bq/m³ si ha un aumento di rischio di circa il 16%. Questo vuol dire, ad esempio, che essendo la concentrazione media italiana pari a 70 Bq/m³ [ISPRA-ARPA, 2008] circa l'11% degli oltre 31.000 casi di tumore polmonare che ogni anno si registrano in Italia sono attribuibili al radon, con una incidenza molto maggiore tra i fumatori. In Europa si stima che il radon sia responsabile del 2% circa dei decessi causati da tutti i tipi di tumore. La probabilità di contrarre il tumore polmonare è proporzionale alla concentrazione in aria e al tempo trascorso nei vari ambienti di vita (case, scuole, ambienti di lavoro, ecc.) e al consumo di tabacco.

2. Riduzione della concentrazione del radon

Le indicazioni riportate di seguito hanno carattere generale e sono di tipo descrittivo. Nel caso si decidesse di applicare azioni di rimedio, occorre approfondire la situazione generale (tipologia

edilizia, litologia, modalità di utilizzo dell'edificio, ecc.) al fine di selezionare i metodi più appropriati. Non è possibile eliminare completamente il radon dai nostri ambienti di vita. Anche all'esterno è presente, in concentrazioni relativamente basse (in genere 5-10 Bq/m³). Tuttavia è possibile e raccomandabile intervenire in quegli ambienti in cui la concentrazione è elevata e causa rischio per la salute.

Negli Stati Uniti più di 800.000 edifici sono stati bonificati riducendo la concentrazione di radon e 1.200.000 sono gli edifici costruiti con criteri anti-radon [EPA, 2016 - <https://www.epa.gov/radon>]. La scelta del metodo più adatto al singolo edificio dipende da molti fattori e deve essere oggetto di discussione e di approfondimento tra tutti i soggetti interessati (proprietario, eventuali occupanti, imprese). L'intervento deve essere un compromesso tra efficienza di abbattimento del radon, costi di installazione ed esercizio, accettabilità da parte degli occupanti, facilità di manutenzione, incidenza sulle abitudini di vita, durata nel tempo.

2.1 Metodi generali per ridurre il radon negli ambienti

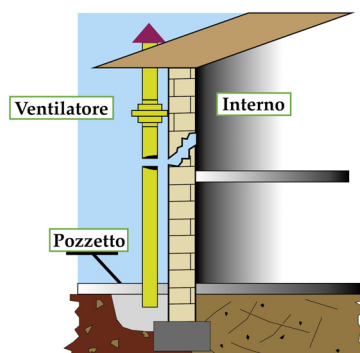
- Depressurizzazione del suolo.
- Ventilazione.
- Ventilazione del vespaio.
- Pressurizzazione dell'edificio.
- Sigillatura delle vie di ingresso.
- Azioni di prevenzione per nuove costruzioni.

2.2 Depressurizzazione del suolo

Questa è la tecnica maggiormente consigliata nel caso di concentrazione molto elevata derivante da emissione dal suolo. Si tratta di realizzare sotto la superficie dell'edificio un pozzetto per la raccolta del gas radon, che viene collegato a un piccolo ventilatore. In tal modo all'interno del pozzetto si realizza una depressione che raccoglie il radon e lo espelle in aria impedendo che entri all'interno dell'edificio (Fig. 6).

Figura 6 Sistema di ventilazione
(<http://www.isprambiente.gov.it/>).

Figure 6 Forced ventilation
(<http://www.isprambiente.gov.it/>).



2.3 Ventilazione

Questo metodo si realizza con l'ausilio di un ventilatore. I problemi connessi con questo sistema sono legati alla necessità di recupero del calore nei mesi invernali. Il metodo è più adatto per applicazioni in ambienti di lavoro, in particolare laddove esiste già un impianto.

2.4 Ventilazione del vespaio

Questo metodo è utilizzato quando è presente un vespaio al di sotto dell'edificio (Fig. 7). Aumentando la ventilazione del vespaio si diluisce il radon presente e di conseguenza meno radon si trasferisce nell'edificio. L'incremento della ventilazione può essere realizzato aumentando il numero delle bocchette di aerazione ed eventualmente applicando un ventilatore. In alcuni casi la semplice pulizia delle bocchette di aerazione porta a un abbassamento della concentrazione di radon.

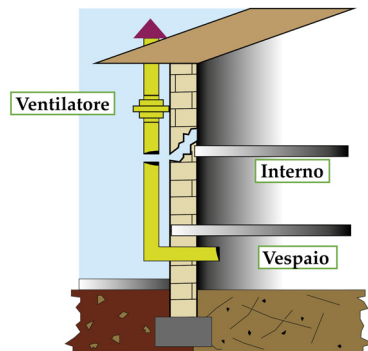


Figura 7 Ventilazione del vespaio
(<http://www.isprambiente.gov.it/>).

Figure 7 Sub-slab depressurization
(<http://www.isprambiente.gov.it/>).

2.5 Pressurizzazione dell'edificio

In questo caso si cerca di incrementare la pressione interna dell'edificio, in modo da contrastare la risalita del radon dal suolo. In pratica l'aria interna spinge il radon fuori dall'edificio. Anche qui è necessario l'ausilio di un ventilatore.

2.6 Sigillatura delle vie di ingresso

Con questo metodo si tenta di chiudere tutte le possibili vie di ingresso. La sigillatura può essere parziale, cioè a carico delle fessure, delle giunzioni pavimento-pareti, dei passaggi dei servizi, (idraulici, termici, delle utenze, ecc.), oppure totale, cioè su tutta la superficie di contatto con il suolo. Per la sigillatura parziale si utilizzano particolari materiali polimerici e per quella totale fogli di materiale impermeabile al radon. I costi della bonifica dipendono dal tipo di intervento e possono andare da alcune centinaia di euro fino a 2-3.000 euro, e da qualche decina a qualche centinaio di euro l'anno per i costi di esercizio.

2.7 Azioni di prevenzione per nuove costruzioni

In fase di progettazione o di costruzione di un nuovo edificio ha un costo relativamente ridotto adottare criteri che riducano l'ingresso del radon dal suolo.

Nel caso si voglia adottare la tecnica del vespaio o delle intercapedini è sufficiente prevedere la realizzazione di una buona ventilazione naturale per tutta la superficie di contatto suolo-edificio. Il numero delle bocchette di aerazione deve essere sufficiente a consentire un buon ricambio di aria (orientativamente una bocchetta ogni 2 metri lineari) ed è consigliabile il riempimento del vespaio con ghiaia. In aggiunta deve essere steso un foglio di materiale impermeabile al radon (già ne esistono in commercio) sempre su tutta la superficie di contatto suolo-edificio. In tal modo la costruzione rimane predisposta per una facile installazione di un ventilatore nel caso la

concentrazione risultasse elevata. Quando non si adotta il vespaio si devono predisporre, al di sotto della prima gettata, uno o più pozzetti di raccolta, a seconda della superficie dell'edificio (circa uno ogni 100 m²), collegati tra loro e collegati con l'esterno dell'edificio. In alternativa si può stendere, sempre sotto la prima gettata, uno strato di ghiaia di circa 5-10 cm e un foglio di materiale impermeabile al radon con delle condotte di ventilazione collegate con l'esterno dell'edificio. Anche in questo caso, se si riscontrassero elevate concentrazioni potrà essere utilizzato un ventilatore per l'aspirazione del radon dai pozzetti [ISPESL, 2007].

3. Diffusione del radon e dipendenza dalla geologia

La concentrazione di Radon-222 all'interno degli edifici può essere dannosa per l'uomo, visto che il Radon-222 è un isotopo naturalmente radioattivo ed è considerato uno delle principali cause di tumore al polmone. Il Radon-222 si presenta a temperatura ambiente allo stato gassoso ed è presente in ogni parte del pianeta. È originato dal decadimento dell'Uranio-238, elemento comune nel suolo.

Generato nel sottosuolo, attraverso crepe, fessure, falde acquifere sotterranee o la stessa porosità del suolo, il Radon-222 raggiunge la superficie e si infiltra negli edifici. Questa è la causa principale della concentrazione negli interni, ma può essere anche dovuta (anche se in minore quantità) dagli stessi materiali costruttivi.

La diffusione dalle fondamenta avviene a causa di molteplici fattori: la differenza di temperatura tipica degli ambienti chiusi spinge il gas a risalire mentre la poca ventilazione ne favorisce la concentrazione. Il gas si infiltra dagli ambienti più bassi verso quelli più alti, con una certa dispersione, tipica di ogni ambiente. Di conseguenza, un edificio che abbia alta concentrazione di Radon all'interno degli ambienti più vicini al terreno e in quelli seminterrati e una minore nell'attico e negli ultimi piani, probabilmente avrà il sottosuolo come maggiore fonte del gas. In questo caso un intervento all'isolamento dell'edificio dal terreno potrebbe ridurre notevolmente la concentrazione del gas nell'edificio.

Sia i materiali costruttivi che il suolo stesso generano il gas in base alla presenza degli elementi che compongono la catena di decadimento dell'Uranio-238. Alcuni materiali di costruzione, tra cui il tufo, generano quantità non trascurabili del gas e sono comuni negli edifici del Lazio. Questa seconda fonte, sebbene generalmente di importanza secondaria, in alcuni casi ha un apporto rilevante nella concentrazione del gas: questo è il caso di un edificio che abbia livelli di concentrazione uniformi per tutta l'elevazione dell'edificio.

L'esalazione dal sottosuolo del gas dipende dalle condizioni atmosferiche in quanto, similmente alla diffusione negli ambienti chiusi, la differenza di pressione può favorire o opporsi alla fuoriuscita del gas dal suolo.

4. Introduzione all'indagine svolta: gli incontri formativi

4.1 Primo incontro: la teoria

Le lezioni sul radon sono state svolte in sei incontri. Alcune sono state fatte all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, altre al Liceo scientifico statale C. Cavour.

Le lezioni iniziali, di tipo teorico, si sono incentrate sullo studio del radon e sui meccanismi a esso legati e sul funzionamento dello strumento successivamente utilizzato per le acquisizioni. Successivamente la classe è stata suddivisa in 4 gruppi ed è stato assegnato uno strumento a ciascun gruppo, nel quale ogni membro lo ha tenuto per circa due settimane nella sua casa, variando la sua posizione e annotando periodicamente le misure di concentrazione di radon,

temperatura e umidità dell'aria. Lo scopo della raccolta dati è stato quello di misurare la quantità di radon presente nelle abitazioni romane situate in diversi quartieri della capitale. Le ultime lezioni si sono incentrate sull'analisi dei dati raccolti e sulla metodologia per scrivere una relazione accurata e precisa.

Il radon è un gas nobile radioattivo che si forma dal decadimento alfa del radio, generato a sua volta dal decadimento alfa dell'uranio. Fu scoperto nel 1899 e inserito nella tavola periodica con il simbolo Rn.

Uno dei principali fattori di rischio del radon è legato al fatto che, accumulandosi all'interno degli edifici, è la seconda causa di tumore ai polmoni dopo il fumo, e aumenta le possibilità di contrarre la malattia specialmente tra i fumatori.

Nonostante ciò, in Italia non esiste una normativa che regoli il limite massimo di concentrazione nelle abitazioni private, per le quali si può far riferimento ai valori raccomandati dalla Comunità [ENHIS, 2009], la misurazione della quantità di radon è perciò utile per stabilire se la media italiana è al di sopra di tali raccomandazioni.

Esiste però una normativa riguardante gli ambienti di lavoro che fissa il limite a 500 Bq/m³ [DL n.241/2000].

Il radon, inoltre, viene emesso dal suolo, e diversi studi hanno suggerito che possa essere un precursore dell'attività eruttiva e sismica, e questo rappresenta un interessante settore di ricerca.

4.2 Secondo incontro: con quali strumenti si misura il radon e come funzionano

Lo strumento utilizzato per misurare la quantità di radon (espressa in Becquerel su metro cubo) presente in una determinata area, oltre che la temperatura e l'umidità relativa, è l'Algade AER Plus (<http://www.algade.com/>). Lo strumento è dotato di un *display* che consente di visualizzare la media delle misure sopracitate in un dato intervallo di tempo. È possibile modificare l'intervallo di tempo attraverso un piccolo pulsante posto sulla sommità dello strumento. Affinché lo strumento riesca a leggere i dati, è necessario posizionarlo in uno spazio chiuso, non troppo arieggiato e ad un'altezza compresa tra 1 e 2 metri. Lo strumento, non appena viene acceso, inizia a registrare i dati; al fine di ottenere delle misure verosimili e accurate, è preferibile analizzare periodi di tempo che siano più lunghi possibile, in questo modo la media che lo strumento calcolerà darà un'idea molto più chiara e precisa delle condizioni dell'ambiente che si sta analizzando. Una volta terminata la lettura dei dati, è possibile collegare, attraverso l'apposita presa micro-USB, lo strumento di misura a un computer e scaricare tutti i dati raccolti. Una volta scaricati i dati è possibile, utilizzando il software *AER Soft*, tracciare dei grafici che mostrano la temperatura, l'umidità e la concentrazione di radon in funzione del tempo. Oltre i grafici sarà possibile anche ottenere una tabella contenente tutte le informazioni raccolte dallo strumento. È possibile trasferire i dati della tabella su Excel.



Figura 8 Algade AER.

Figure 8 Algade AER.

4.3 Terzo, quarto incontro: che cos'è Excel e come funziona

Excel è un programma per creare e gestire fogli elettronici tra i più diffusi e utilizzati; oltre alle funzionalità classiche del foglio di calcolo fornisce anche utili strumenti di impaginazione, grafica e testi. Il foglio di calcolo è composto da celle, per usare Excel è necessario apprendere il funzionamento. Ogni qualvolta si clicca su una cella questa diventa attiva e viene identificata da un numero ed una lettera che compaiono nella casella in alto a sinistra. Quando una cella è attiva significa che è possibile interagire con essa e quindi inserirvi all'interno dei dati (numeri, formule, testo, ecc.). Cliccando con il tasto destro del mouse comparirà un menù che permetterà di scegliere con precisione il tipo di dato da inserire (da usare solo per esigenze particolari, di default la cella è già impostata su valori numerici). Per usare Excel bisogna sapere che per la sottrazione si utilizza il segno (-), per l'addizione il segno (+), per la moltiplicazione il segno (*) e per la divisione il segno (/). Un semplice esempio per come usare Excel può essere questo: supponiamo di voler dividere un numero con un altro. Si scriva per esempio nella cella B5 il numero 100 e nella cella B8 il numero 4. Ora se si vuole vedere il risultato della divisione dei due numeri nella cella B11, è in questa cella che si va a inserire la prima formula.

In Excel ogni formula comincia con il segno =. Quindi, se si vuole che nella cella B11 appaia il risultato della divisione, va scritto al suo interno = B5/B8.

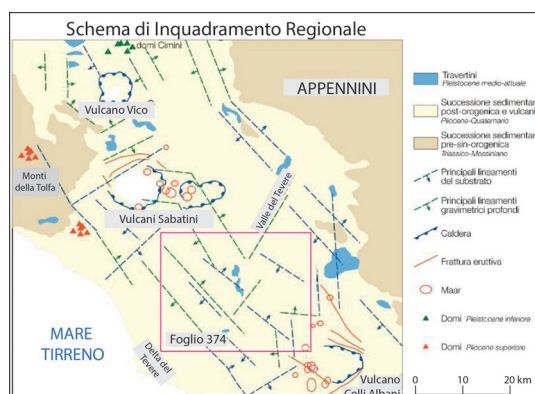
Tutto quello che si va a scrivere all'interno di una cella, comparirà in alto nella barra della formula. Per far sì che la formula diventi attiva bisogna confermarla cliccando sulla V alla sinistra della barra della formula.

4.4 Quinto, sesto incontro: procedimento per le prime analisi dati

Nell'analisi dei dati sono stati studiati in particolare cinque casi di rilevamento del radon: tutte le abitazioni monitorate si trovano su depositi post-orogenici, in particolare su rocce derivanti da un ambiente deposizionale vulcanico risalente al Pleistocene medio-inferiore, ovvero l'intenso vulcanismo Sabatino a nord-ovest e Albano a sud-est (Fig. 9): nel primo caso, un'attività precoce ha inizio 0,800 Ma, e circa 0,550 Ma fa si ha l'emissione di grandi volumi di prodotti, mentre nel caso dei Colli Albani l'attività inizia circa 0,600 Ma fa [Parotto, 2008].

Figura 9 Schema di inquadramento regionale, modificato da Foglio 374 "Roma" - Carta Geologica d'Italia 1:50.000, 2008.

Figure 9 Regional sketch, modified from Foglio 374 "Roma" - Carta Geologica d'Italia 1:50.000, 2008.



Le abitazioni sono indicate in mappa nelle Figure 5 (Abitazione E), e 10 (Abitazioni A, B, C, D) ed elencati nella Tabella 1.

I primi due esempi presi in considerazione (Abitazioni A e B) hanno avuto il rilevatore di radon posizionato nello stesso quartiere, l'Esquilino, ma in abitazioni differenti. Si può facilmente osservare che sono stati registrati dei valori alti in questa zona, soprattutto nel secondo caso in

cui è stato rilevato più volte un valore superiore a 1.000 Bq/m³. Da questi dati è possibile supporre che le abitazioni, essendo su piani alti, siano state costruite con dei materiali che permettono la presenza del gas, come il tufo, porfido, granito o pozzolana.

Nel terzo campione (Abitazione C) è stata rilevata una bassa presenza di radon, nonostante siano state effettuate le registrazioni in un'abitazione che si trova al piano -1, nel quartiere Appio Claudio. Si può notare che nel caso preso in esame il valore di concentrazione del gas è sempre inferiore ai 200 Bq/m³.

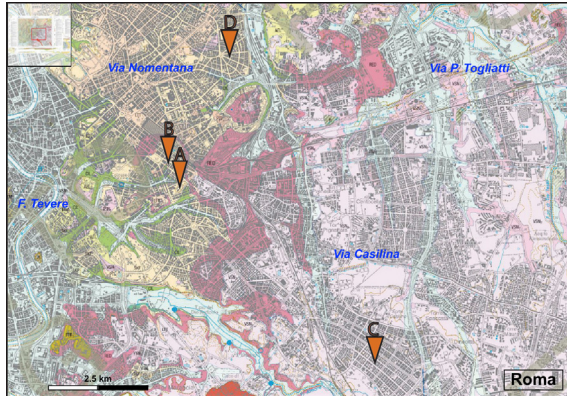


Figura 10 Localizzazione delle Abitazioni A, B, C, D (Foglio 374 "Roma" - Carta Geologica d'Italia 1:50.000, 2008).

Figure 10 Location of the houses A, B, C, D (Foglio 374 "Roma" - Carta Geologica d'Italia 1:50.000, 2008).

Abitazione	Geologia	Quartiere / Zona	Anno di costruzione	Piano	Posizione strumento 1a settimana	Posizione strumento 2a settimana
A	Tufo stratificato varicolori	Esquilino	1920 (piani 1-2) 1946 (piani 3-4)	4	Salone 36m ² . Areato più volte durante la giornata. Strumento a 1.5m da terra	Stanza da letto 9m ² . Areato ogni mattina. Strumento a 1.0m da terra
B	Tufo stratificato varicolori	Esquilino	1880	6	Salone 30m ² . Areato più volte durante la giornata. Strumento a 1.5m da terra	Stanza da letto 12m ² . Grande porta-finestra aperta lunedì e giovedì. Strumento a 1.0m da terra
C	Pozzolanelle	Appio Claudio	1965-1970	-1	Salone 22m ² . Areato brevemente il pomeriggio eccetto 20/3 aperta tutto il pomeriggio. Strumento a 1.5m da terra	Stanza da letto 24m ² . Areato ogni mattina. Strumento a 1.5m da terra
D	Tufo stratificato varicolori	Nomentano	1941-1949	4	Salone 20m ² . Finestre aperte a giorni alterni. Strumento a 1.5m da terra vicino termosifone	Stanza da letto 12m ² . Finestre aperte a giorni alterni. Strumento a 1.5m da terra vicino finestra
E	Tufo stratificato varicolori	Aranova	1972	0	Sottoscala, sgabuzzino 4m ² ricavato al di sotto del pavimento del piano terra. Non areato	Stanza 9m ² areata normalmente

Tabella 1 Caratteristiche delle abitazioni dove sono stati posizionati gli strumenti.

Table 1 Characteristics of the houses where the instruments were placed.

Nel quarto caso (Abitazione D) sono stati presi in considerazione i dati ottenuti in un edificio costruito nell'epoca del fascismo, in un palazzo relativamente recente nel quartiere Nomentano. Probabilmente, grazie alla modernità delle abitazioni C e D, il valore del radon in entrambi i casi non ha mai raggiunto valori di concentrazione superiori a 200 Bq/m³.

Nell'ultimo caso (Abitazione E, palazzina singola), la casa si trova nella località di Aranova ed è stato osservato un valore di concentrazione del gas molto alto che ha raggiunto un massimo di 1.903 Bq/m³. Questi valori, sebbene la palazzina sia stata costruita recentemente, e sebbene il terreno su cui è stata costruita sia cappellaccio di origine sabbiosa (Relazione tecnica, com. pers.), sono probabilmente dovuti alla massiccia presenza, al disotto del cappellaccio, del radon contenuto nel terreno di origine vulcanica, alla presenza di materiale ghiaioso/sabbioso e ricco di fessure che consentono al gas di muoversi con facilità attraverso gli strati rocciosi, ma anche alla presenza di muri portanti sempre in tufo dello spessore di 40 cm.

Figura 11 Valori di concentrazione di radon, temperatura e umidità dell'aria (Abitazione A).

Figure 11 Radon concentration, air temperature and humidity (House A).

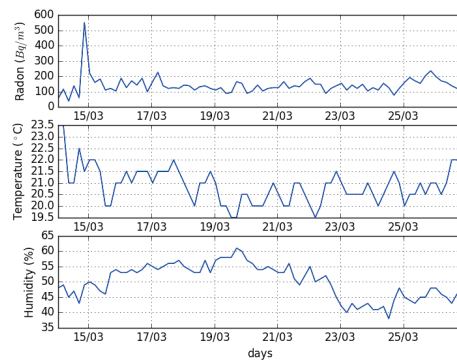


Figura 12 Valori di concentrazione di radon, temperatura e umidità dell'aria (Abitazione B).

Figure 12 Radon concentration, air temperature and humidity (House B).

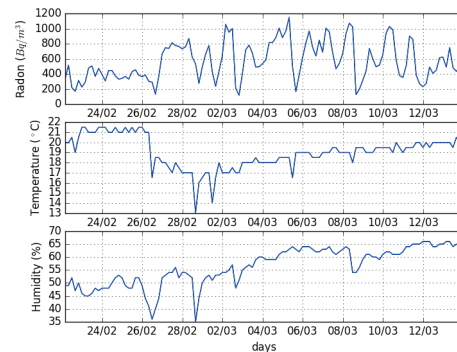
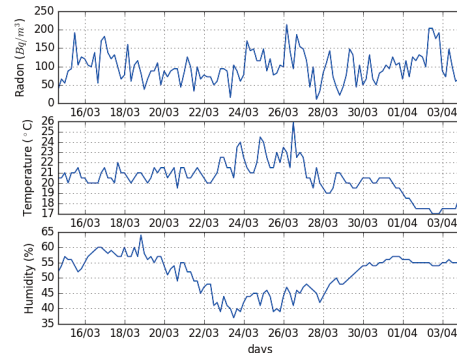


Figura 13 Valori di concentrazione di radon, temperatura e umidità dell'aria (Abitazione C).

Figure 13 Radon concentration, air temperature and humidity (House C).



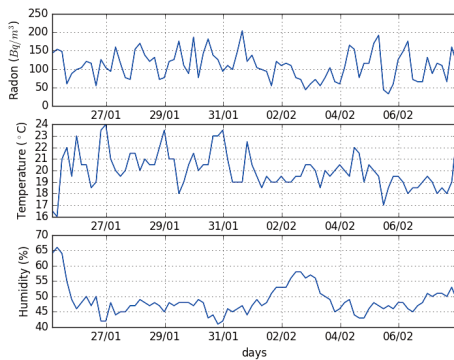


Figura 14 Valori di concentrazione di radon, temperatura e umidità dell'aria (Abitazione D).

Figure 14 Radon concentration, air temperature and humidity (House D).

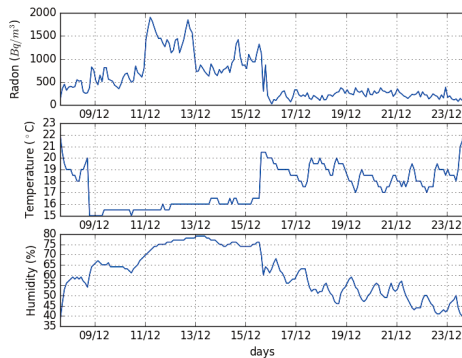


Figura 15 Valori di concentrazione di radon, temperatura e umidità dell'aria (Abitazione E).

Figure 15 Radon concentration and air humidity (House E).

Discussioni

Il presente rapporto è la conclusione di un progetto di Alternanza Scuola Lavoro portato avanti da un gruppo di ricercatori dell'INGV che partecipano alla gestione tecnica e scientifica dell'infrastruttura di monitoraggio - IRON (Italian Radon mOnitoring Network, [Cannelli et al., 2018]) - e dalla classe 3I a.s. 2017/2018 del Liceo Scientifico C. Cavour. Il progetto prevedeva una parte di monitoraggio attivo e in continuo delle concentrazioni radon nelle abitazioni di tutti gli studenti della classe per una durata di due settimane ciascuna, in due ambienti della casa diversi. Abbiamo qui mostrato e discusso i primi risultati dello studio relativi a cinque appartamenti: quattro costruiti su Roma e uno nei dintorni di Roma (Aranova).

Lo scopo del progetto era duplice: da una parte far avvicinare gli studenti al mondo della ricerca scientifica permettendogli di comprendere come viene concretamente affrontata e sviluppata in tutte le sue fasi, dall'altra sensibilizzare gli studenti, le loro famiglie e la scuola stessa, sul problema del *radon indoor* che costituisce un importante fattore di rischio per la salute (è considerato la seconda causa di cancro al polmone dopo il fumo di tabacco) ma la cui percezione da parte del pubblico è molto ridotta. In Italia, inoltre, esiste una normativa specifica sul radon solo per gli ambienti di lavoro (a differenza di quanto accade in altri Paesi europei) mentre l'esposizione a questo importante inquinante ha luogo in tutti gli ambienti confinati, principalmente nelle abitazioni.

In natura, le misure di emissioni radon sono fortemente influenzate dai parametri meteorologici, come temperatura, pressione atmosferica e precipitazioni. La correlazione più evidente a corto periodo è con gli eventi piovosi che inibiscono le emissioni di radon dai suoli mentre le basse frequenze sono dominate dalle variazioni stagionali della temperatura generalmente con correlazione positiva. Nel caso di misure *indoor* le interazioni con i parametri ambientali sono più complesse principalmente in ragione del fatto che ai fattori modulanti sopra elencati si aggiungono il gradiente di temperatura fra l'interno e l'esterno

delle abitazioni e l'effetto degli impianti di riscaldamento e condizionamento. Su scala stagionale in generale ci si aspettano valori di *radon indoor* più elevato durante le stagioni fredde mentre le variazioni ad alta frequenza, in virtù di quanto detto, sono complesse e non facilmente prevedibili. A conferma di ciò, i primi dati acquisiti non permettono di evidenziare correlazioni semplici e costanti fra variazioni di radon ad alta frequenza e variazioni di temperatura e umidità relativa, per cui sarà necessaria un'analisi successiva per verificarla. In ogni caso, dalle prime analisi effettuate sui dati registrati nelle abitazioni degli studenti, si possono evincere alcune osservazioni. Infatti, sebbene ci siano fattori in comune tra i siti di misura ai quali ricondurre la presenza del radon (caratteristiche geologiche e dei suoli dell'area), ogni appartamento è un caso a sé e, a seconda delle tipologie costruttive, è possibile individuare elementi che concorrono alla presenza del gas: è importante considerare il rapporto esistente tra l'edificio e il suolo, e quindi valutare se il terreno costituisce la fonte primaria di radon, ma contemporaneamente verificare anche se l'ingresso del gas avviene secondo un diverso meccanismo.

Nel caso dell'abitazione B, per esempio, (Fig. 12) i valori particolarmente elevati sono stati misurati a un piano alto (6°): si può ipotizzare la presenza sia di materiale vulcanico all'interno delle pareti in quanto il palazzo, essendo di fine '800, è stato costruito probabilmente con tecniche che prevedevano ancora la muratura mista, sia di altre vie di accesso del gas per esempio lungo i condotti di passaggio di cavi e tubature o lungo altri elementi strutturali quali intercapedini e cavità degli inerti. Un altro fattore che può avere influito, essendo state le misure condotte in inverno, è il sopracitato gradiente di temperatura (sono presenti escursioni giornaliere anche di 800 Bq/m³ vedi grafico Fig. 12) e/o un ricambio di aria ridotto. L'insieme di queste osservazioni crea le basi per pianificare ulteriori futuri approfondimenti.

Di contro, nell'abitazione C che si trova in un seminterrato, dove quindi ci si potrebbe aspettare, essendo più vicina al terreno, un'elevata concentrazione del gas, sono stati misurati bassi valori probabilmente grazie a un buon isolamento e a una buona aerazione (Fig. 14). Si può inoltre notare che i valori più bassi della concentrazione di radon corrispondono ai valori più alti di umidità che a loro volta corrispondono ai giorni di pioggia (18-19-20 e 30-31 marzo).

I valori più alti sono stati registrati nell'abitazione E (Fig. 15): il terreno su cui è stata costruita la casa è cappellaccio di origine sabbiosa sovrastante i tufi stratificati. Dalla Relazione tecnica (com. pers.) si legge che le fondamenta sono state scavate a filo terreno con dimensioni 1x1m lungo tutto il perimetro della casa dove poggia il muro portante e che non esiste alcun piano interrato o cantina. Il piano terra poggia su di uno stato di massicciata isolante tra il pavimento e il terreno, su cui è stata posizionata una pellicola bituminosa per isolare dall'umidità, mentre i muri portanti sono in tufo dello spessore di 40 cm. Sebbene la palazzina sia stata costruita recentemente, il gas radon ha trovato un meccanismo di diffusione non solo dal suolo, ma anche dalle pareti interne. Il sottoscala dove è stato posizionato lo strumento la prima settimana è stato ricavato al di sotto del pavimento del piano terra, al di sotto delle fondamenta. I valori registrati la prima settimana hanno superato i 1900 Bq/m³ mentre la seconda settimana, quando lo strumento è stato spostato in una stanza del pianterreno, i valori sono notevolmente scesi pur restando in media intorno ai 400 Bq/m³, valori che suggeriscono ulteriori approfondimenti per verificare l'eventuale necessità di avviare azioni di risanamento.

Conclusioni

Prima di intraprendere questa esperienza lavorativa insieme ai ricercatori dell'INGV molti degli alunni non erano consapevoli dell'esistenza del gas radon e degli effetti che può causare sulla salute. In base all'analisi dei dati ci si è resi conto che sono presenti, nella città di Roma, delle zone con una concentrazione di radon largamente sopra il limite stabilito per legge. Nella maggior parte

dei casi l'elevata concentrazione del gas è principalmente dovuta al quartiere della città in cui ci si trova, cioè è imputabile a materiale e tecniche edilizie e all'epoca della costruzione. Dai dati raccolti si è potuto notare che gli appartamenti che si trovano più vicino al suolo e costruiti al di sopra di materiale di origine vulcanica (tufo, pozzolane) presentano concentrazione di radon mediamente maggiori (per esempio Abitazione E). In ogni caso, questi non sono gli unici fattori a influenzare la quantità di gas presente nelle abitazioni, ma anche la circolazione dell'aria dovuta, per esempio, all'apertura e chiusura delle finestre.

La disponibilità di misure in continua in molti ambienti diversi evidenzia la complessità dei meccanismi di diffusione e concentrazione del radon e la non completa efficacia di modelli semplici prestabiliti per l'individuazione di situazioni a rischio.

Bibliografia

- Cannelli V., Piersanti A., Galli G. and Melini D., (2018). *Italian Radon mOnitoring Network (IRON): A permanent network for near real-time monitoring of soil radon emission in Italy*. *Annals of Geophysics*, 61(4), doi: <http://dx.doi.org/10.4401/ag-7604>.
- 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*. *Gazzetta Ufficiale* n.203, 31-08-2000 - Suppl. Ordinario n. 140.
- Decreto Legislativo 15 aprile 2005, n. 77. *Definizione delle norme generali relative all'alternanza scuola-lavoro, a norma dell'articolo 4 della legge 28 marzo 2003, n. 53*. *Gazzetta Ufficiale* n. 103, 5-05-2005.
- ENHIS - European Environment and Health Information System, (2009). *Radon Levels in Dwellings*. Fact Sheet 4.6. CODE: RPG4_Rad_Ex1.
- EPA - U.S. Environmental Protection Agency, (2016). *A Citizen's Guide to Radon: The Guide to Protecting Yourself and Your Family from Radon*. 402/K-12/002.
- ISPESL - Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro, (2007). *Il Radon in Italia: guida per il cittadino*. Quaderni per la salute e la sicurezza.
- ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ARPA - Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente, Lazio, (2008). *RADON Guida per la popolazione*.
- Legge 13 luglio 2015, n. 107. *Riforma del sistema nazionale di istruzione e formazione e delega per il riordino delle disposizioni legislative vigenti*. *Gazzetta Ufficiale* n.162, 15-07-2015.
- Ministero della Salute, (2002). *Piano nazionale radon*.
- Parotto M., (2008). *Evoluzione paleogeografica dell'area romana: una breve sintesi*. In: Funicello R., Praturlon A., Giordano G. (a cura di) "La geologia di Roma dal centro storico alla periferia", Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, Vol. LXXX, APAT, Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Università degli studi "Roma Tre", Dip. Scienze Geologiche, APAT - Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, Dip. Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia, (2008). *Foglio 374 "Roma" - Carta Geologica d'Italia 1:50.000*.
- WHO - World Health Organization, (2009). *Who Handbook on Indoor Radon. A Public Health Perspective*. International Radon Project.

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html/>

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/>

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

Coordinamento editoriale e impaginazione

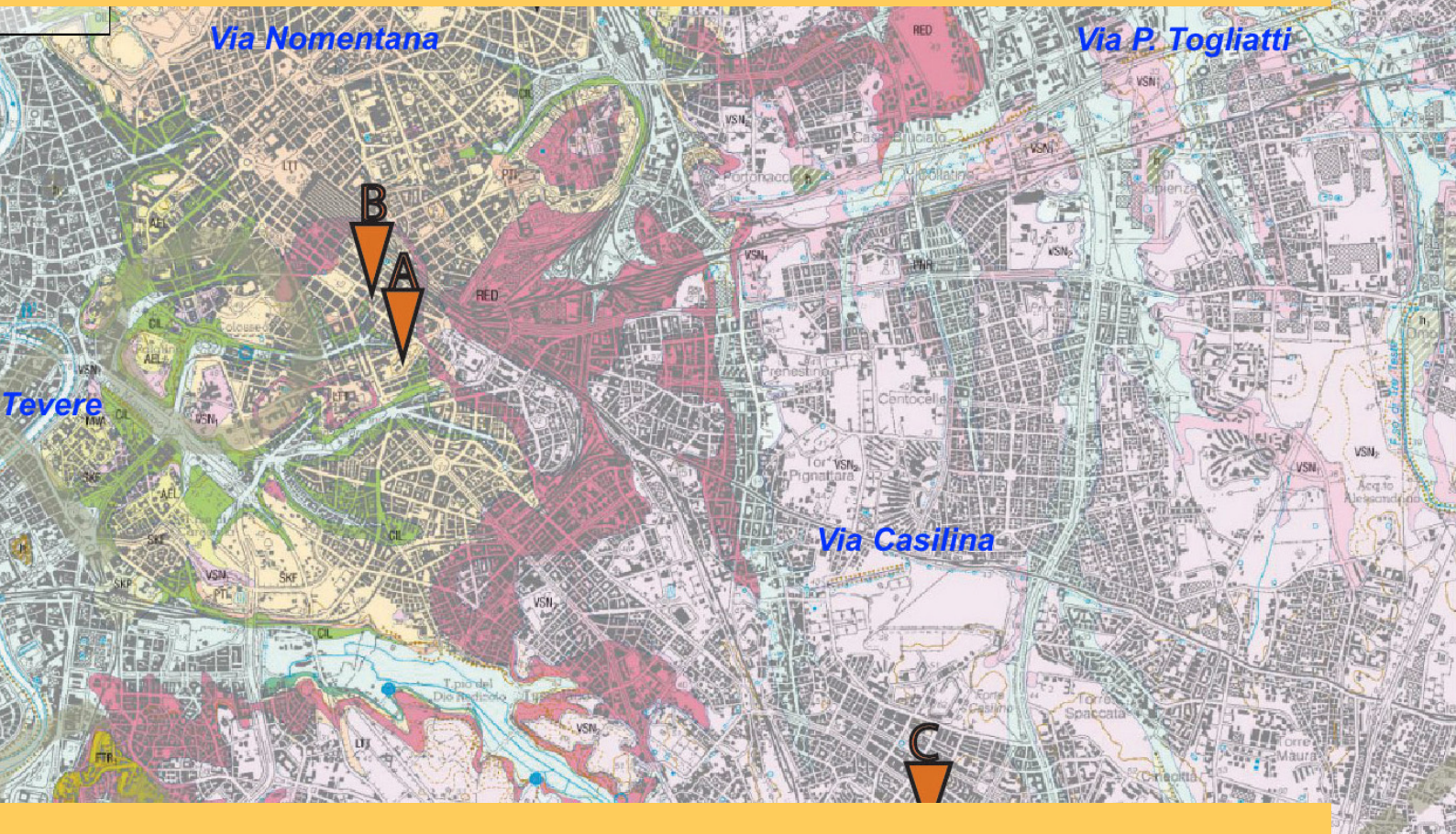
Francesca DI STEFANO, Rossella CELI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Progetto grafico e impaginazione

Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

©2019
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma
t. +39 06518601

www.ingv.it



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

