



# IL RADON NELLE SCUOLE DELL'UMBRIA



radiazioni/quaderni/ARPA Umbria



**Regione Umbria**



agenzia regionale per la protezione ambientale

**ARPA Umbria - Agenzia regionale  
per la protezione ambientale**

via Pievaiola (San Sisto) - Perugia  
tel: 075 515961 - fax 075 51596235  
[www.arpa.umbria.it](http://www.arpa.umbria.it)  
[arpa@arpa.umbria.it](mailto:arpa@arpa.umbria.it)

**Quaderni ARPA Umbria**

**Direttore scientifico**  
Giancarlo Marchetti

**Direttore editoriale**  
Fabio Mariottini

**A cura di**  
Paola Sabatini - Arpa Umbria

**Autori**  
Paola Sabatini - Arpa Umbria  
Andrea Calandra - Università degli Studi di Perugia  
Mario Angelo Mazzi - Comune di Orvieto  
Alba Rongoni - Università degli Studi di Perugia

**Progetto grafico**  
LCD, Firenze

**Cura redazionale**  
Markos Charavgis

**Impaginazione**  
Emanuele Capponi

**Stampa**  
GESP srl, Cerbara (PG)

Stampato su carta Free Life 100 da 100 g/mq

Eventuali duplicazioni, anche di parti della pubblicazione,  
sono autorizzate a condizione che venga citata la fonte  
©Copyright 2011 Arpa Umbria

# Il radon nelle scuole dell'Umbria

## Campagne di monitoraggio e azioni di rimedio

Paola Sabatini, Andrea Calandra, Mario Angelo Mazzi, Alba Rongoni



# Sommario

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Presentazione</b>   | <b>7</b>  |
| <i>Giancarlo Marchetti</i>                                     |           |
| <br>   |           |
| <b>1. Il radon</b>   | <b>9</b>  |
| <i>Paola Sabatini</i>  |           |
| 1.1. La normativa sul radon                                    | 9         |
| 1.2. L' impatto sulla salute                                   | 10        |
| 1.3. Il radon in Umbria  | 10        |
| <i>Alba Rongoni</i>  |           |
| 1.3.1. L'inquadramento geologico                               | 10        |
| 1.3.2. La misurazione del radon in Umbria                      | 12        |
| 1.3.3. Misure di radon indoor                                  | 12        |
| 1.3.4. Misure di radon in acqua in Umbria                      | 14        |
| 1.3.5. Analisi dei risultati degli studi sul radon in Umbria   | 16        |
| <br>   |           |
| <b>2. Il monitoraggio del radon nelle scuole</b>               | <b>17</b> |
| <i>Paola Sabatini</i>  |           |
| 2.1 Gli obiettivi del monitoraggio                             | 17        |
| 2.1 L'organizzazione del monitoraggio                          | 17        |
| <br>   |           |
| <b>3 I monitoraggi</b>   | <b>19</b> |
| <i>Paola Sabatini</i>  |           |
| 3.1 La campagna di monitoraggio del 2005                       | 19        |
| 3.1.1 I risultati della campagna di monitoraggio del 2005      | 20        |
| 3.2 La campagna di monitoraggio del 2006-2007                  | 27        |
| 3.2.1 I risultati della campagna di monitoraggio del 2006-2007 | 28        |
| 3.3 La campagna di monitoraggio del 2007-2010                  | 33        |
| 3.3.1 I risultati della campagna di monitoraggio del 2007-2010 | 34        |
| <br>   |           |
| <b>4 I sopralluoghi</b>  | <b>37</b> |
| <i>Paola Sabatini</i>  |           |
| 4.1 I sopralluoghi effettuati nel 2006                         | 37        |
| 4.1.1 I risultati dei sopralluoghi del 2006                    | 38        |
| 4.2 I sopralluoghi effettuati nel 2007                         | 38        |
| 4.2.1 I risultati dei sopralluoghi effettuati nel 2007         | 39        |
| 4.3 I sopralluoghi effettuati nel 2008                         | 41        |
| 4.3.1 I risultati della campagna di monitoraggio del 2007-2010 | 41        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>5</b>  | <b>I materiali da costruzione</b>  | <b>43</b> |
|           | <i>Andrea Calandra</i>   |           |
| 5.1       | La normativa vigente sui materiali da costruzione                            | 44        |
| 5.2       | Le misure radiometriche sui materiali da costruzione                         | 45        |
| 5.3       | I risultati delle misure sui materiali da costruzione                        | 46        |
| 5.4       | Conclusioni  | 47        |
| <br>      |  |           |
| <b>6</b>  | <b>Gli interventi di risanamento</b>   | <b>49</b> |
|           | <i>Mario Angelo Mazzi</i>  |           |
| 6.1       | Interventi effettuati nel territorio comunale di Orvieto                     | 49        |
| 6.1.1     | Edificio sede dell'asilo nido di Orvieto centro                              | 50        |
| 6.1.2     | Edificio sede della scuola dell'infanzia di Canonica                         | 51        |
| 6.1.3     | Edificio della scuola primaria di Sugano                                     | 51        |
| 6.2       | Edificio della scuola d'infanzia e primaria di Porano                        | 52        |
| 6.3       | Edificio della scuola primaria e media di Castel Giorgio                     | 52        |
| 6.4       | Edificio della scuola primaria e media di Guardea                            | 52        |
| 6.5       | Conclusioni  | 53        |
| <br>      |  |           |
| <b>7</b>  | <b>Risultati finali e conclusioni</b>  | <b>55</b> |
|           | <i>Paola Sabatini</i>  |           |
| 7.1       | Risultati finali   | 55        |
| 7.2       | Conclusioni e sviluppi futuri  | 56        |
| <br>      |  |           |
| APPENDICE |  |           |
| <br>      |  |           |
| <b>A.</b> | <b>Il questionario inviato alle scuole</b>                                   | <b>61</b> |
| <br>      |  |           |
| <b>B.</b> | <b>Il sistema di misura utilizzato e il controllo della qualità del dato</b> | <b>63</b> |
| <br>      |  |           |
| <b>C.</b> | <b>Le scuole</b>   | <b>65</b> |
| -         | Asilo nido "Arcolbaleno" di Orvieto centro - Comune di Orvieto               | 65        |
| -         | Scuola dell'infanzia di Canonica - Comune di Orvieto                         | 71        |
| -         | Scuola primaria di Sugano - Comune di Orvieto                                | 77        |
| -         | Scuola primaria di Porano  | 81        |
| -         | Scuola primaria di Castel Giorgio  | 87        |
| -         | Scuola primaria e secondaria di I° grado di Guardea                          | 93        |
| -         | Scuola dell'infanzia di Giove  | 99        |

# Presentazione

Il radon è tra i principali inquinanti dell'aria *indoor* e la sua pericolosità per la salute umana, in termini di insorgenza di cancro al polmone, è tale che l'*International Agency for Research on Cancer* (IARC) lo ha inserito nel gruppo 1 degli agenti cancerogeni per l'uomo, ovvero quello la cui cancerogenicità è riconosciuta. La percezione del rischio associato alla esposizione del radon è invece generalmente poco diffusa tra la maggior parte della popolazione, soprattutto se paragonata all'interesse suscitato da altri inquinanti. Un esempio è quello dei campi elettromagnetici, attualmente collocati dallo IARC nel gruppo 2B, che elenca gli agenti la cui cancerogenicità è ritenuta possibile.

Data l'importanza e la delicatezza del tema, Arpa Umbria ha dato vita nel 2005 ad una articolata campagna di monitoraggio negli edifici scolastici della regione. Questo anche in ossequio all'attenzione riservata dalla normativa a questi ambienti per i quali, considerata la vulnerabilità della giovane popolazione che vi è ospitata, in caso di superamento dei limiti di concentrazione è fatto obbligo agli esercenti di porre in atto azioni di rimedio, prescindendo dal successivo passaggio di valutazione della dose come avviene per gli altri luoghi di lavoro.

La campagna di monitoraggio, condotta anche in collaborazione con il Ser-

vizio di Fisica Sanitaria dell'Università degli Studi di Perugia, ha consentito dunque di individuare le situazioni a rischio e di progettare e adottare, risalendo alle sorgenti di diffusione del gas, i provvedimenti più efficaci. In senso più ampio, però, il lavoro svolto ha avuto il pregio di restituire un primo *screening* della presenza di radon nel territorio regionale, consentendo di quantificare, rispetto a tale problematica, il contributo fornito dal substrato su cui sorgono gli edifici e quello fornito dal materiale da costruzione, svolgendo al contempo un'opera di informazione e sensibilizzazione nei confronti della popolazione e degli enti locali.

Grazie alla collaborazione di quelle Amministrazioni comunali che hanno raccolto l'opportunità offerta dalla campagna di monitoraggio, dando riscontro al censimento preliminare degli edifici scolastici promosso dall'Agenzia, e grazie anche alla professionalità dei loro uffici tecnici, è stato possibile portare a compimento un lavoro complesso ed importante. Un lavoro che soprattutto va nella giusta direzione del risanamento e della prevenzione e che ha dimostrato come anche ad un problema insidioso come quello del radon sia possibile dare risposte adeguate e risolutive, unendo le conoscenze tecnico-scientifiche offerte da Arpa e la lungimiranza degli amministratori.

**Giancarlo Marchetti**

*Direttore Tecnico - Arpa Umbria*



# 1. Il radon

Il radon è un elemento chimico con simbolo Rn e numero atomico 86. È un gas nobile e, come tale, chimicamente inerte. A temperatura e pressione standard è inodore e incolore. Dei suoi isotopi, tre sono radioattivi: il  $^{222}\text{Rn}$  (radon), il  $^{220}\text{Rn}$  (thoron) e il  $^{219}\text{Rn}$  (actinon). Tutti e tre sono di origine naturale, in quanto membri delle tre famiglie radioattive:  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{235}\text{U}$  rispettivamente per radon, thoron e actinon. Dei tre isotopi radioattivi, il radon è quello presente in concentrazione maggiore a causa del suo relativamente lungo tempo di dimezzamento: 3,82 giorni rispetto a 5,66 secondi del thoron e 3,96 dell'actinon. Questa caratteristica consente al radon di lasciare la matrice originaria in cui si forma<sup>1</sup> per risalire in superficie e disperdersi in aria, a differenza del thoron e dell'actinon, che difficilmente riescono a farlo poiché decadono prima di lasciare la matrice originaria. All'aperto, la concentrazione di radon non raggiunge mai livelli elevati; esso, infatti, si concentra maggiormente nei luoghi chiusi, come case, uffici, scuole, dove penetra attraverso le fessurazioni presenti nei pavimenti dei piani più bassi degli edifici, le giunzioni tra pavimenti e pareti, le canalizzazioni degli impianti termici, del gas e dell'acqua, a seguito di meccanismi di aspirazione creati dalla differenza di pressione tra questi e il suolo. Il materiale da costruzione stesso può rappresentare una fonte di radon, come nel caso di fabbricati realizzati con materiali edilizi noti per l'elevato tenore in uranio e radio quali tufi o graniti. Anche le malte realizzate con pozzolana possono risultare importanti fonti di emanazione di radon.

Dal punto di vista radioprotezionistico, il radon riveste particolare interesse sia

perché alfa emettitore, ma soprattutto perché sono alfa emettitori i suoi più diretti discendenti, i cosiddetti "figli del radon". Il decadimento alfa produce particelle caratterizzate da un basso potere penetrante e da un elevato potere ionizzante: questo le rende particolarmente pericolose quando si trovano all'interno del corpo umano, come nel caso di loro ingestione o inalazione. Di fatto, se si inala aria ricca di radon, questo raggiunge l'apparato polmonare ma viene in gran parte esalato senza aver avuto il tempo di decadere. I figli del radon invece, adesi al pulviscolo atmosferico, una volta inalati, a causa del loro brevissimo tempo di dimezzamento (dell'ordine di alcuni secondi) decadono rapidamente, rilasciando tutta la loro energia prima di poter essere rimossi dai naturali processi di pulizia bronchiale.

## 1.1 LA NORMATIVA SUL RADON

La normativa europea si è espressa in materia con l'emanazione della Raccomandazione EURATOM 143/90 per gli ambienti di vita e con la Direttiva EURATOM 29/96 per i luoghi di lavoro. La Raccomandazione n. 143/90, a tutt'oggi non ancora recepita dallo Stato italiano, indica due valori limite di concentrazione media annua di radon *indoor*: 200 Bq/m<sup>3</sup> per le nuove abitazioni e 400 Bq/m<sup>3</sup> per quelle già esistenti. La Direttiva EURATOM 29/96 ha avuto attuazione il 26 maggio 2000 con il D.Lgs 241 per la protezione della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti. Tale decreto è andato a modificare ed integrare il D.Lgs 230/95 con l'introduzione del Capo III-bis: "Esposizioni da attività lavorative con particolari sorgenti naturali di radiazioni". Nel campo di applicazione di tale

---

<sup>1</sup> Il radon si forma nelle rocce e nel suolo della crosta terrestre, dove è presente in maniera ubiquitaria seppur in concentrazione variabile a seconda del diverso contenuto in uranio e radio, relativamente alle caratteristiche litologiche ed ai processi di formazione delle rocce stesse.

decreto sono ricomprese tutte le attività lavorative svolte in luoghi sotterranei (tunnel, metropolitane, grotte, ecc.) e in luoghi con particolari caratteristiche nei quali i lavoratori o altre persone del pubblico possono essere esposti, tra l'altro, a prodotti di decadimento del radon. Per tutte queste attività l'esercente è tenuto ad eseguire misure di concentrazione di radon entro 24 mesi dall'inizio dell'attività o dall'individuazione, da parte della Regione, di aree a rischio di elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon. Al superamento del livello di azione di  $500 \text{ Bq/m}^3$ , l'esercente è tenuto a porre in atto azioni di rimedio idonee a ridurre le grandezze misurate al di sotto di tale livello, tenendo conto del principio di ottimizzazione, e a procedere a nuove misurazioni al fine di verificare l'efficacia di tali azioni. L'esercente non è tenuto ad intraprendere azioni di rimedio se dimostra, avvalendosi di un esperto qualificato, che nessun lavoratore è esposto ad una dose superiore a  $3 \text{ mSv/anno}$ : questa disposizione non si applica agli esercenti di asili-nido, di scuola materna (scuola d'infanzia) o di scuola dell'obbligo. L'esercente è infine tenuto a ripetere misurazioni nel corso dell'anno successivo al superamento dell'80% del valore del livello di azione.

### 1.2 L' IMPATTO SULLA SALUTE

Per la sua natura gassosa, al radon è attribuita principalmente la capacità di aumentare il rischio di insorgenza di cancro polmonare.

La prima associazione tra elevate esposizioni al radon e cancro polmonare è emersa a seguito di studi retrospettivi effettuati su coorti di lavoratori di miniere di uranio a partire dagli anni '50. Per un determinato periodo di tempo, gli individui del gruppo di studio furono seguiti al fine di verificare, relativamente al fattore di rischio radon, l'incidenza del cancro polmonare. L'incremento del rischio ad elevate dosi di esposizione, sia per fumatori che non fumatori, portò nel 1988 l'*International Agency for Research on Cancer* (IARC) a classificare il radon nel Gruppo 1 degli agenti cancerogeni per l'uomo. L'incertezza associata ai risultati ottenuti estrapolando gli studi effettuati sui minatori ad ambienti residenziali - tenendo anche conto del fattore fumo - ha evi-

denziato la necessità di effettuare studi specifici su tali ambienti di vita.

L'approccio adottato in tali studi è stato quello del caso-controllo, dove l'associazione tra esposizione al radon in ambienti residenziali e il rischio di cancro polmonare viene effettuata per confronto tra un numero predeterminato di individui che hanno contratto il cancro polmonare ed un numero rappresentativo di individui sani. I due gruppi, formati da individui simili per sesso ed età, sono stati seguiti per decine di anni, registrandone le storie residenziali, le abitudini al fumo ed altri fattori associabili al rischio di contrarre il cancro. I risultati non hanno mostrato la netta evidenza della relazione emersa negli studi sulle coorti di minatori, molto probabilmente per la minore esposizione che l'individuo riceve in ambienti a più bassa concentrazione di radon, ma soprattutto per il ristretto gruppo di individui su cui tali studi erano stati condotti. Ciò ha indotto diversi gruppi di esperti a mettere insieme le informazioni derivanti da singoli studi per costituire dei gruppi statisticamente rappresentativi. Le attività di analisi di tre gruppi di studio hanno prodotto risultati in discreto accordo tra di loro. Per incrementi di  $100 \text{ Bq/m}^3$  del livello di concentrazione di radon il gruppo europeo, nord americano e cinese ha ottenuto rispettivamente un incremento di rischio dell'8, dell'11 e del 13%. Tutti gli studi hanno evidenziato una relazione apparentemente lineare tra dose e risposta e nessuna soglia, al di sotto della quale il rischio di cancro al polmone possa essere escluso, è stata individuata. Il radon si attesta come la seconda causa di cancro al polmone dopo il fumo di sigaretta incrementando, a quanto pare, il rischio nei fumatori ed ex fumatori, e si pone come la prima causa di cancro al polmone tra i non fumatori.

### 1.3 IL RADON IN UMBRIA

#### 1.3.1 L'inquadramento geologico

Da un punto di vista geologico, l'Umbria si inquadra nell'ambito dell'Appennino Settentrionale, anche se, in una visione più generale, è inserita nello sviluppo geodinamico che ha portato alla formazione dell'intera catena appenninica. Nel territorio regionale affiorano numerose litologie che possono essere raggruppate

in quattro complessi distinti: carbonatico, terrigeno, post-orogenerico e vulcanico (fig.1).

Il complesso carbonatico è costituito da litotipi calcarei, calcareo marnosi e marnosi argillosi della serie umbro marchigiana e toscano-ligure. Queste rocce affiorano principalmente nel settore orientale della regione, dove costituiscono l'ossatura della catena appenninica e hanno un'età compresa tra il Trias superiore e il Miocene inferiore. Il complesso terrigeno comprende le successioni torbiditiche umbro-marchigiane e quelle delle unità tettoniche toscane e liguri. Queste hanno una grande distribuzione areale su tutta la regione, specialmente nei settori Nord-occidentali e Nord-orientali, con età comprese tra il Paleocene superiore

e il Miocene medio. Il complesso post-orogenerico è costituito da depositi di *facies marina salmastra* e di *facies continentale* e affiorano nei principali bacini distensivi della regione tra cui la Valle Umbra e la Valle del Tevere ed ha un'età compresa tra il Pliocene superiore e l'Olocene. Infine, il complesso vulcanico è costituito da ignimbriti, lave e depositi piroclastici formati a seguito delle eruzioni vulcaniche dell'area Vulsina. Questo complesso, di età pleistocenica medio-superiore, affiora nell'area sud occidentale della regione, in particolare nella zona di Orvieto.

In Umbria è inoltre presente una piccola colata lavica costituita da una roccia molto rara (ad olivina, leucite e melilite) che affiora a S. Venanzo e che è stata per questo battezzata con il nome di "Venanzite".

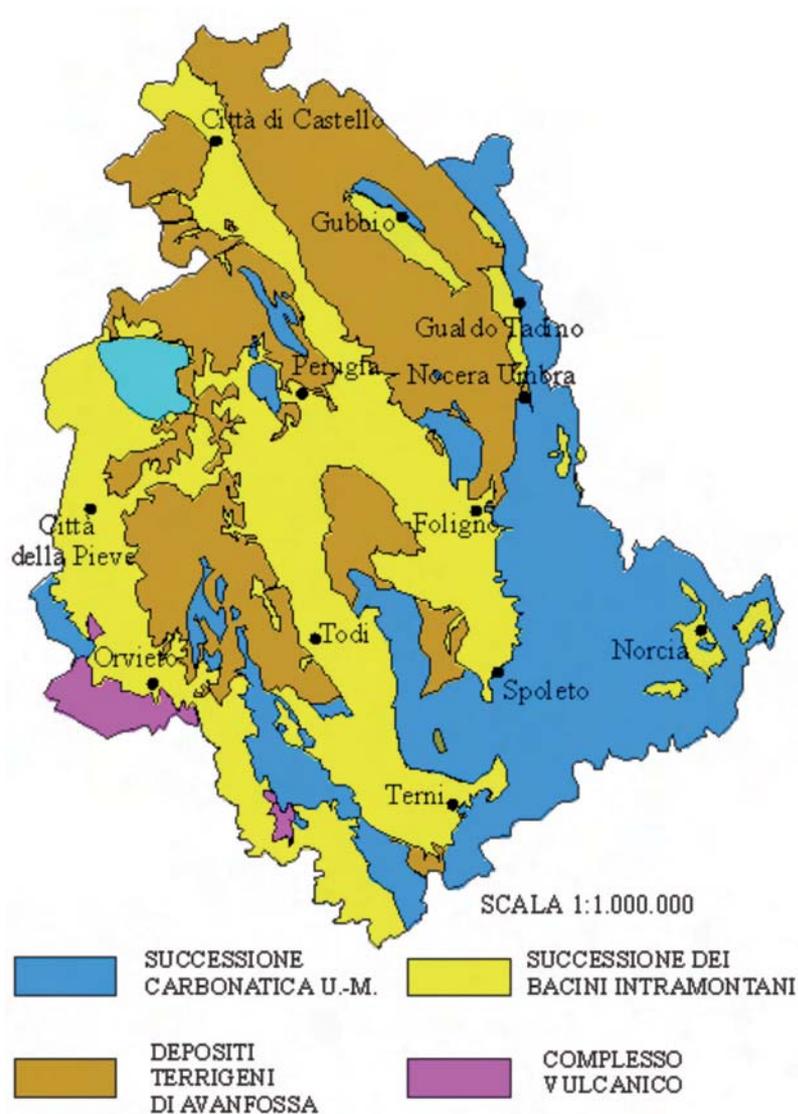


Fig.1 - Carta geologica dell'Umbria

L'evoluzione tettonica nel tempo rappresenta uno dei fattori responsabili dell'attuale morfologia del territorio umbro. In particolare, possiamo distinguere tre fasi principali: una prima, tra il Trias e il Miocene, in cui prevale la sedimentazione in aree subsidenti articolate in modo complesso; una seconda, dal Miocene inferiore, in cui prevale la deformazione tettonica (fase compressiva) che porta alla formazione dell'Appennino Umbro-Marchigiano, favorendo la formazione di bacini di sedimentazione. Dal Pliocene inferiore inizia una fase a carattere distensivo, che a seguito di abbassamenti e basculamenti di grande entità, genera la formazione delle principali valli umbre attuali.

### 1.3.2 La misurazione del radon in Umbria

Prima tra le regioni d'Italia, sin dagli inizi degli anni '80 l'Umbria – attraverso il Servizio di Fisica Sanitaria dell'Università degli Studi di Perugia, anche in collaborazione con l'Istituto Superiore di Sanità – si è impegnata nella messa a punto di tecniche di misura del radon in aria e nella realizzazione di campagne di misura della concentrazione di radon *indoor* nel territorio regionale, partecipando alla campagna nazionale sul radon in quanto Centro di Riferimento per la Radioattività Ambientale per la Regione Umbria (CRR). Successivamente, lo stesso Servizio ha approfondito lo studio partecipando attivamente all'operato del Sottogruppo dell'Interregionale alla Prevenzione e contribuendo alla stesura delle linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei e del Piano Nazionale Radon.

Dal 2001, inoltre, parallelamente alle misure di radon *indoor*, il Servizio di Fisica Sanitaria si è dedicato anche a varie campagne di misura della concentrazione di radon nelle acque destinate al consumo umano e alla loro caratterizzazione radiometrica, in accordo con quanto previsto dalla Raccomandazione della Commissione delle Comunità Europee emanata nel dicembre 2001 sulla "Tutela della popolazione contro l'esposizione al radon nell'acqua potabile", che introduce la necessità di eseguire controlli sulle acque potabili destinate al consumo umano al fine di verificare in esse l'eventuale presenza di radon.

### 1.3.3 Misure di radon *indoor*

#### Prima campagna di misurazione del radon *indoor* in Umbria (1984)

Grazie ad una stretta collaborazione con l'Istituto Superiore di Sanità (ISS), nel 1984 il Servizio di Fisica Sanitaria dell'Università degli Studi di Perugia ha condotto misure della concentrazione di radon in aria *indoor* su un campione di città umbre (Foligno, Spello, Passignano, Todi e Orvieto), selezionate in funzione delle caratteristiche geologiche del territorio. Le misure, eseguite con dosimetri passivi a tracce nucleari, sono state effettuate all'interno di abitazioni scelte in base alla tipologia edilizia e ai materiali da costruzione impiegati. Le medie dei valori ottenuti nelle suddette località oggetto del monitoraggio sono riportate in tab.1.

Tab.1: Concentrazione media di radon in aria

| COMUNE     | Concentrazione di radon (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|------------|--|
| Orvieto    | 205 ± 41                                     |
| Todi       | 25 ± 8                                       |
| Foligno    | 59 ± 18                                      |
| Passignano | 40 ± 12                                      |
| Spello     | 52 ± 10                                      |

#### Indagine nazionale sull'esposizione alla radioattività naturale nelle abitazioni (1990-1991)

Nel 1990-1991, il Servizio di Fisica Sanitaria dell'Università degli Studi di Perugia, in qualità di Centro di Riferimento per la Radioattività Ambientale per la Regione Umbria, ha partecipato all'indagine nazionale sull'esposizione alla radioattività naturale nelle abitazioni promossa e coordinata dall'ENEA-DISP (oggi ISPRA) e dall'Istituto Superiore di Sanità.

Per la scelta del campione furono adottati i seguenti criteri statistici:

- 5000 famiglie (abitazioni) in tutto il territorio nazionale;
- suddivisione delle famiglie da campionare su 200 comuni;
- stratificazione dei comuni a livello regionale secondo due livelli di ampiezza demografica (maggiore e minore di 100.000 abitanti);
- inserimento dei comuni con più di 100.000 abitanti (50);
- estrazione casuale dei restanti 150 comuni, proporzionalmente al restante numero di ciascuna regione;
- stessa proporzione di campionamento delle abitazioni per tutti i comuni appartenenti allo stesso strato.

Per quanto riguarda l'Umbria, è stato estratto un campione di 73 famiglie suddivise in 4 comuni, di cui due con un numero di abitanti superiore a 100.000. In particolare, le misure sono state condotte nei comuni di Perugia, Terni, Attigliano e Bevagna. In considerazione della peculiarità geologica (basamento vulcanico) del suo territorio, già riscontrata nelle precedenti campagne, ai comuni selezionati a livello nazionale è stato aggiunto anche quello di Orvieto (tab. 2).

Le misure della concentrazione di radon in aria sono state effettuate con dosimetri a tracce nucleari per un periodo

totale di esposizione di un anno, suddiviso in due semestri. La valutazione del contributo alla dose efficace dovuta alla radiazione gamma e cosmica è stata effettuata con rivelatori termoluminescenti al fluoruro di litio, esposti per un semestre all'interno delle abitazioni.

Il valore medio regionale della concentrazione di radon è risultato basso (58 Bq/m<sup>3</sup>) e, comunque, inferiore alla concentrazione media nazionale, pari a circa 70 Bq/m<sup>3</sup> (fig.2). Per quanto riguarda la misura dell'intensità di dose assorbita, il valore medio regionale è risultato pari a 158 nGy/h. Ben più alta è risultata la con-

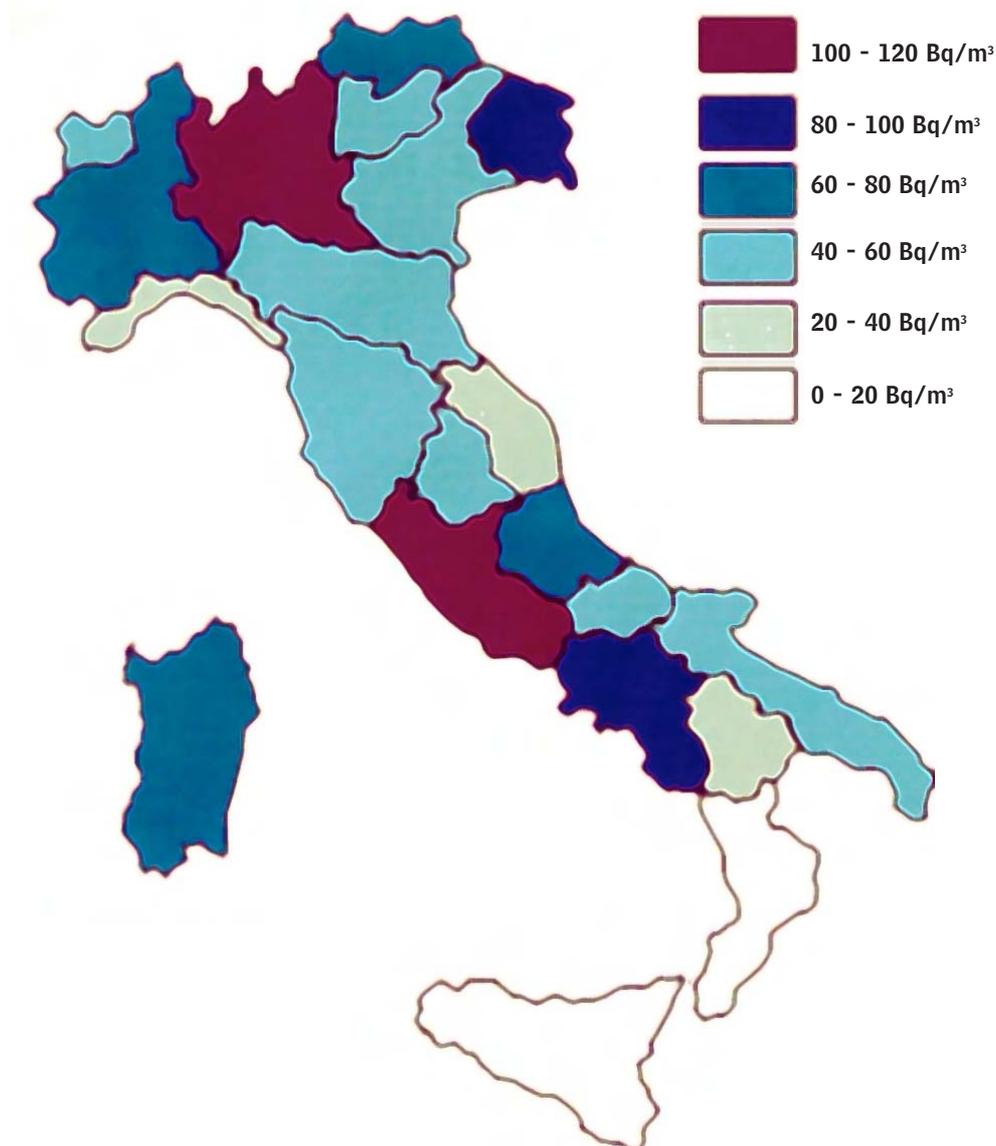


Fig.2 - Risultati dell'indagine nazionale sull'esposizione alla radioattività naturale sulle abitazioni

centrazione di radon nelle abitazioni del comune di Orvieto ( $134 \pm 40$  Bq/m<sup>3</sup>) e il valore dell'intensità di dose ( $364$  nGy/h), imputabile sia al contributo del materiale da costruzione, costituito prevalentemente da tufo, sia a quello derivante dal basamento geologico, ad elevato tenore di radionuclidi naturali.

Tab.2: Concentrazione media di radon in aria

| COMUNE     | Concentrazione di radon (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|------------|--|
| Perugia    | $28 \pm 8$                                   |
| Terni      | $55 \pm 16$                                  |
| Attigliano | $112 \pm 22$                                 |
| Bevagna    | $38 \pm 11$                                  |
| Orvieto    | $134 \pm 40$                                 |

#### Campagna di misura del radon indoor nel comune di S.Venanzo (1992-1994)

Nel 1992-1994 il Servizio di Fisica Sanitaria dell'Università degli Studi di Perugia, in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra, nell'ambito di studi interdisciplinari di tipo conoscitivo per la realizzazione del parco Vulcanico di San Venanzo, ha condotto nella zona una campagna di misura della concentrazione di radon indoor, oltre ad alcune misure di emanazione di radon dal suolo. Come nel caso di Orvieto, l'area considerata è di particolare interesse, trattandosi di una zona in cui affiorano rocce di origine vulcanica. Le abitazioni in cui sono state effettuate le misure sono state selezionate sulla base delle specifiche caratteristiche geologiche locali, della tipologia edilizia e dei materiali da costruzione. In particolare, è stato tenuto conto del fatto che le abitazioni, nel comune di S. Venanzo, sono distribuite sia su basamento vulcanico che su quello sedimentario, e che i materiali da costruzione utilizzati sono sia di natura tufacea che di altra origine (rocce calcaree, cemento, laterizi). Sono stati così individuati 77 edifici, distinti in edifici in tufo su basamento vulcanico, edifici in materiale non tufaceo su basamento vulcanico, edifici in tufo su basamento sedimentario, edifici in materiale non tufaceo su basamento sedimentario e cantine scavate su roccia vulcanica.

La concentrazione media di radon in aria calcolata sull'intero campione di edifici selezionato è risultata pari a  $120 \pm 24$  Bq/m<sup>3</sup> (tab.3).

Tab.3: Concentrazione media di radon in aria

| COMUNE      | Concentrazione di radon (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|-------------|--|
| San Venanzo | $120 \pm 24$                                 |

#### Misure di concentrazione di radon in aria in luoghi di lavoro sotterranei (2003-2005)

Nel biennio 2003-2005, nell'ambito di una Convenzione sottoscritta tra Università degli Studi di Perugia e Regione dell'Umbria, in ottemperanza a quanto previsto al capo III-bis, art. 10-bis comma 1 a) e art. 10-ter del D.Lgs 241/2000, il Servizio di Fisica Sanitaria dell'Università degli Studi di Perugia ha svolto misure di concentrazione di radon in aria in alcuni luoghi di lavoro sotterranei della regione. In particolare, sono stati sottoposti a misurazione tutti gli ambienti di lavoro sotterranei dell'Università degli Studi Perugia e delle relative sedi decentrate, della sede della Regione Umbria nonché delle ASL (tab.4).

Tab.4: Range di concentrazione media di radon in aria nei luoghi di lavoro

| Ente                              | Sede                        | Range di concentrazione di radon (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| Università degli Studi di Perugia | Perugia                     | 17-728  |
|                                   | Acquasparta<br>Palazzo Cesi | 20-43   |
| ASL Regione dell'Umbria           | ASL N.2                     | 15-530  |
|                                   | ASL N.4                     | 18-318  |
| Azienda Ospedaliera di Perugia    | Policlinico Montelucre      | 10-194  |
| Sede Regione dell'Umbria          | Consiglio Regionale         | 11-33   |

#### 1.3.4 Misure di radon in acqua nella regione Umbria

Le principali risorse idriche sotterranee dell'Umbria possono essere distinte in tre grandi famiglie o gruppi di acque:

- le acque provenienti dalla dorsale appenninica umbro-marchigiana, caratterizzate da acquiferi carbonatici ad elevata permeabilità per porosità secondaria, di composizione bicarbonato-calcica e residui fissi prossimi a 200 mg/l;
- le acque provenienti dalla dorsale interna dei Monti Martani, caratterizzate da acquiferi carbonatici e travertinosi, a media permeabilità per

porosità primaria, di composizione bicarbonato alcalino terrosa, effervescenti naturali e residui fissi, rispettivamente, prossimi a 500 mg/l e 1000 mg/l;

- le acque provenienti dal sistema dei Monti Vulsini, caratterizzate da acquiferi vulcanici (lave) di media o elevata permeabilità per porosità primaria e secondaria, di composizione bicarbonato-alcalina e residuo fisso prossimo a 200 mg/l.

Nel 2001-2002 è stata effettuata una campagna di misura di radon e trizio nelle acque minerali destinate all'imbottigliamento nella regione, anche in considerazione del fatto che l'Umbria, ogni anno, immette in commercio circa 1.100.000.000 di litri di acqua minerale, pari al 10% del fabbisogno nazionale. Per ogni stabilimento i campionamenti sono stati effettuati alla sorgente e, nel caso di utilizzo di più sorgenti, in ciascuna di esse e nell'eventuale polla di riunione (Fig 3). Al fine di confrontare la concentrazione di radon riscontrata alla sorgente con quella del prodotto imbottigliato destinato al consumo, sono stati inoltre

campionati, laddove possibile, anche i prodotti imbottigliati nello stesso giorno del prelievo. Tutte le misure sono state effettuate con uno scintillatore liquido a basso fondo.

I risultati ottenuti variano da un minimo di  $(1.0 \pm 0.2)$  Bq/l ad un massimo di  $(129.9 \pm 4.9)$  Bq/l e sono fortemente dipendenti dalle caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi interessati.

Dopo questa prima indagine, relativa alle acque destinate all'imbottigliamento, l'interesse si è spostato sullo studio delle acque potabili della rete idrica umbra. E' stata quindi organizzata e condotta una campagna di misure in collaborazione con Regione dell'Umbria (Assessorato all'Ambiente, Difesa del Suolo, Cave, Miniere, Acque Minerali), ATO 1 (Ambito Territoriale Ottimale) e Centro di Radiochimica Applicata dell'Università di Urbino "Carlo Bo". È stata scelta una serie di punti di prelievo significativi in relazione sia alla portata delle sorgenti che al numero totale di utenti serviti (fig.3).

Il valore massimo riscontrato per la concentrazione di radon in acqua negli acquiferi alluvionali e carbonatici è di

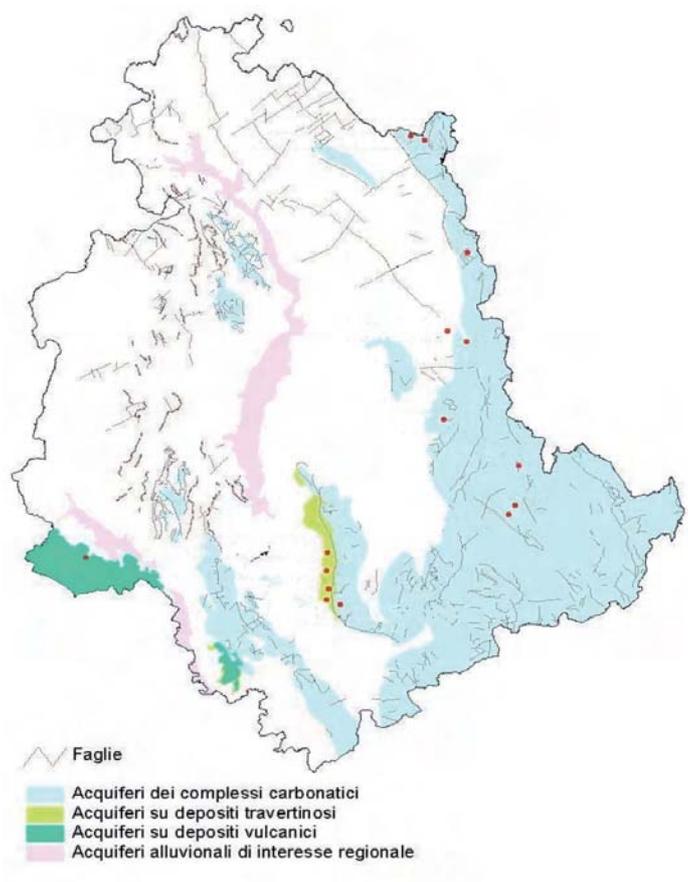


Fig.3 - Ubicazione degli sorgenti analizzate

( $32.4 \pm 2.0$ ) Bq/l, mentre valori più alti sono stati riscontrati in corrispondenza dell'acquifero vulcanico ( $69.3 \pm 0.2$ ) Bq/l.

#### 1.3.5 ANALISI DEI RISULTATI DEGLI STUDI SUL RADON IN UMBRIA

In definitiva, l'esame dei risultati sin qui ottenuti mostra che il problema del radon in aria in Umbria - come anche nelle altre regioni italiane - origina da due diverse componenti, rappresentate dal substrato geologico su cui poggiano gli edifici, ricco di elementi progenitori del radon, e dai materiali da costruzione impiegati per la loro realizzazione, anch'essi spesso contenenti elevati tenori di progenitori del radon. A differenza però di altre realtà nazionali, nel caso dell'Umbria è difficile scorporare il contributo dell'una

e dell'altra fonte, a causa della estrema variabilità delle caratteristiche costruttive delle abitazioni, che rendono ciascun caso una realtà a sé stante.

Quanto alla concentrazione di radon in acqua, come era logico attendersi, in Umbria i valori più elevati si riscontrano in corrispondenza degli acquiferi vulcanici a causa della composizione chimica delle rocce interessate, ricche di elementi progenitori del radon. In linea del tutto generale, va comunque anche tenuto in considerazione che la presenza di linee di frattura o faglie può favorire la risalita di fluidi geotermici ricchi di radon anche in quelle zone in cui il basamento geologico non è particolarmente ricco di radionuclidi progenitori del radon.

## 2. Il monitoraggio del radon nelle scuole

I risultati delle indagini condotte in Umbria dagli anni '80 in poi, avevano posto in evidenza come il territorio regionale non potesse dirsi immune dalla problematica radon, sia per l'esistenza di particolari aree geologiche ad elevata probabilità di alte concentrazioni (*radon prone areas*), sia per la diffusa abitudine negli anni '60-'80 di costruire nelle aree rurali edifici, sia pubblici che privati, utilizzando il tufo come materiale da costruzione e la pozzolana come malta legante o per la realizzazione di intonaci. All'indagine nazionale sulle abitazioni - condotta nei primi anni '90 - avevano fatto seguito, in diverse regioni d'Italia, una serie di studi volti alla determinazione della concentrazione di radon nelle scuole in quanto ambienti di vita nei quali i bambini, individui più radiosensibili e generalmente più vulnerabili agli inquinanti, trascorrono dalle 4 alle 8 ore al giorno per almeno 10 anni e per i quali gli organismi preposti raccomandano fortemente di condurre misurazioni.

In Umbria, l'assenza di dati disponibili riferibili ad edifici scolastici in aree a rischio radon, unitamente all'attesa per la non ancora - a tutt'oggi - istituita commissione tecnica per l'elaborazione dei criteri di individuazione delle *radon prone areas* regionali, aveva creato una situazione di stallo all'avvio della mappatura regionale.

E' in tale ottica che Arpa, seppur nell'ambito delle proprie limitate risorse, si è fatta promotrice della realizzazione di un'indagine conoscitiva regionale sulla concentrazione di attività di radon nelle scuole ed asili del territorio regionale.

### 2.1. GLI OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO

Il monitoraggio ha avuto i seguenti obiettivi:

- conoscere la concentrazione di radon *indoor* nel patrimonio edilizio scolastico regionale, in risposta alla sempre

più crescente attenzione posta dalle istituzioni a tale problematica.

- estendere la copertura regionale circa il numero complessivo di comuni sottoposti ad indagini sulla concentrazione di radon *indoor*, il tutto anche in relazione alla futura mappatura delle *radon prone areas*;
- studiare azioni di rimedio, verificandone la possibilità di realizzazione, anche relativamente al materiale da costruzione;
- costituire un utile riferimento per Regione e Amministrazioni comunali da utilizzare a sostegno di future normative derivanti da un eventuale recepimento della Racc. 90/143/Euratom del 21/02/90.

### 2.2. L'ORGANIZZAZIONE DEL MONITORAGGIO

L'assenza di una mappatura delle *prone areas* regionali, in grado di vincolare gli esercenti di asili nido e scuole materne e dell'obbligo (Comuni) all'esecuzione di misure di radon negli edifici, unitamente alle limitate risorse di Arpa, hanno portato alla stesura di un progetto di monitoraggio caratterizzato dall'adesione volontaria dei Comuni e dall'esecuzione di brevi periodi di misura nella stagione invernale, al fine di eseguire uno screening per l'emersione delle criticità a più vasta copertura territoriale.

Il progetto, elaborato nel giugno 2004 dalla Direzione Tecnica e dalla Sezione Fisica del Laboratorio di Arpa, ha avuto l'approvazione dell'Ufficio di Prevenzione e Sanità Pubblica della Direzione Regionale Sanità e Servizi Sociali, che ne ha curato il coordinamento. Al progetto e alla sua realizzazione ha inoltre collaborato il Servizio di Fisica Sanitaria dell'Università di Perugia, che ha fornito supporto tecnico scientifico ad Arpa e le Aziende Sanitarie Locali della regione.

Le attività del progetto sono state così ripartite:

- preparazione ed analisi dei questionari (Sezione Fisica e Direzione Tecnica di Arpa);
- individuazione del campione di indagine (Sezione Fisica e Direzione Tecnica di Arpa, Università degli Studi di Perugia);
- preparazione e lettura dei dosimetri esposti nel periodo invernale (Sezione Fisica di Arpa);
- compilazione della scheda tecnica dell'edificio con georeferenziazione del sito, posizionamento e ritiro dei dosimetri (Sezioni Territoriali di Arpa);
- taratura del sistema di misura e garanzia di qualità del dato (Sezione Fisica di Arpa, Università degli Studi di Perugia);
- analisi e divulgazione dei dati (Sezione Fisica e Direzione Tecnica di Arpa, Università degli Studi di Perugia);

Il primo step ha riguardato l'esecuzione del censimento del patrimonio edilizio scolastico, finalizzato alla realizzazione di un database contenente tutte le informazioni relative ad ogni singolo edificio, dal quale poter selezionare il campione di indagine. Il censimento è stato realizzato attraverso un breve questionario inviato ai sindaci dei comuni umbri nel quale, unitamente alla richiesta di partecipazione alla campagna di indagine, per ogni edificio sono state richieste informazioni sulla tipologia edilizia, il numero di piani della struttura, il numero e le relative superfici di aule e spazi di comune utilizzo, l'anno di costruzione e il materiale da costruzione prevalentemente utilizzato.

Il campione di indagine è stato quindi composto scegliendo un edificio per ogni località di ciascun Comune che aveva aderito al monitoraggio, privilegiando gli

edifici di più vecchia costruzione, quelli poggiati direttamente sul substrato e quelli dedicati ad alunni di più tenera età. Al campione sono stati poi aggiunti, proprio per l'emersione delle criticità, edifici caratterizzati dalla presenza di aule situate al piano terra e seminterrato, posti su aree geologiche con substrato di tipo vulcanico e realizzati in tufo.

Il monitoraggio ha inizialmente previsto una misura a breve termine, nel periodo invernale, in due aule situate al piano più basso dell'edificio. Al fine di valutare quanto i fattori di stagionalità e di occupazionalità incidessero sulla concentrazione media annua di un edificio scolastico, l'Università ha realizzato autonomamente nei territori delle Asl n.1,3 e 4 una campagna di misura a breve termine nel periodo estivo. Tale attività è stata svolta con il supporto del personale delle Asl competenti per territorio, in particolare per il posizionamento e il ritiro dei dosimetri.

La tecnica di misura adottata è stata la stessa della campagna realizzata a livello nazionale: monitori passivi a tracce nucleari (rivelatori LR115 Kodak su dosimetro tipo Apat) che integrano la misura sull'intero periodo di esposizione e consentono di valutare la concentrazione media temporale di radon. I dosimetri sono stati posizionati in coppia in ciascuna aula, in maniera tale che il valore di concentrazione risultasse dal valore medio di due misure. Per ogni edificio è stata inoltre compilata una scheda dettagliata contenente le caratteristiche costruttive dell'intero fabbricato, come pure quelle del locale di misura. Tutti gli edifici monitorati sono stati georeferenziati. Nel periodo invernale, in cinque aule sono stati posizionati sia dosimetri di Arpa che dell'Università per verificare la confrontabilità dei dati.

# 3. I monitoraggi

Il monitoraggio ha avuto avvio con la costituzione di un campione di indagine estratto dall'insieme degli edifici censiti a seguito della restituzione del questionario, cui hanno provveduto 22 Amministrazioni comunali per un totale di 207 edifici (tab.5).

L'intera attività di monitoraggio ha avuto inizio nel febbraio del 2005 ed è terminata nel gennaio del 2010, a completa verifica degli interventi di bonifica intrapresi.

Il monitoraggio del 2005, che ha avuto lo scopo di fornire una più ampia e rapida informazione possibile circa i livelli di concentrazione di radon negli edifici scolastici umbri, è stato caratterizzato da misure a breve termine condotte nel periodo invernale e, per un limitato numero di edifici, anche da misure nel periodo estivo. I risultati della prima campagna di indagine sono stati oggetto di valutazione da parte di tutti gli organi coinvolti. Con Del.Reg.n.169/2006, l'Ufficio di Prevenzione e Sanità Pubblica della Direzione Regionale Sanità e Servizi Sociali ha deliberato l'esecuzione di un

nuovo monitoraggio (aprile 2006-aprile 2007) basato sulla misura annuale della concentrazione di radon in tutti i locali di tutti gli edifici che avevano mostrato valori di concentrazione superiori a 400 Bq/m<sup>3</sup> e in tutte le scuole, precedentemente non monitorate, appartenenti ai comuni in cui si erano verificati superamenti. Sulla base dei risultati di tali misurazioni sono stati individuati gli edifici che presentavano la necessità di azioni di rimedio. Nell'ottobre del 2007, in concomitanza con la riapertura delle scuole, è stato dato avvio all'ultima fase di monitoraggio che, in quanto finalizzata alla verifica delle azioni di rimedio intraprese, ha avuto tempi di esecuzione specifici per ciascun edificio monitorato e dilatati relativamente ai tempi di inizio dei lavori di bonifica.

## 3.1. LA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO DEL 2005

L'indagine effettuata nel 2005 ha dunque interessato 92 edifici (per un totale di 189 aule) distribuiti in 85 località del territorio regionale, (fig.4) suddivisi in relazione alle Asl di competenza (tab.6).

Tab.5 - Tipologia delle scuole dei Comuni aderenti all'indagine

| Asili Nido | Scuole dell' Infanzia | Scuole Primarie | Scuole Secondarie 1°grado | Scuole Secondarie 2°grado |
|------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| 17         | 74                    | 74              | 41                        | 1 <sup>3</sup>            |

Tab.6 - Distribuzione del campione di indagine relativamente alla ASL di appartenenza

| ASL | Asili Nido | Scuole dell' Infanzia | Scuole Primarie | Scuole Secondarie 1°grado | Scuole Secondarie 2°grado | Scuole (totale) |
|-----|------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|
| 1   | -          | 5                     | 5               | -                         | -                         | 10              |
| 2   | 6          | 29                    | 14              | 3                         | 1*                        | 53              |
| 3   | 1          | 6                     | 2               | -                         | -                         | 9               |
| 4   | 2          | 10                    | 8               | -                         | -                         | 20              |

\* Partecipazione volontaria della scuola al monitoraggio a seguito di un' attività progettuale inserita nella programmazione didattica: " Il nucleo atomico: energia ed altro"

Fig.4 - Mappa degli edifici monitorati nella campagna di misura del 2005



Il monitoraggio effettuato nel periodo invernale è stato condotto da febbraio a maggio 2005, mentre quello effettuato nel periodo estivo è stato condotto da giugno a settembre dello stesso anno.

Il recupero dei dosimetri posizionati nel periodo invernale è stato del 100% mentre quello del periodo estivo è stato del 95.3%. I dosimetri persi sono relativi ad un'aula della scuola elementare di Orvieto - P.zza Marconi, ad una della scuola di quella dell'infanzia di Castel Viscardo e ad entrambe le aule della scuola primaria di Castel Viscardo.

### 3.1.1. I risultati della campagna di monitoraggio del 2005

I risultati del monitoraggio eseguito nel 2005 hanno evidenziato:

- nel periodo invernale: su 188 aule monitorate, 7 (3.8%) hanno riportato valori di concentrazione di attività di

radon superiori a  $400 \text{ Bq/m}^3$ , valore di riferimento indicato dalla normativa al superamento del quale occorre ripetere la misurazione nell'anno successivo; i superamenti hanno registrato valori di concentrazione compresi tra 431 e  $1465 \text{ Bq/m}^3$ .

- nel periodo estivo: su 85 aule monitorate, 10 (11.8%) hanno riportato valori di concentrazione superiori a  $400 \text{ Bq/m}^3$ ; i superamenti hanno registrato valori di concentrazione compresi tra 405 e  $1121 \text{ Bq/m}^3$ . I superamenti riscontrati hanno riguardato unicamente scuole appartenenti alle Asl n.3 e 4, quest'ultima nota per l'elevata presenza di substrati lavici e tufacei. L'analisi dettagliata dei risultati dello screening ha inoltre evidenziato come la tipologia costruttiva e il materiale da costruzione impiegato possano significativamente influenza-

re il valore finale di concentrazione di radon: l'utilizzo di cemento e la creazione di un vespaio ventilato sono di fatto in grado di portare la concentrazione di questo gas a valori ampiamente "rassicuranti" anche in zone geologicamente a rischio. Un altro importante elemento è rappresentato dal fattore occupazionale del locale oggetto di misura: valori di concentrazione diversi in locali appartenenti allo stesso edificio indicano come il maggior utilizzo di un locale comporti un valore di concentrazione più basso rispetto ad uno poco utilizzato e come il fattore stagionalità, in un edificio scolastico, comporti un'inversione di tendenza rispetto ad una normale abitazione<sup>2</sup>, a seconda che al fatto che la struttura venga o meno utilizzata nel periodo estivo. L'aumento di superamenti del valore dei 400 Bq/m<sup>3</sup> nel periodo estivo, sebbene con valori massimi di concentrazione inferiori rispetto a quelli registrati nel periodo invernale, evidenzia come il fattore occupazionale del periodo estivo incida in maniera consistente sul valore di concentrazio-

ne media annua e come la misurazione di un edificio chiuso nel periodo estivo sia di enorme importanza nel far emergere situazioni potenzialmente a rischio altrimenti non rilevabili.

I risultati del monitoraggio a breve periodo sono illustrati di seguito in due grafici (figg. 5 e 6) relativi ai due periodi di misurazione e in una tabella (tab.7) riepilogativa di tutti i valori di concentrazione dei locali monitorati riferiti alla scuola di appartenenza.

I valori di concentrazione misurati sono stati inoltre suddivisi in intervalli di frequenza per valutarne la distribuzione. Nel periodo invernale, l'intervallo con la maggiore frequenza di distribuzione è risultato quello compreso tra 0-50 Bq/m<sup>3</sup> (49.2% dei locali monitorati), seguito dall'intervallo 50-100 Bq/m<sup>3</sup> (29.4% dei locali). Assumendo il valore medio invernale come valore medio annuale, per la Raccomandazione 143/90 EURATOM, l'88.2% del campione ricadrebbe al di sotto del valore massimo previsto per le nuove abitazioni mentre il 96.3% ricadrebbe al di sotto di quello previsto per le abitazioni già esistenti.

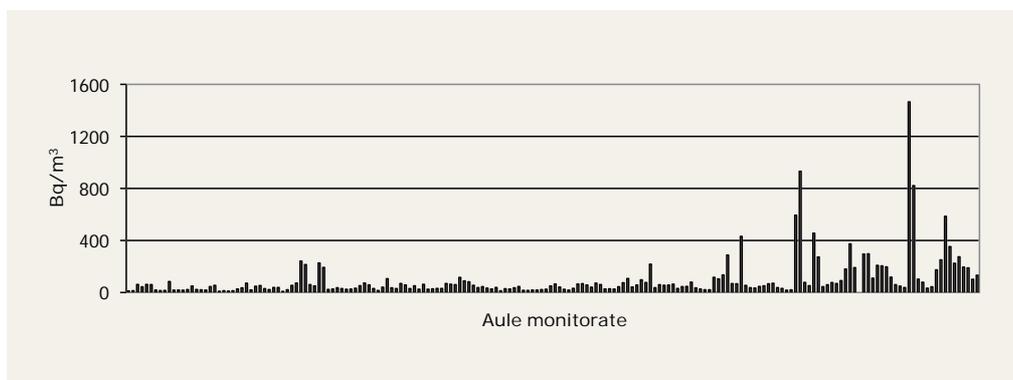


Fig.5 - Monitoraggio effettuato nell'inverno del 2005

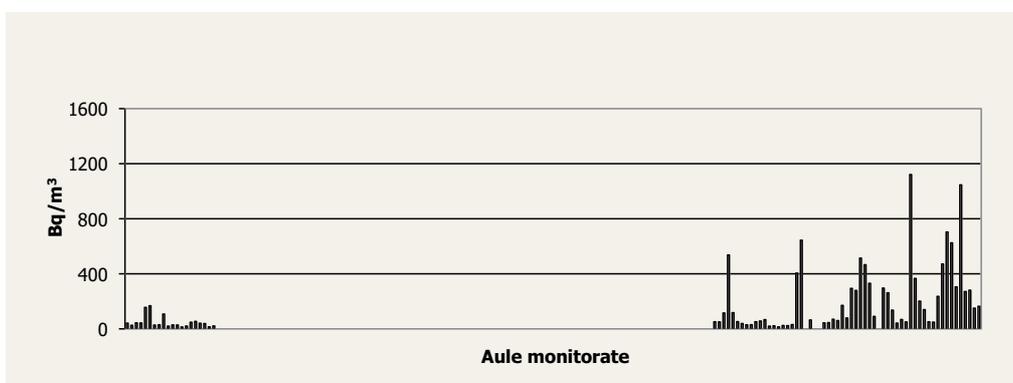


Fig.6 - Monitoraggio effettuato nell'estate del 2005

<sup>2</sup> Generalmente, nel periodo estivo si riscontrano nelle abitazioni valori di concentrazione di radon inferiori al periodo invernale, in conseguenza di una maggior areazione dei locali.

Tab.7 - Tabella risultati dei monitoraggi effettuati nel 2005

|                               |                             | Concentrazione di attività (Bq/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |                |      |     |     |
|-------------------------------|-----------------------------|---|-----|-----|-----|----------------|------|-----|-----|
| Località                      | Indirizzo                   | Periodo invernale                               |     |     |     | Periodo estivo |      |     |     |
|                               |                             | Aula  |     |     |     |                |      |     |     |
|                               |                             | n.1   | n.2 | n.3 | n.4 | n.1            | n.2  | n.3 | n.4 |
| Agello                        | Via dei Musicanti           | 9   | 14  |     |     |                |      |     |     |
| Ammeto                        | Via M. Ferri                | 28  | 31  |     |     |                |      |     |     |
| Arrone                        | Via Pie' d'Arrone           | 33  | 44  |     |     | 51             | 49   |     |     |
| Assisi                        | Via S.Benedetto             | 63  | 25  |     |     |                |      |     |     |
| Bastia                        | Via XXV aprile              | 31  | 69  |     |     |                |      |     |     |
| Bastiola                      | P.zza Bastiola              | 64  | 60  |     |     |                |      |     |     |
| Bevagna                       | P.zza del Cuore             | 116   | 104 |     |     | 51             | 50   |     |     |
| Brufa                         | Via del Colle               | 11  | 13  |     |     |                |      |     |     |
| Calzolaro                     | P.zza Partigiani            | 12  | 14  |     |     | 41             | 26   |     |     |
| Campello                      | P.zza Maria                 | 135   | 288 |     |     | 115            | 537  |     |     |
| Canonica                      | ---                         | 594   | 932 |     |     | 405            | 644  |     |     |
| Cantalupo                     | ---                         | 68  | 67  |     |     | 118            | 52   |     |     |
| Casalina                      | Via del Risorgimento        | 116   | 89  |     |     |                |      |     |     |
| Casenuove                     | Via Pascoli                 | 27  | 36  |     |     |                |      |     |     |
| Castel dell'Aquila            | Via Garibaldi               | 174   | 251 |     |     | 236            | 471  |     |     |
| Castel Viscardo primaria      | Via del Boschetto           | 456   | 273 |     |     |                |      |     |     |
| Castel Viscardo dell'infanzia | Via delle Regioni           | 77  | 52  |     |     |                | 65   |     |     |
| Castello delle Forme          | Via Circonvallazione        | 82  | 55  |     |     |                |      |     |     |
| Castiglione della Valle       | Via Consorziale             | 38  | 45  |     |     |                |      |     |     |
| Cerqueto                      | Via XXIV maggio             | 34  | 27  |     |     |                |      |     |     |
| Cerreto                       | Via Alighieri               | 431   | 54  |     |     | 39             | 30   |     |     |
| Chiugiana                     | Via Fratelli Cervi          | 72  | 20  |     |     |                |      |     |     |
| Ciconia                       | Via Ginepri                 | 44  | 59  |     |     | 44             | 45   |     |     |
| Ciconia                       | Via Ortensie                | 76  | 69  |     |     | 70             | 60   |     |     |
| Cipresso                      | ---                         | 39  | 13  |     |     |                |      |     |     |
| Città della Pieve             | P.zza S. Agostino           | 48  | 53  |     |     |                |      |     |     |
| Compignano                    | Via Matteotti               | 29  | 27  |     |     |                |      |     |     |
| Corciano                      | Via del Serraglio           | 30  | 22  |     |     |                |      |     |     |
| Costacciaro                   | P.zza Garibaldi             | 62  | 44  |     |     | 44             | 43   |     |     |
| Costano                       | Via Parco della Rimembranza | 36  | 46  |     |     |                |      |     |     |
| Deruta                        | Via De Gasperi              | 17  | 16  |     |     |                |      |     |     |
| Giove                         | Via Roma                    | 586   | 353 |     |     | 704            | 625  |     |     |
| Guardea                       | Via del Giuoco              | 224   | 274 |     |     | 305            | 1046 |     |     |
| Lisciano Niccone              | Via Unità d'Italia          | 62  | 61  |     |     | 156            | 168  |     |     |
| Madonna della Stella          | ---                         | 37  | 34  |     |     | 30             | 51   |     |     |
| Magione                       | V.le Risorgimento           | 38  | 38  |     |     |                |      |     |     |
| Mantignana                    | Via Michelangelo            | 8   | 21  |     |     |                |      |     |     |
| Marsciano                     | Via Orvietana               | 19  | 19  |     |     |                |      |     |     |
| Moiano                        | Via Resistenza              | 54  | 73  |     |     |                |      |     |     |
| Montecastelli                 | Via della Gioventù          | 18  | 14  |     |     | 27             | 30   |     |     |
| Montecastrilli                | Via G. Verdi                | 195   | 189 |     |     | 271            | 281  |     |     |
| Montecchio                    | Via C. Battisti             | 91  | 180 |     |     | 170            | 79   |     |     |
| Montefalco                    | Via Foscolo                 | 46  | 51  |     |     | 57             | 67   |     |     |
| Niccone                       | S.R.416 del Niccone         | 16  | 84  |     |     | 107            | 20   |     |     |
| Norcia                        | V.le dell'Ospedale          | 67  | 71  |     |     | 19             | 22   |     |     |
| Orvieto                       | Via dei Dolci               | 374   | 191 |     |     | 294            | 279  | 514 |     |
| Orvieto                       | P.zza Marconi               | 110   | 208 |     |     | 90             |      |     |     |

Tab.7 - Tabella risultati dei monitoraggi effettuati nel 2005

|                                   |                                  | Concentrazione di attività (Bq/m³) |     |     |     |                |     |     |     |
|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|-----|
| Località                          | Indirizzo                        | Periodo invernale                  |     |     |     | Periodo estivo |     |     |     |
|                                   |                                  | Aula                               |     |     |     | n.1            | n.2 | n.3 | n.4 |
|                                   |                                  | n.1                                | n.2 | n.3 | n.4 |                |     |     |     |
| Orvieto                           | Via Nebbia                       | 296                                | 297 |     |     | 466            | 331 |     |     |
| Orvieto                           | Via Monte Terminillo             | 205                                | 197 |     |     | 296            | 262 |     |     |
| Ospedalicchio                     | Via Scialba                      | 22                                 | 25  |     |     |                |     |     |     |
| Palazzo                           | Viale Michelangelo               | 50                                 | 65  |     |     |                |     |     |     |
| Panicale                          | Via Belvedere                    | 242                                | 214 |     |     |                |     |     |     |
| Papiano                           | P.zza Veneto                     | 42                                 | 24  |     |     |                |     |     |     |
| Perugia                           | Via Pievaiola                    | 30                                 | 51  | 25  |     |                |     |     |     |
| Petrignano                        | Via Morlacchi                    | 18                                 | 32  |     |     |                |     |     |     |
| Pierantonio                       | Via Di Vittorio                  | 18                                 | 19  |     |     | 29             | 28  |     |     |
| Pietralunga                       | Via Fra' Lodovico da Pietralunga | 18                                 | 22  |     |     | 14             | 20  |     |     |
| Po' Bandino                       | Via Sardegna                     | 61                                 | 51  |     |     |                |     |     |     |
| Pontenuovo                        | Via Francescana                  | 65                                 | 68  |     |     |                |     |     |     |
| Ponticelli                        | Via della Chiesa                 | 227                                | 193 |     |     |                |     |     |     |
| Quadrelli                         | Via Casa Le Monache              | 101                                | 132 |     |     | 150            | 164 |     |     |
| Ripalvella                        | ---                              | 58                                 | 41  |     |     |                |     |     |     |
| Rivotorto                         | Via Liverani                     | 72                                 | 61  |     |     |                |     |     |     |
| San Biagio della Valle            | Via IV novembre                  | 27                                 | 28  |     |     |                |     |     |     |
| San Nicolò                        | Via G. Carducci                  | 97                                 | 76  |     |     |                |     |     |     |
| San Valentino della Collina       | Via XXIV maggio                  | 26                                 | 44  |     |     |                |     |     |     |
| Sant' Anatolia di Narco           | Via Aldo Moro                    | 38                                 | 31  |     |     | 14             | 24  |     |     |
| Sant' Angelo di Celle             | Via Dante Alighieri              | 75                                 | 107 |     |     |                |     |     |     |
| Santa Maria degli Angeli          | Via Diaz                         | 43                                 | 58  |     |     |                |     |     |     |
| San Feliciano                     | Via Giolitti                     | 23                                 | 27  |     |     |                |     |     |     |
| San Lorenzo                       | Via Atene                        | 217                                | 37  |     |     |                |     |     |     |
| San Mariano                       | Via Fiorini                      | 37                                 | 30  |     |     |                |     |     |     |
| San Venanzo                       | Via Gorizia                      | 57                                 | 64  |     |     |                |     |     |     |
| San Venanzo                       | P.zza Alighieri                  | 60                                 | 55  |     |     |                |     |     |     |
| Sant'Arcangelo                    | Via della Sapienza               | 24                                 | 26  |     |     |                |     |     |     |
| Schiavo                           | Via D'Azeglio                    | 31                                 | 45  |     |     |                |     |     |     |
| Sferracavallo                     | Via Adige                        | 118                                | 60  |     |     | 136            | 42  |     |     |
| Sferracavallo                     | Via Tevere                       | 49                                 | 38  |     |     | 68             | 50  |     |     |
| Spina                             | Via Ceci                         | 47                                 | 79  |     |     |                |     |     |     |
| Sugano                            | Via della Chiesa                 | 1465                               | 821 |     |     | 1121           | 366 |     |     |
| Tavernelle                        | Via Garibaldi                    | 32                                 | 52  |     |     |                |     |     |     |
| Tavernelle dell' infanzia         | Via Picasso                      | 72                                 | 59  |     |     |                |     |     |     |
| Tavernelle secondaria di 1° grado | Via Picasso                      | 30                                 | 15  | 40  | 106 |                |     |     |     |
| Tenaglie                          | Via Prato Giardino               |                                    | 79  |     |     | 201            | 140 |     |     |
| Torchiagina                       | ---                              |                                    | 27  |     |     |                |     |     |     |
| Tordandrea                        | Via S. Angelo                    |                                    | 21  |     |     |                |     |     |     |
| Torgiano                          | Via Tiradossi                    |                                    | 30  |     |     |                |     |     |     |
| Umbertide                         | Via Garibaldi                    |                                    | 23  |     |     | 48             | 54  |     |     |
| Valtopina                         | Via Tolmino                      |                                    | 20  |     |     | 23             | 31  |     |     |
| Verna                             | Strada Prov.le 140 di Banchetti  |                                    | 19  |     |     | 41             | 38  |     |     |
| Villa Col dei Canali              | Via Flaminia                     |                                    | 55  |     |     | 15             | 21  |     |     |
| Villa-Soccorso                    | Case Sparse                      |                                    | 58  |     |     |                |     |     |     |

Negli edifici presso i quali è stato eseguito il monitoraggio invernale ed estivo, la frequenza relativa all'intervallo di concentrazione 0-50 Bq/m<sup>3</sup>, è risultata percentualmente più elevata nel periodo estivo (39.5%) che in quello invernale (33.3%); tendenza invertita se si considera l'intervallo 0-200 Bq/m<sup>3</sup>, dove il periodo invernale mostra un popolamento del 76.9% rispetto al 72.4% del periodo estivo.

Le figg. 7, 8 e 9 illustrano la frequenza per intervalli di distribuzione. La tab.8 riporta i valori medi, minimi e massimi di concentrazione di attività di radon suddivisi tra le Asl di competenza: come è possibile notare, i superamenti del valore di 400 Bq/m<sup>3</sup> riguardano unicamente il territorio della Asl n.4 a causa della presenza, nel territorio, di aree geologiche strettamente correlate alla emanazione di radon. I superamenti riscontrati nel territorio della

Fig.7 - Frequenza di distribuzione per intervalli di concentrazione di attività di radon delle aule monitorate nel periodo invernale

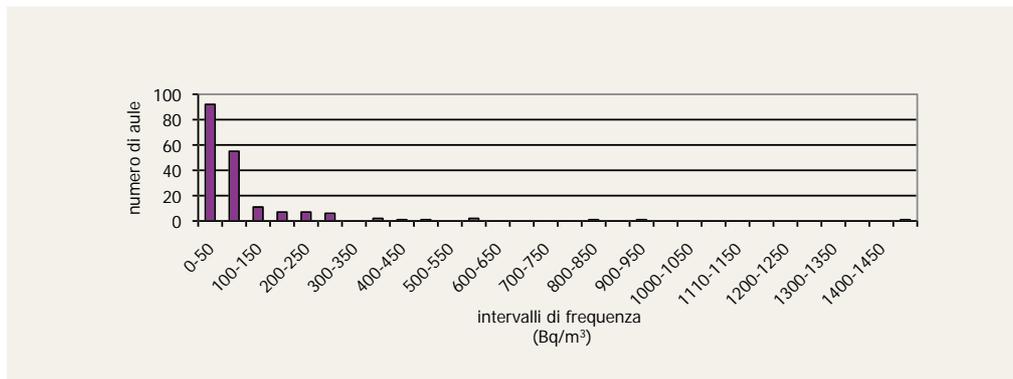


Fig.8 - Frequenza di distribuzione per intervalli di concentrazione di attività di radon delle aule monitorate nel periodo estivo

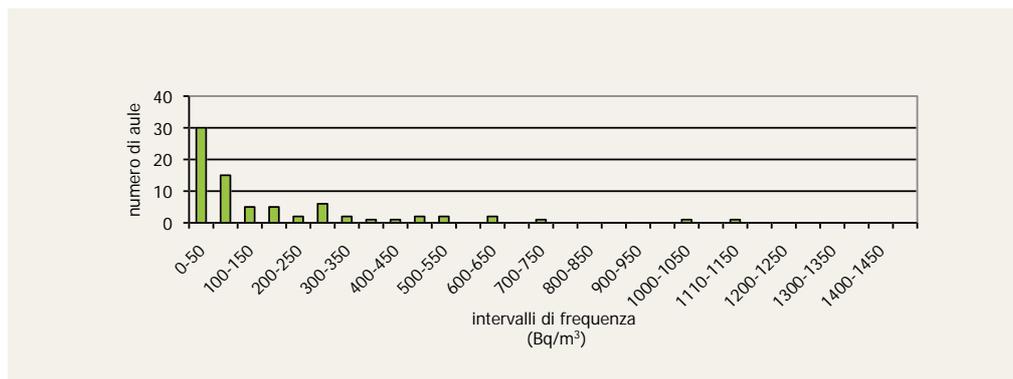
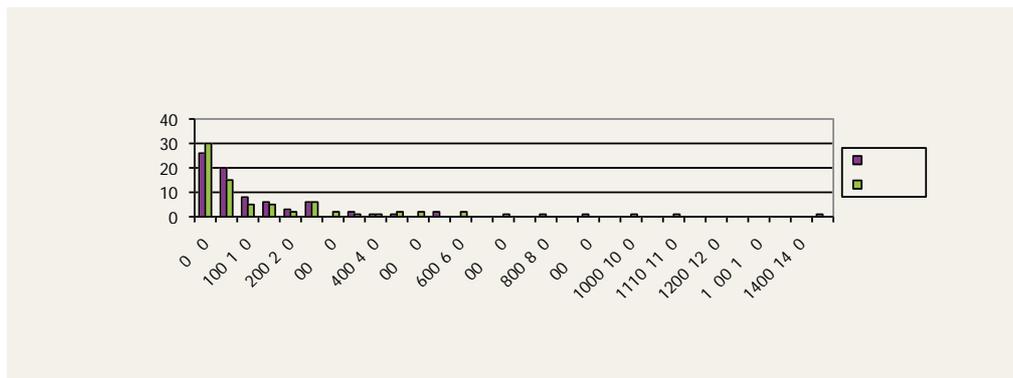


Fig.9 - Frequenza di distribuzione per intervalli di concentrazione di attività di radon delle aule monitorate sia nel periodo invernale che in quello estivo



Tab.8 - Valori di concentrazione di attività di radon minimi, medi e massimi delle aule monitorate

|         | Concentrazione di attività di radon (Bq/m <sup>3</sup> ) |     |     |         |     |     |         |     |                  |         |     |      |
|---------|--|-----|-----|---------|-----|-----|---------|-----|------------------|---------|-----|------|
|         | ASL n.1  |     |     | ASL n.2 |     |     | ASL n.3 |     |                  | ASL n.4 |     |      |
|         | media  | min | max | media   | min | max | media   | min | max              | media   | min | max  |
| Inverno | 34   | 12  | 84  | 51      | 8   | 242 | 93      | 17  | 431 <sup>2</sup> | 252     | 33  | 1465 |
| Estate  | 48   | 14  | 168 | -       | -   | -   | 74      | 14  | 537              | 286     | 42  | 1121 |

Asl n.3 sono relativi ad un locale posto nel seminterrato, prevalentemente chiuso in quanto non adibito ad aula didattica, mentre di dubbia validità è il dato del periodo invernale della scuola di Cerreto, poiché non confermato da misurazioni condotte successivamente. Il dettaglio è illustrato nei

grafici sottostanti (figg. 10,11,12,13) dove, per ogni locale in cui è stata effettuata la misurazione, vengono messi direttamente a confronto i valori di concentrazione di radon estivi e invernali. Per la Asl n.2 non sono disponibili valori di concentrazione riferiti al periodo estivo.

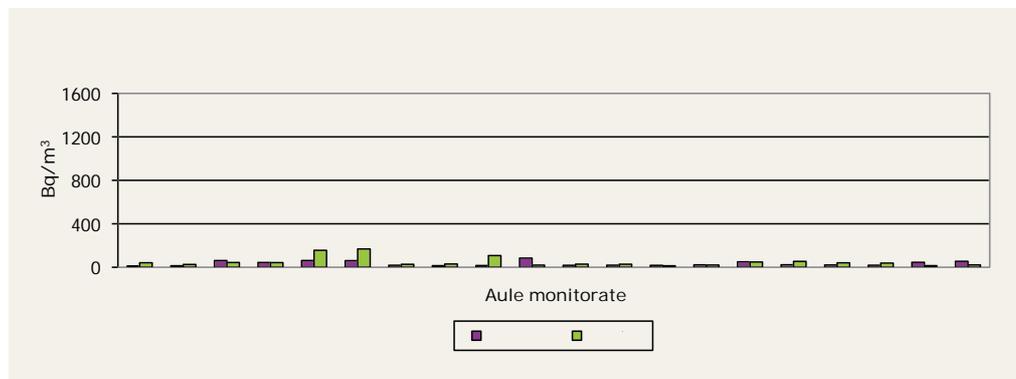


Fig.10 - Valori di concentrazione di attività di radon relativi al territorio di competenza della Asl n.1

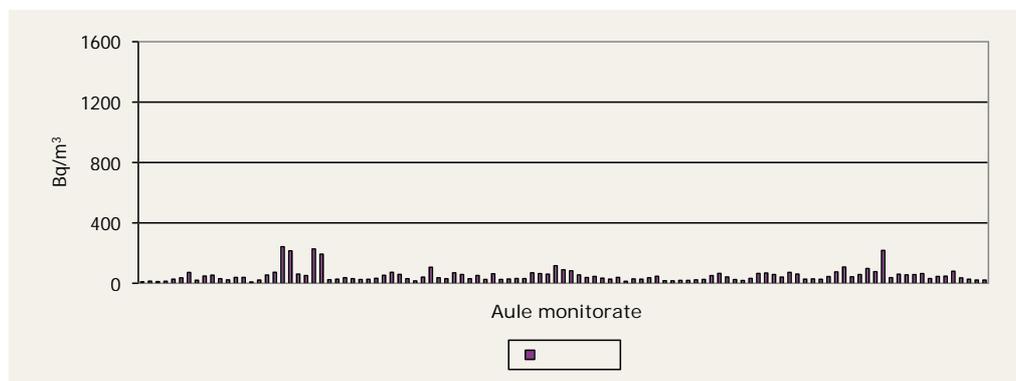


Fig.11 - Valori di concentrazione di attività di radon relativi al territorio di competenza della Asl n.2

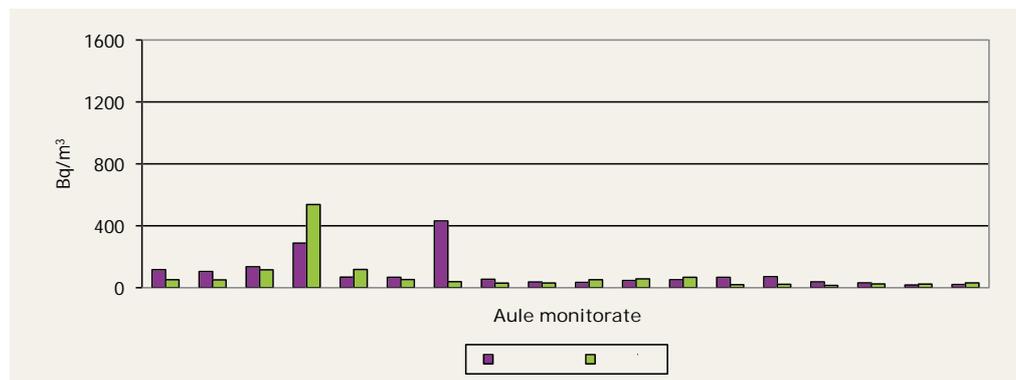


Fig.12 - Valori di concentrazione di attività di radon relativi al territorio di competenza della Asl n.3

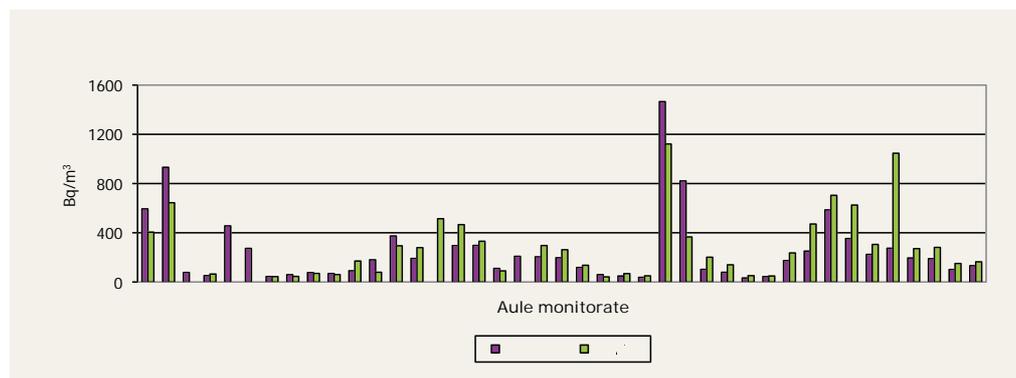


Fig.13 - Valori di concentrazione di attività di radon relativi al territorio di competenza della Asl n.4

Un'ulteriore valutazione dei risultati ottenuti dal monitoraggio a breve termine ha consentito di porre in relazione i superamenti del livello di riferimento di 400 Bq/m<sup>3</sup> con le caratteristiche costruttive e geologiche dei siti nei quali insistono gli edifici monitorati (figg.14,15,16,17).

L'attività svolta ha permesso di scorporare dal gruppo di partenza l'89.1% degli edifici monitorati, perché con valori di concentrazione ben al di sotto del valore di 400 Bq/m<sup>3</sup>, e di incentrare il successivo monitoraggio sull'individuazione puntuale e capillare delle criticità attraverso

Fig.14 - Superamenti del valore di concentrazione di attività di 400 Bq/m<sup>3</sup> relativamente ai materiali da costruzione

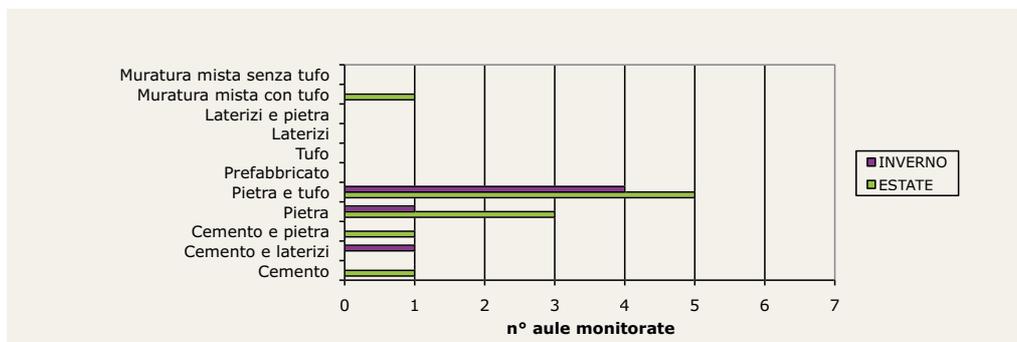


Fig.15 - Superamenti del valore di concentrazione di attività di 400 Bq/m<sup>3</sup> relativamente al piano dell'aula monitorata

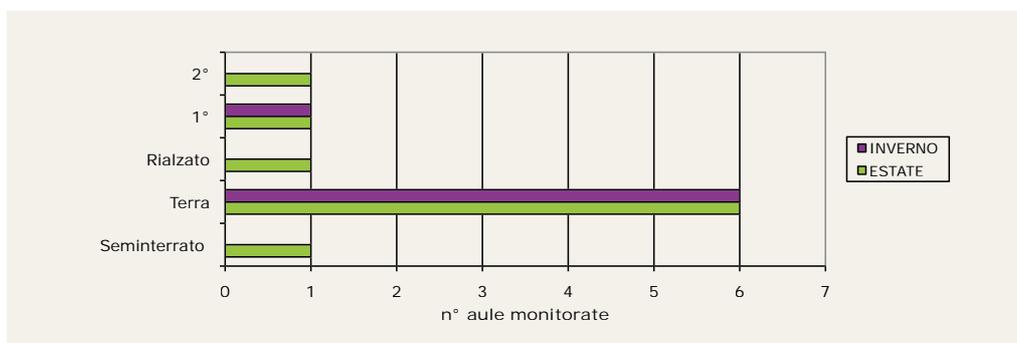


Fig.16 - Superamenti del valore di concentrazione di attività di 400 Bq/m<sup>3</sup> relativamente alla posizione dell'aula monitorata

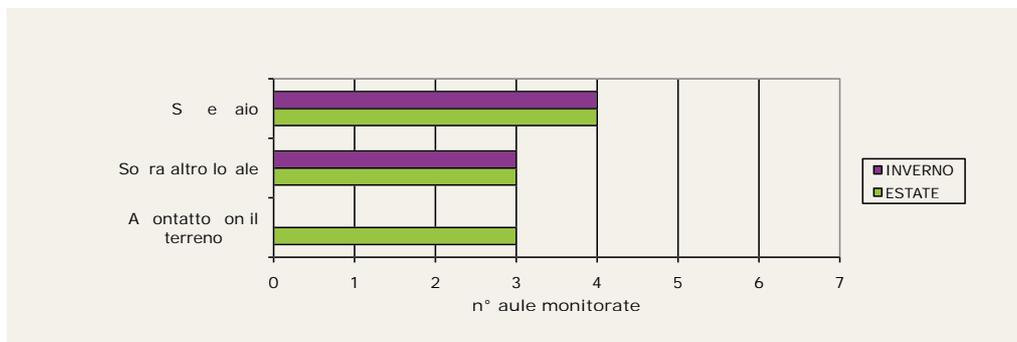
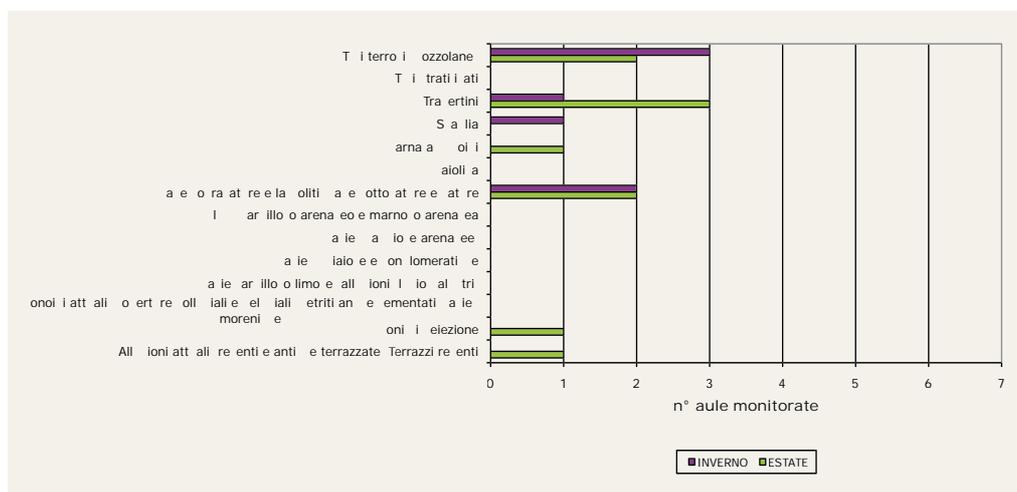


Fig.17 - Superamenti del valore di concentrazione di attività di 400 Bq/m<sup>3</sup> relativamente al substrato geologico



la determinazione della concentrazione media annuale di radon in:

- tutti i locali degli edifici nei quali era stato verificato il superamento dei 400 Bq/m<sup>3</sup> in almeno un locale;
- due locali di tutti gli edifici scolastici ubicati nei comuni in cui è stato registrato un superamento;
- due locali per ogni edificio appartenente a quei comuni che hanno aderito in un secondo momento all'indagine.

### 3.2. LA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO DEL 2006-2007

Il monitoraggio eseguito con misure a breve termine ha chiaramente posto in evidenza come per il 10.9% degli edifici fosse necessario eseguire misurazioni integrate per un anno, al fine di conoscere l'effettiva concentrazione di attività di radon. Il monitoraggio 2006-2007 è

pertanto stato approntato con le seguenti modalità di esecuzione:

- misurazioni in tutti i locali (aule e spazi comuni) delle scuole in cui si era verificato un superamento di 400 Bq/m<sup>3</sup> in almeno un locale;
- misurazioni in due aule di ciascuna delle scuole non precedentemente monitorate, ma situate nei comuni in cui era stato registrato un superamento di 400 Bq/m<sup>3</sup> in almeno un locale;
- misurazioni in tutte le aule situate nei seminterrati degli edifici, in ottemperanza a quanto previsto dalle linee guida vincolanti per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei (B.U.R. 28 gennaio 2003) e del conseguente "obbligo di legge" per i lavoratori (Capo III-bis del D. Lgs. 230/95);
- misurazioni in due aule per ogni scuola dei comuni che avevano aderito in un secondo momento all'indagine e in una scuola di una località non ricompresa nell'indagine 2005.

La fig.18 illustra la distribuzione territoriale degli edifici monitorati nel corso della campagna di misura effettuata nel biennio 2006-2007.

Per valutare quanto il fattore occupazionale estivo della scuola potesse incidere sulla concentrazione media annua di radon, le misurazioni sono state condotte con tempi di esposizione commisurati



Fig.18 - Edifici monitorati nelle campagne 2005 e 2006-2007

all'attività didattica di ogni tipologia scolastica, secondo il seguente schema:

- 1° misura: febbraio 2006 – fine attività didattica anno scolastico 2005/2006;
- 2° misura: fine attività didattica anno scolastico 2005/2006 – inizio attività didattica anno 2006/2007;
- 3° misura: inizio attività didattica anno scolastico 2006/2007 – febbraio 2007; nelle scuole in cui i risultati dei primi due periodi abbiano mostrato valori di concentrazione superiori a 100 Bq/m<sup>3</sup>, per ovviare a problemi di saturazione dei dosimetri, tale periodo di misura è stato suddiviso in due periodi di tre mesi di esposizione.

Negli edifici in cui era stato registrato il superamento di 400 Bq/m<sup>3</sup> sia nel periodo invernale che in quello estivo, è stata inoltre prevista l'esecuzione di sopralluoghi volti all'individuazione delle vie di ingresso del radon negli edifici. Tali indagini, effettuate unitamente al personale degli Uffici Tecnici comunali, sono state integrate con misurazioni istantanee di gas radon eseguite da Arpa, nonché da misure di esalazione del radon dal suolo e di spettrometria gamma nei materiali da costruzione, eseguite dall'Università degli Studi di Perugia.

Il campione di indagine ha riguardato 35 scuole, per un totale di 29 edifici e 119 locali. Il monitoraggio ha avuto avvio nell'aprile 2006 per concludersi

nell'aprile 2007, con un recupero del 95.2% dei dosimetri posizionati.

### 3.2.1. I risultati della campagna di monitoraggio del 2006-2007

Il monitoraggio effettuato da aprile 2006 ad aprile 2007 ha evidenziato:

- 7 scuole con alcuni o tutti i locali interessati da valori di concentrazione medi annui di radon superiori a 500 Bq/m<sup>3</sup> e, pertanto, con l'obbligo di attuare azioni di rimedio;
- nessuna scuola con valori di concentrazione medi annui di radon compresi tra 400 e 500 Bq/m<sup>3</sup> e, quindi, con l'obbligo di ripetere le misurazioni;

Dei 109 locali monitorati:

- 16 hanno presentato valori di concentrazione medi annui di radon superiori a 500 Bq/m<sup>3</sup>;
- 5 hanno presentato valori di concentrazione medi annui di radon superiori a 400 Bq/m<sup>3</sup>;
- 58 hanno presentato singoli superamenti del valore di 500 Bq/m<sup>3</sup>;
- 20 hanno presentato singoli superamenti del valore di 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Le figg. 19,20,21,22,23 riportano i valori medi, stagionali e annuali, di concentrazione di attività dei singoli locali monitorati relativamente alle Asl di competenza; l'insieme dei dati è riepilogato in tab.9.

Fig.19 - Valori di concentrazione di attività di radon relativi al territorio di competenza della Asl n.1

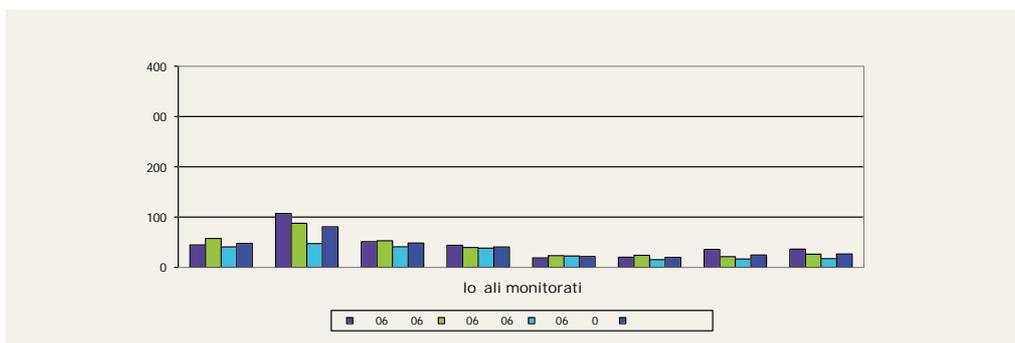
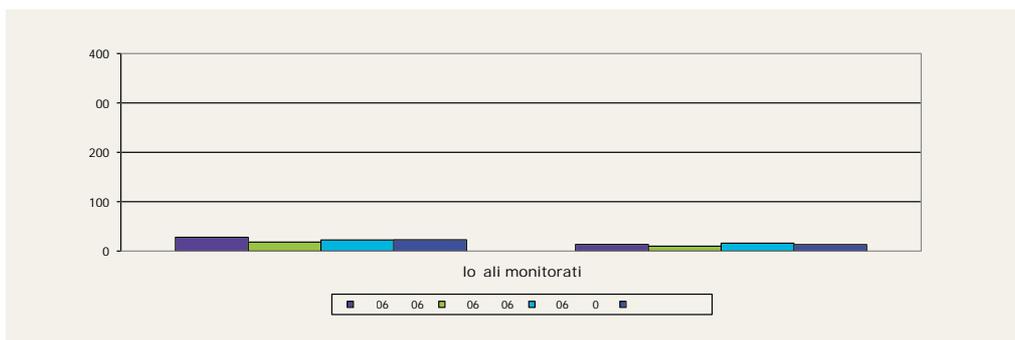


Fig.20 - Valori di concentrazione di attività di radon relativi al territorio di competenza della Asl n.2



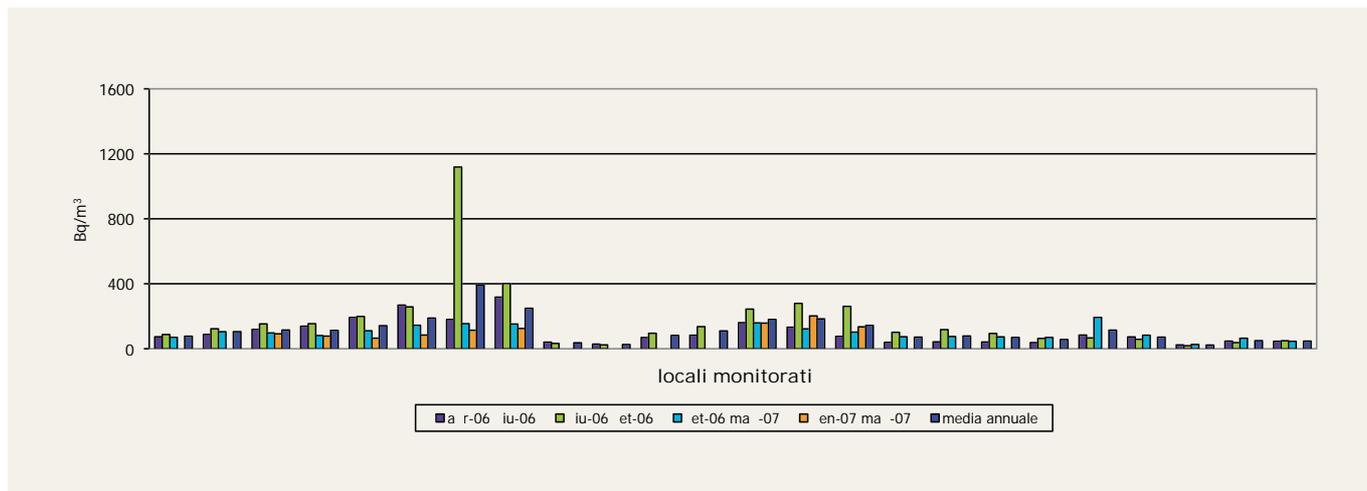


Fig.21 - Valori di concentrazione di attività di radon relativi al territorio di competenza della Asl n.3

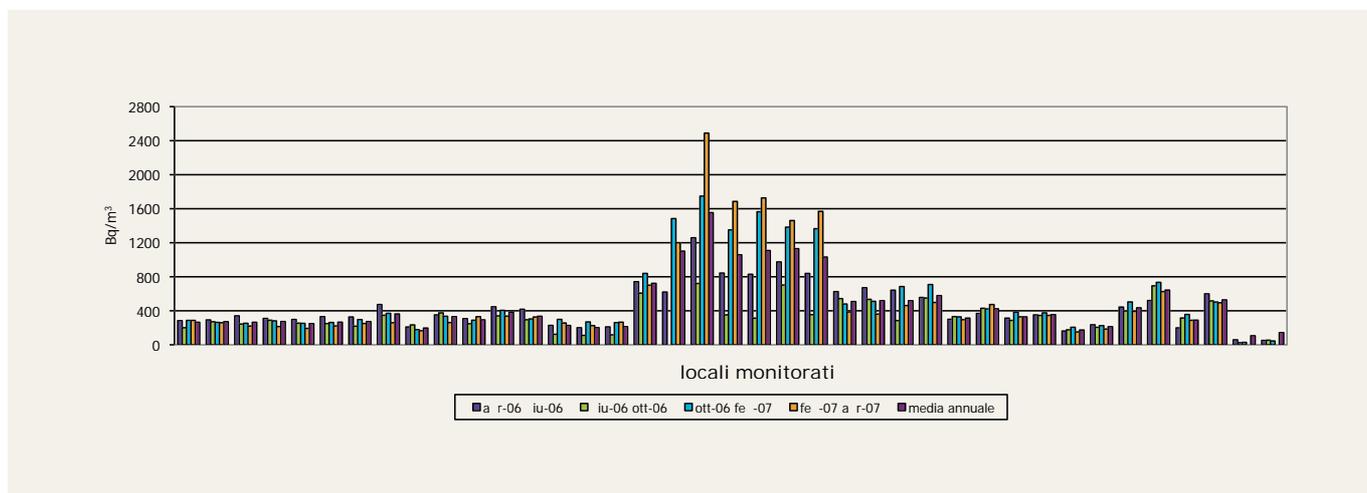


Fig.22 - Valori di concentrazione di attività di radon relativi al territorio di competenza della Asl n.4 - Distretto di Orvieto

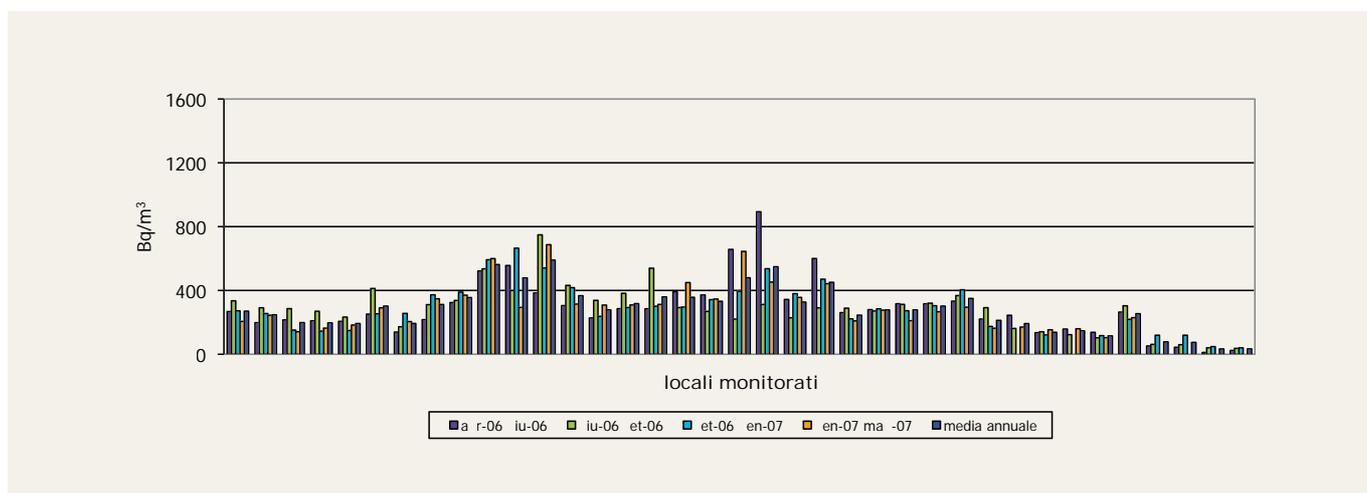


Fig.23 - Valori di concentrazione di attività di radon relativi al territorio di competenza della Asl n.4 - Distretto di Terni

Tab.9 - Tabella risultati monitoraggio 2006-2007

| Scuola  | Concentrazione di attività (Bq/m <sup>3</sup> ) |            |                    |                 |            |               |
|---|---|------------|--------------------|-----------------|------------|---------------|
|   | Indirizzo                                       | Apr-giu 06 | Giu-set 06         | Set 06-gen 07   | Gen-apr 07 | Media annuale |
| Campello sul Clitunno<br>Infanzia                                   | Via<br>Santa Maria                              | 119±24     | 153±31             | 97±19           | 92±18      | 115±23        |
|   |   | 139±28     | 154±31             | 81±16           | 77±15      | 113±23        |
|   |   | 193±39     | 199±40             | 111±22          | 65±13      | 142±29        |
|   |   | 268±54     | 258±52             | 144±29          | 84±17      | 189±38        |
|   |   | 180±36     | 1119±224           | 154±31          | 114±23     | 392±78        |
|   |   | 318±64     | 401±80             | 152±30          | 125±25     | 249±50        |
| Campello sul Clitunno<br>Primaria e<br>Secondaria 1°grado           | P.zza<br>Ranieri                                | 69±14      | 95±19              | Dosimetro perso |            | 82±16         |
|   |   | 83±17      | 136±27             |                 |            | 110±22        |
| Canonica<br>Infanzia  | ---   | 641±128    | 285±57             | 684±137         | 461±92     | 518±104       |
|   |   | 556±111    | 550±110            | 708±142         | 497±99     | 578±116       |
| Castel dell'Aquila<br>Infanzia                                      | Via<br>G.Garibaldi                              | 139±28     | 172±34             | 256±51          | 205±41     | 193±39        |
|   |   | 216±43     | 311±62             | 372±74          | 347±69     | 312±62        |
| Castel dell'Aquila<br>Primaria e<br>Secondaria 1°grado              | Via<br>delle Rose                               | 267±53     | 335±67             | 272±54          | 206±41     | 270±54        |
|   |   | 198±40     | 291±58             | 255±40          | 244±49     | 247±47        |
| Castel Giorgio<br>Primaria  | Via<br>D. Alighieri                             | 741±148    | 607±121            | 839±168         | 701±140    | 722±144       |
|   |   | 620±124    | Dosimetro<br>perso | 1483±297        | 1200±240   | 1101±220      |
| Castel Ritaldi<br>Primaria  | Via Martiri della<br>Resistenza                 | 74±15      | 87±17              | 70±14           |            | 77±15         |
|   |   | 88±18      | 123±25             | 104±21          |            | 105±21        |
| Castel Todino<br>Primaria   | Via<br>Amerina                                  | 215±43     | 286±57             | 151±30          | 141±28     | 198±40        |
|   |   | 210±42     | 269±54             | 145±29          | 164±33     | 197±40        |
| Castel Viscardo<br>Primaria   | Via<br>delle Regioni                            | 307±61     | 247±49             | 288±58          | 330±66     | 293±59        |
|   |   | 446±89     | 340±68             | 404±81          | 337±67     | 382±76        |
|   |   | 417±83     | 294±59             | 303±61          | 326±65     | 335±67        |
|   |   | 228±46     | 124±25             | 298±60          | 256±51     | 227±46        |
|   |   | 200±40     | 110±22             | 268±54          | 225±45     | 201±40        |
|   |   | 210±42     | 117±23             | 260±52          | 265±53     | 213±43        |
| Cerreto di Spoleto<br>Infanzia,<br>Primaria e<br>Secondaria 1°grado | Via D. Alighieri                                | 39±12      | 101±20             | 74±15           |            | 71±16         |
|   |   | 42±13      | 118±24             | 75±15           |            | 78±17         |
|   |   | 41±12      | 94±19              | 73±15           |            | 69±15         |
|   |   | 38±11      | 63±13              | 69±14           |            | 57±13         |
|   |   | 84±17      | 66±13              | 193±39          |            | 114±23        |
|   |   | 73±15      | 58±12              | 83±17           |            | 71±14         |
|   |   | 23±7       | 18±5               | 26±8            |            | 22±7          |
| Giove<br>Infanzia   | Via<br>Roma                                     | 390±78     | 293±59             | 296±59          | 449±90     | 357±72        |
|   |   | 372±74     | 269±54             | 342±68          | 346±69     | 332±66        |
|   |   | 657±131    | 220±44             | 395±79          | 645±129    | 479±96        |
|   |   | 893±179    | 312±62             | 536±107         | 452±90     | 548±110       |
|   |   | 343±69     | 228±46             | 380±76          | 356±71     | 327±66        |
|   |   | 600±120    | 291±58             | 470±94          | 442±88     | 451±90        |

Tab.9 - Tabella risultati monitoraggio 2006-2007

| Scuola                                       | Concentrazione di attività (Bq/m³) |            |                 |                    |            |               |
|--|------------------------------------|------------|-----------------|--------------------|------------|---------------|
|  | Indirizzo                          | Apr-giu 06 | Giu-set 06      | Set 06-gen 07      | Gen-apr 07 | Media annuale |
| Giove<br>Primaria                            | Via<br>Roma                        | 261±52     | 289±58          | 222±44             | 209±42     | 245±49        |
|  |                                    | 279±56     | 271±54          | 284±57             | 276±55     | 278±56        |
|  |                                    | 316±63     | 312±62          | 273±55             | 210±42     | 278±56        |
|  |                                    | 316±63     | 320±64          | 304±61             | 266±53     | 302±60        |
|  |                                    | 333±67     | 368±74          | 404±81             | 295±59     | 350±70        |
|  |                                    | 220±44     | 292±58          | 174±35             | 163±33     | 212±43        |
|  |                                    | 135±27     | 141±28          | 121±24             | 153±31     | 138±28        |
|  |                                    | 158±32     | 123±25          | Dosimetro<br>perso | 160±32     | 147±30        |
|  |                                    | 137±27     | 103±21          | 116±23             | 104±21     | 115±23        |
|  |                                    | 264±53     | 304±61          | 219±44             | 229±46     | 254±51        |
| Giove<br>Secondaria 1° grado                 | Via<br>Roma                        | 244±49     | 162±32          | Dosimetro<br>perso | 170±34     | 192±38        |
|  |                                    | 135±27     | 141±28          | 121±24             | 153±31     | 138±28        |
|  |                                    | 158±32     | 123±25          | Dosimetro<br>perso | 160±32     | 147±30        |
|  |                                    | 137±27     | 103±21          | 116±23             | 104±21     | 115±23        |
|  |                                    | 264±53     | 304±61          | 219±44             | 229±46     | 254±51        |
| Guardea<br>Primaria e<br>Secondaria 1° grado | Via<br>del Giuoco                  | 324±65     | 337±67          | 389±78             | 370±74     | 355±71        |
|  |                                    | 522±104    | 535±107         | 592±118            | 599±120    | 562±112       |
|  |                                    | 556±111    | 400±80          | 665±133            | 293±59     | 479±96        |
|  |                                    | 384±77     | 748±150         | 540±108            | 687±137    | 590±118       |
|  |                                    | 305±61     | 431±86          | 417±83             | 314±63     | 367±73        |
|  |                                    | 227±45     | 338±68          | 237±47             | 308±62     | 278±56        |
|  |                                    | 285±57     | 382±76          | 293±59             | 309±62     | 317±64        |
|  |                                    | 285±57     | 539±108         | 301±60             | 312±62     | 359±72        |
| Magione<br>Primaria                          | Via Ripa                           | 28±8       | 18±5            | 22±7               |            | 23±7          |
|  |                                    | 13±4       | 10±3            | 16±5               |            | 13±4          |
| Montone<br>Infanzia                          | Via<br>della Rocca                 | 51±12      | 53±13           | 41±12              |            | 48±12         |
|  |                                    | 44±13      | 39±12           | 38±11              |            | 40±12         |
| Montecastrilli<br>Infanzia                   | Viale<br>della Resistenza          | 52±13      | 62±12           | 119±24             |            | 78±16         |
|  |                                    | 44±13      | 60±14           | 119±24             |            | 74±17         |
| Montecastrilli<br>Secondaria 1° grado        | Via<br>F. Petrucci                 | 11±3       | 40±12           | 48±12              |            | 33±9          |
|  |                                    | 24±7       | 37±11           | 40±12              |            | 34±10         |
| Orvieto<br>Infanzia                          | Via<br>C. Nebbia                   | 283±57     | 200±40          | 286±57             | 286±57     | 264±53        |
|  |                                    | 292±58     | 271±54          | 263±53             | 259±52     | 271±54        |
|  |                                    | 340±68     | 244±49          | 252±50             | 220±44     | 264±53        |
|  |                                    | 309±62     | 288±58          | 281±56             | 214±43     | 273±55        |
|  |                                    | 297±59     | 254±51          | 251±50             | 192±38     | 249±50        |
|  |                                    | 330±66     | 249±50          | 262±52             | 221±44     | 266±53        |
|  |                                    | 327±65     | 218±44          | 296±59             | 250±50     | 273±55        |
|  |                                    | 473±95     | 347±69          | 369±74             | 259±52     | 362±72        |
|  |                                    |            | Dosimetro perso | 369±74             | 286±57     | 328±66        |

Tab.9 - Tabella risultati monitoraggio 2006-2007

| Scuola                                   | Concentrazione di attività (Bq/m <sup>3</sup> ) |            |            |               |                    |               |
|--|---|------------|------------|---------------|--------------------|---------------|
|  | Indirizzo                                       | Apr-giu 06 | Giu-set 06 | Set 06-gen 07 | Gen-apr 07         | Media annuale |
| Orvieto<br>Asilo Nido                    | Via<br>Dei Dolci                                | 299±60     | 331±66     | 328±66        | 295±59             | 313±63        |
|  |   | 368±74     | 429±86     | 422±84        | 473±95             | 423±85        |
|  |   | 313±63     | 287±57     | 385±77        | 329±66             | 328±66        |
|  |   | 351±70     | 345±69     | 375±75        | 345±69             | 354±71        |
|  |   | 162±32     | 176±35     | 205±41        | 151±30             | 173±35        |
|  |   | 235±47     | 205±41     | 225±45        | 185±37             | 212±43        |
|  |   | 443±89     | 398±80     | 503±101       | 393±79             | 434±87        |
|  |   | 520±104    | 693±139    | 734±147       | 625±125            | 643±129       |
|  |   | 199±40     | 314±63     | 356±71        | 288±58             | 289±58        |
|  |   | 599±120    | 516±103    | 503±101       | 494±99             | 528±106       |
| Orvieto<br>Secondaria 1°grado Signorelli | P.zza<br>Marconi                                | 209±42     | 234±47     | 178±36        | 165±33             | 197±40        |
|  |   | 351±70     | 375±75     | 335±67        | 261±52             | 331±66        |
| Orvieto<br>Secondaria 1°grado Scalza     | Via<br>dei Tigli                                | 58±13      | 25±7       | 28±8          | Dosimetro<br>perso | 37±9          |
|  |   | 51±12      | 54±13      | 44±11         | Dosimetro<br>perso | 50±12         |
| Penna in Teverina<br>Primaria            | Via<br>G. Garibaldi                             | 206±41     | 233±47     | 149±30        | 183±37             | 193±39        |
|  |   | 251±50     | 412±82     | 253±51        | 291±58             | 302±60        |
| Preci<br>Primaria                        | Via<br>A. De Gasperi                            | 160±32     | 244±49     | 159±32        | 158±32             | 180±36        |
|  |   | 132±26     | 279±56     | 122±24        | 202±40             | 184±37        |
|  |   | 76±15      | 261±52     | 102±20        | 135±27             | 144±29        |
| Preggio<br>Primaria                      | P.zza<br>della Luna                             | 45±10      | 57±14      | 41±12         |                    | 48±12         |
|  |   | 107±21     | 88±18      | 47±14         |                    | 81±18         |
| Pissignano<br>Primaria                   | Via<br>Franceschini                             | 47±11      | 38±11      | 64±13         |                    | 50±12         |
|  |   | 46±11      | 49±12      | 45±14         |                    | 47±12         |
| Porano<br>Infanzia                       | Via<br>N. Neri                                  | 624±125    | 543±109    | 479±96        | 386±77             | 508±102       |
|  |   | 670±134    | 534±107    | 511±102       | 361±72             | 519±104       |
| Sugano<br>Primaria                       | P.zza<br>San Rocco                              | 1258±252   | 721±144    | 1748±350      | 2488±498           | 1554±311      |
|  |   | 843±169    | 352±70     | 1351±270      | 1685±337           | 1058±212      |
|  |   | 829±166    | 313±63     | 1564±313      | 1727±345           | 1108±222      |
|  |   | 974±195    | 703±141    | 1383±277      | 1460±292           | 1130±226      |
|  |   | 839±168    | 354±71     | 1364±273      | 1569±314           | 1032±207      |
| Scheggino<br>Infanzia                    | ---   | 40±12      | 33±10      |               |                    | 37±11         |
|  |   | 28±8       | 24±7       |               | Dosimetro perso    | 26±8          |
| Umbertide<br>Primaria                    | Via Capitini                                    | 19±6       | 23±7       | 23±7          |                    | 22±7          |
|  |   | 20±6       | 24±7       | 15±5          |                    | 20±6          |
|  |   | 36±11      | 21±6       | 17±5          |                    | 25±7          |
|  |   | 36±11      | 26±8       | 17±5          |                    | 27±8          |

L'analisi dei risultati ottenuti, confortati anche dalle misure istantanee condotte durante i sopralluoghi effettuati nell'agosto 2006 e dalle misure di spettrometria gamma su campioni di materiale edilizio, per le quali si rimanda agli specifici paragrafi, hanno evidenziato come le criticità fossero in linea di massima già state individuate con il monitoraggio a breve termine effettuato nel 2006 e come queste riguardassero il territorio di competenza della Asl n.4, più precisamente le aree dell'orvietano e del ternano, caratterizzate da substrati di tipo lavico e tufaceo (orvietano) o travertinico.

In particolare, il monitoraggio ha evidenziato i seguenti aspetti:

- dei sette edifici che presentavano la necessità di azioni di rimedio, cinque erano già stati individuati nel primo monitoraggio mentre i rimanenti due figuravano tra quelli che avevano aderito in un secondo momento alla campagna di misura;
- nel caso di superamenti sporadici del valore di  $400 \text{ Bq/m}^3$ , l'adozione di norme comportamentali quali l'arieggiamento dei locali sono risultate idonee a mantenere il livello di concentrazione di radon al di sotto dei limiti di intervento;
- la diversa finalità di utilizzo di un locale incide in maniera consistente sul valore di concentrazione finale: un utilizzo sporadico, la chiusura estiva, accorgimenti volti alla soluzione di problemi specifici (umidità, sicurezza) incrementano i valori di concentrazione di radon ben oltre il valore di accettabilità derivante da un utilizzo tipico.

La campagna di monitoraggio effettuata negli anni 2006-2007 si è conclusa pertanto con l'individuazione di sei scuole nelle quali era necessario porre in atto, in un arco temporale di tre anni, azioni di rimedio che – tenendo conto del principio di ottimizzazione – fossero in grado di ridurre i valori di concentrazione al di sotto del limite di legge, unitamente alla predisposizione di successive misurazioni volte a verificarne l'efficacia. Per una settimana scuola, quella situata in località Sugano, la riconferma del sistematico e considerevole superamento dei valori limite di concentrazione di radon, unitamente alle criticità emerse durante il sopralluogo del 2006 che non lasciavano margini per una efficace bonifica della struttura (edificio

in cattivo stato di manutenzione realizzato interamente in tufo a diretto contatto con il substrato lavico), nel settembre 2007 hanno di fatto indotto l'amministrazione a decretare la chiusura della scuola e il trasferimento dell'attività didattica presso un'altra struttura scolastica, di nuova costruzione, realizzata in un'area del territorio non a rischio radon.

### 3.3. LA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO DEL 2007-2010

I risultati della campagna di monitoraggio effettuata negli anni 2006-2007 hanno dunque evidenziato la necessità di intraprendere azioni di bonifica in sette edifici: l'asilo nido di Orvieto centro, la scuola di infanzia di Canonica, la scuola primaria di Sugano, la scuola di infanzia e primaria di Porano, la scuola di infanzia di Giove, le scuole primarie e secondarie di Castel Giorgio e Guardia. Le azioni di rimedio in tali edifici sono state avviate con modalità e tempistiche differenti, a seconda dell'entità degli interventi da effettuare anche in relazione ai progetti di messa in sicurezza dal rischio sismico in alcuni casi già deliberati dalle amministrazioni competenti. Per la scuola di Sugano, come detto, la difficoltà nel porre in atto efficaci azioni di rimedio ha indotto il Comune di Orvieto alla impopolare decisione di non intervenire e di trasferire l'attività didattica in una località limitrofa. Per quanto riguarda la scuola d'infanzia di Giove, gli interventi di bonifica hanno riguardato il rifacimento di alcune parti di intonaci ammalorati e/o fessurati e il posizionamento di ventole ad aspirazione forzata sugli infissi esterni. Tali interventi, interamente progettati e condotti dagli uffici tecnici del Comune, sono terminati solo nell'estate del 2011 (in concomitanza, quindi, con la stesura di questa pubblicazione). L'attività di monitoraggio potrà pertanto dirsi conclusa solo con la verifica della bontà delle azioni di rimedio intraprese. Per le restanti scuole, al fine di non interrompere le attività didattiche, le Asl hanno concesso l'agibilità sanitaria temporanea degli edifici, purché venissero adottate soluzioni a breve termine, basate principalmente sul sistematico ricambio d'aria nei locali tramite areazione naturale e nell'intervento sulle criticità di semplice attuazione, in attesa di quelle risolutive.

Con la ripresa delle attività didattiche, al fine di verificare l'ottemperanza alle prescrizioni impartite dalle Asl, è stato dato nuovamente avvio anche al monitoraggio della concentrazione media annua di radon negli edifici. Le misurazioni hanno approssimativamente avuto inizio nell'ottobre 2007 e si sono protratte, nella maggior parte dei casi, ben oltre un anno solare per terminare solo quando, per ogni locale, è stata raggiunta una concentrazione media annua inferiore ai 400 Bq/m<sup>3</sup>.

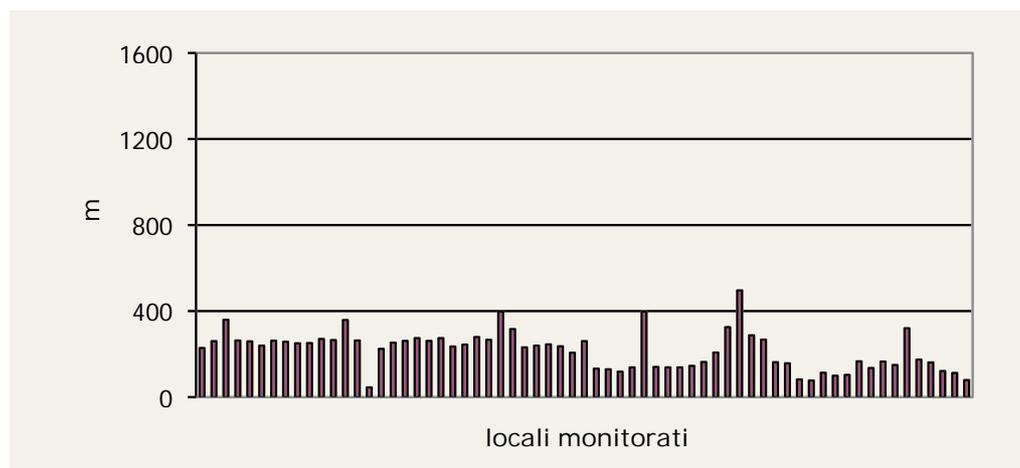
### 3.3.1. I risultati della campagna di monitoraggio del 2007-2010

I risultati del monitoraggio effettuato negli anni 2007-2010 hanno consentito di verificare che in tutte le aule sottoposte a misurazione non venisse superato il valore di concentrazione media annua di 400 Bq/m<sup>3</sup> di radon.

L'adozione di specifiche azioni di rimedio, commisurate all'entità delle diverse problematiche da risolvere, ha fatto sì che il periodo di monitoraggio non risultasse univoco per tutti gli edifici. Per il dettaglio delle azioni di rimedio intraprese ed il relativo monitoraggio effettuato si rimanda alle specifiche appendici. Di seguito si riportano invece, (fig.24 e tab.10), le medie annuali di concentrazione di radon riscontrate in tutti i locali successivamente agli interventi di bonifica.

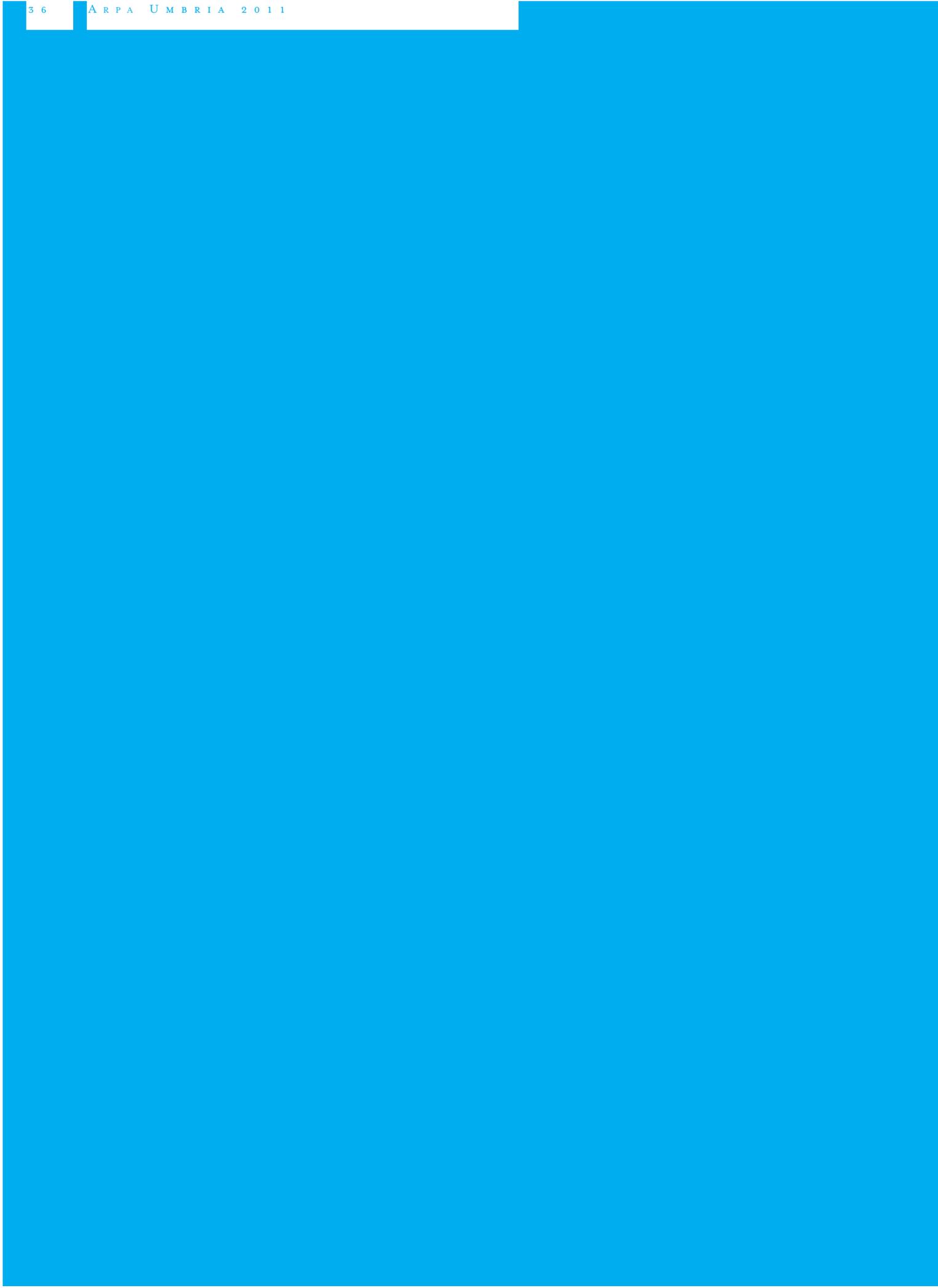
Come è possibile notare tutti i valori di concentrazione sono risultati inferiori a 400 Bq/m<sup>3</sup>, ad eccezione di quelli riscontrati in un locale rimasto chiuso per tutto il tempo della misurazione poiché adibito a deposito temporaneo.

Fig.24 - Valori di concentrazione di attività di radon medi annui dopo le azioni di bonifica



Tab.10 - Valori di concentrazione di attività di radon medi annui dopo bonifica

| Scuola                                   | Concentrazione media annua di radon (Bq/m <sup>3</sup> ) | Scuola                                       | Concentrazione media annua di radon (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|--|--|--|--|
| <b>Porano</b><br>Infanzia e primaria     | 228 ± 46   | <b>Castel Giorgio</b><br>Primaria            | 224 ± 45   |
|  | 260 ± 52   |  | 253 ± 51   |
|  | 359 ± 74   |  | 261 ± 52   |
|  | 263 ± 52   |  | 274 ± 55   |
|  | 259 ± 64   |  | 261 ± 52   |
|  | 239 ± 49   |  | 274 ± 55   |
|  | 262 ± 50   |  | 235 ± 47   |
|  | 257 ± 50   |  | 244 ± 49   |
|  | 250 ± 52   |  | 279 ± 56   |
|  | 251 ± 50   |  | 266 ± 53   |
|  | 270 ± 52   |  | 397 ± 79   |
|  | 265 ± 65   |  | 316 ± 63   |
|  | 358 ± 57   |  | 239 ± 48   |
|  | 263 ± 53   |  | 245 ± 49   |
|  |  |  | <b>Castel Giorgio</b><br>Infanzia                        |
| <b>Guardea</b><br>Secondaria di 1° grado | 236 ± 47   |  | 162 ± 32   |
|  | 206 ± 41   |  | 157 ± 31   |
|  | 260 ± 52   |  | 82 ± 16  |
|  | 132 ± 26   |  | 77 ± 15  |
|  | 129 ± 26   |  | 113 ± 23   |
|  | 118 ± 24   |  | 99 ± 20  |
|  | 138 ± 28   |  | 103 ± 21   |
|  | 398 ± 80   |  | 166 ± 33   |
| <b>Guardea</b><br>Primaria               | 140 ± 28   | <b>Orvieto</b><br>Asilo nido<br>"Arcobaleno" | 135 ± 27   |
|  | 138 ± 28   |  | 165 ± 33   |
|  | 138 ± 28   |  | 149 ± 30   |
|  | 145 ± 29   |  | 320 ± 64   |
|  | 163 ± 33   |  | 174 ± 35   |
|  | 207 ± 41   |  | 161 ± 32   |
|  | 325 ± 65   |  | 121 ± 26   |
|  | 495 ± 99   |  | 112 ± 23   |
| <b>Canonica</b><br>Infanzia              | 287 ± 55   |  | 79 ± 16  |
|  | 267 ± 59   |  |  |



# 4. I sopralluoghi

L'intera attività di monitoraggio degli edifici scolastici è stata, fin dall'inizio, integrata ed affiancata da una serie di sopralluoghi effettuati congiuntamente dal personale di Arpa, Asl, Università degli Studi di Perugia e Uffici tecnici comunali; tali sopralluoghi hanno interessato gli edifici che avevano mostrato considerevoli superamenti del valore di concentrazione di radon in più di un locale.

Lo scopo di tali sopralluoghi è stata l'individuazione delle possibili motivazioni all'origine delle elevate concentrazioni di radon all'interno degli edifici, attraverso un'accurata ispezione visiva dei fabbricati unita ad una valutazione delle planimetrie e a misurazioni istantanee di radon volte ad individuare le principali vie di ingresso del gas. Sono stati inoltre prelevati campioni di materiale da costruzione e, nel caso di edifici che presentavano cantine con pavimenti in terra battuta, sono state eseguite misurazioni di esalazione di radon dal suolo. Tutto ciò è andato a costituire una cospicua e valida base di informazioni per lo studio e la messa in atto delle successive azioni di rimedio. Su richiesta delle Asl sono inoltre state eseguite misurazioni istantanee in stato di elevata ventilazione naturale dei locali, finalizzato alla verifica delle condizioni per il rilascio, da parte dell'autorità sanitaria, di parere favorevole all'utilizzo, in attesa dei risultati finali delle concentrazioni medie annue o a verifica immediata di un'azione di bonifica intrapresa.

## 4.1. I SOPRALLUOGHI EFFETTUATI NEL 2006

Nell'agosto 2006, in concomitanza con la chiusura degli edifici scolastici e conseguentemente ai risultati delle misurazioni a breve termine del 2005 e ai primi risultati di quelle effettuate nell'inverno del

2006, sono stati effettuati sopralluoghi nelle scuole dell'infanzia di Canonica e Giove e in quella primaria di Sugano.

I sopralluoghi, finalizzati all'individuazione delle possibili fonti e/o vie di ingresso di gas radon all'interno degli edifici, sono stati effettuati attraverso un'attenta ispezione visiva delle strutture e dei locali in cui erano stati riscontrati i superamenti, unita a misurazioni istantanee di concentrazione di radon e dal prelievo di campioni di materiale edilizio.

Nella scuola di Canonica, utilizzata al momento del sopralluogo come centro estivo e costituita da due sole aule – delle quali una adibita a deposito temporaneo di materiale didattico – sono state eseguite misure istantanee nel vespaio, esternamente attraverso un foro creato sulla zoccolatura dell'edificio e, internamente attraverso dei fori praticati sul pavimento dell'aula al momento utilizzata e del corridoio. L'affioramento, al di sotto dell'intonaco perimetrale, di materiale costruttivo di evidente natura tufacea ha indotto ad un campionamento di tale materiale per la misura in laboratorio del suo contenuto in radioattività naturale attraverso spettrometria gamma.

Nella scuola d'infanzia di Giove, situata all'interno di un istituto ecclesiastico, oltre all'aula con valore di concentrazione superiore ai  $500 \text{ Bq/m}^3$  sono stati oggetto di indagine anche due locali adibiti a cantina situati al di sotto dell'aula stessa, nonché la cantina interna alla struttura, in quanto scavata direttamente nella roccia e con pavimento in terra battuta. In tutti e tre i locali sono state eseguite misure di esalazione di radon dal pavimento e misure istantanee di concentrazione di radon *indoor*. Nella cantina sottostante l'aula sono state inoltre eseguite misure istantanee di concentrazione di radon anche all'interno di un foro posto al di sotto dell'intonaco della pare-

te, unitamente al campionamento di porzioni di parete e di intonaco da sottoporre a misure di spettrometria gamma.

La struttura dell'edificio che ospita la scuola primaria di Sugano, poggiante direttamente sul substrato lavico unita all'evidente natura piroclastica della muratura, hanno reso palesemente manifesta l'origine dell'elevata concentrazione di radon al punto che non sono state eseguite misurazioni puntuali - peraltro in una situazione di chiusura estiva dell'edificio - ma solo campionamenti di materiale edilizio per misure di spettrometria gamma.

#### 4.1.1. I risultati dei sopralluoghi del 2006

I risultati dei sopralluoghi effettuati nell'agosto del 2006 hanno portato alle seguenti conclusioni:

- *scuola di infanzia di Canonica*: le informazioni ricavate dalle misurazioni istantanee hanno confermato l'ipotesi iniziale, che indicava nel vespaio il serbatoio di radon. Di fatto tale vespaio è risultato non solo non areato ma riempito di materiale di scarto edilizio di natura tufacea e le molteplici fessurazioni presenti sul pavimento sono risultate la principale via di risalita di gas radon all'interno dell'edificio;
- *scuola di infanzia di Giove*: le misurazioni istantanee di radon *indoor* eseguite nelle cantine non hanno fornito indicazioni particolari sull'origine dell'elevata concentrazione riscontrata. Al contrario, l'ispezione visiva degli intonaci e la misurazione effettuata all'interno di uno di questi, avvalorata in seguito dai risultati delle misure di spettrometria

gamma, è sembrata individuarli come responsabili degli elevati valori di concentrazione misurati.

La tab.11 riporta i valori di concentrazione delle misure istantanee eseguite durante i sopralluoghi, unitamente alle misure di esalazione del radon dal suolo effettuate a Giove nella cantina all'interno della scuola ed in quella sottostante l'aula, che aveva mostrato il superamento dei valori di riferimento. Per i risultati delle misure di spettrometria gamma nei materiali da costruzione si rimanda allo specifico paragrafo.

#### 4.2. I sopralluoghi effettuati nel 2007

A seguito dei risultati finali ottenuti con la campagna di monitoraggio annuale conclusasi nell'aprile 2007, nel periodo di chiusura estiva dello stesso anno sono stati eseguiti alcuni sopralluoghi congiunti (Arpa, Asl, Uffici tecnici comunali e Università degli Studi di Perugia) allo scopo di:

- individuare le cause degli elevati valori di concentrazione rilevati;
- valutare quanto una situazione di ventilazione naturale dei locali fosse in grado di abbassare la concentrazione iniziale e consentire il rilascio, da parte delle Asl competenti, di parere favorevole all'utilizzo dei locali fino alla loro definitiva bonifica.

I sopralluoghi sono stati pertanto eseguiti in sei delle sette scuole che avevano superato i 500 Bq/m<sup>3</sup> di concentrazione media annua di radon: l'asilo nido di Orvieto centro, le scuole d'infanzia di Canonica e Giove, la scuola d'infanzia e primaria di Porano, le scuole primarie e secondarie di 1° grado di Castel Giorgio e Guardea.

Tab.11: Risultati dei sopralluoghi effettuati nel 2006

| Scuola            | Punto di prelievo  | Concentrazione di radon in aria (Bq/m <sup>3</sup> ) | Esalazione di radon dal suolo (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|--|--|--|
| Canonica Infanzia | Nel vespaio sotto l'aula unica   | 2830 ± 130   | ---  |
|                   | Nel vespaio sotto al corridoio   | 6731 ± 301   | ---  |
|                   | Nel vespaio dall'esterno   | 4176 ± 50  | ---  |
| Giove Infanzia    | Cantina scuola dell' infanzia  | 514 ± 74   | 14000 ± 100  |
|                   | Palazzo Comunale 2° cantina PT dopo colonna ascensore                  | 88 ± 20  | 6000 ± 100   |
|                   | Palazzo Comunale 2° cantina PT dopo colonna ascensore sotto l'intonaco | 838 ± 92   | ---  |
|                   | Palazzo Comunale 1° cantina PT dopo colonna ascensore                  | 154 ± 33   | ---  |

Nessun sopralluogo è stato effettuato nella scuola di Sugano poiché l'amministrazione locale, a fronte dell'oggettiva difficoltà di un recupero soddisfacente ed economicamente accettabile dell'edificio – già di per sé in cattivo stato di manutenzione – anticipando un provvedimento già in itinere, anche se fortemente osteggiato dalla popolazione, ne ha disposto la chiusura, con trasferimento delle attività didattiche presso un'altra struttura già predisposta.

Durante i sopralluoghi sono state quindi eseguite misure istantanee nei locali – dopo areazione naturale –, nelle intercapedini e nei vespai, così come sono stati eseguiti campionamenti di materiale da costruzione e di intonaci da sottoporre a misure di spettrometria gamma.

#### 4.2.1. I risultati dei sopralluoghi effettuati nel 2007

Le misure istantanee effettuate in occasione dei sopralluoghi hanno evidenziato come una buona ventilazione fosse sufficiente ad abbattere la concentrazione di radon fino a valori tali da consentire alle Asl il rilascio di parere favorevole all'utilizzo provvisorio dei locali, in attesa dell'avvio delle azioni di mitigazione. L'osservazione attenta dei locali che avevano avuto concentrazioni medie annue superiori a  $500 \text{ Bq/m}^3$  si è inoltre rilevata utile ad identificare, per ogni situazione, l'origine dell'elevato tenore in radon. In particolare:

- *asilo nido di Orvieto*: in un dormitorio, l'elevato valore di concentrazione di radon rilevato è risultato derivare da uno scarso ricambio d'aria, conseguente alla sporadica apertura (per il timore di un eventuale ingresso di animali) della porta finestra posta direttamente sul cortile. In un altro locale, invece, l'incrementato valore di concentrazione di radon è risultato derivare dalla combinazione di un sistema di abbattimento dell'umidità, costituito da un'intercapedine tra la muratura esterna, in tufo, e quella interna, evidenziabile da fori di sfianto presenti sulla parete interna del locale in cui le misure istantanee hanno subito rilevato un'elevata concentrazione di radon, nonché da serramenti a forte tenuta;
- *scuola di Porano*: durante il sopralluogo è rapidamente emerso come la pre-

senza di una porta a vetri a notevole tenuta d'aria, dividendo in due parti il corridoio, creasse di fatto due blocchi distinti: il primo (che ospita la scuola di infanzia), situato a destra dell'ingresso e costituito da due aule, dalla sala polivalente e dalla cucina; l'altro (che ospita la scuola primaria), situato a sinistra dell'ingresso, dove si trovano altre due aule e il vano scale che collega i tre piani dell'edificio. Nella scuola d'infanzia, quindi, la sala polivalente e la cucina – poggiando direttamente sul basamento – costituivano una fonte di ingresso di radon nell'edificio, mentre la porta a vetri ne ostacolava la fuoriuscita;

- *scuola di Castel Giorgio*: al momento del sopralluogo, l'edificio è stato trovato in fase di ristrutturazione per adeguamento alle norme antisismiche. La presenza di fessurazioni del pavimento – poggiante su di un vespaio non ventilato – unitamente a quella di serramenti ad alta tenuta, hanno evidenziato come l'elevata concentrazione di radon fosse attribuibile sia al substrato che al materiale da costruzione delle pareti, di cui è stato effettuato un prelievo per misure di spettrometria gamma. Tale ipotesi è risultata avvalorata, per contrasto, con il sopralluogo effettuato nel locale mensa che, seppur poggiante direttamente sul terreno ma realizzato in epoche successive con muratura in cemento e/o laterizi, presentava valori di concentrazione di radon dimezzati rispetto ai restanti locali dell'edificio. Nell'attigua scuola d'infanzia, di recentissima costruzione, sono stati rilevati valori di concentrazione di radon inferiori di un ordine di grandezza;
- *scuola di Guardea*: il sopralluogo ha rilevato come le criticità fossero riconducibili, per l'aula di informatica, al suo limitato uso e, per l'aula didattica al piano terra, alla presenza di un'intercapedine che riversava radon all'interno del locale attraverso una ghiera forata presente su di una parete. I valori di concentrazione riscontrati con la misura istantanea eseguita sul basamento perimetrale dell'edificio hanno inoltre indicato il non trascurabile contributo del sottosuolo alla concentrazione di radon indoor.

La tab.12 riporta i valori di concentrazione delle misure istantanee eseguite durante i sopralluoghi. Per le misure di spettrometria gamma nei materiali da costruzione si rimanda allo specifico paragrafo.

Le situazioni riscontrate hanno consentito di individuare, per i singoli edifici, la tipologia di azioni di mitigazione da intraprendere a breve e a lungo termine, in attesa della bonifica definitiva. In particolare:

- *scuola di infanzia di Canonica*: sigillatura delle fessurazioni del pavimento e applicazione di piccoli ventilatori per il ricambio d'aria, in attesa di interventi di mitigazione a lungo termine consistenti nel rifacimento del solaio con ventilazione del vespaio, che sarebbero stati realizzati nell'estate del 2008 in concomitanza con l'intera ristrutturazione ed adeguamento antisismico dell'edificio;
- *asilo nido di Orvieto Centro*: chiusura dei fori di areazione dell'intercapedine nella stanza denominata 2° aula area bambini (A) e implementazione della areazione naturale nel dormitorio destinato agli alunni di media età (S);
- *scuola di di Porano*: aumento della ventilazione naturale delle aule, anche con l'ausilio di piccoli ventilatori alle finestre, in attesa di interventi di bonifica (realizzati nell'estate del 2008) consistenti nella costruzione di un pavimento sollevato e ventilato nell'area dell'aula polivalente e della cucina;
- *scuola di Guardea*: chiusura dei fori provenienti dall'intercapedine nell'aula F con l'applicazione di piccoli ventilatori in attesa della ristrutturazione totale dell'edificio, prevista per la fine del 2007, consistente nella realizzazione di un pavimento sollevato e ventilato e nel rifacimento degli intonaci;
- *scuola di Castel Giorgio*: ventilazione forzata delle aule situate nella porzione di edificio interessata dalle elevate concentrazioni di radon;
- *scuola di infanzia di Giove*: rimozione degli intonaci.

Tab.12 - Risultati dei sopralluoghi effettuati nel 2007

| Scuola   | Punto di prelievo                          | Concentrazione di radon (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|--|--|--|
| <b>Canonica</b><br>Infanzia                                | Refettorio                                 | 44 ± 10                                      |
|  | Aula unica                                 | 17 ± 12                                      |
| <b>Castel Giorgio</b><br>Primaria e secondaria di 1° grado | Aula ( A ), PT                             | 42 ± 22                                      |
|  | Aula ( B ), PT                             | 31 ± 12                                      |
|  | Aula ( C ), PT                             | 47 ± 26                                      |
|  | Aula ( D ), PT                             | 54 ± 27                                      |
|  | Aula ( E ), PT                             | 40 ± 14                                      |
|  | Aula ( F ) comunicante con Aula ( G ), 1°P | 56 ± 33                                      |
|  | Aula ( H ), 1°P                            | 52 ± 26                                      |
|  | Aula ( I ), 1°P                            | 30 ± 14                                      |
| <b>Giove</b><br>Infanzia                                   | Aula ( A )                                 | 221 ± 34                                     |
|  | Aula ( B )                                 | 63 ± 28                                      |
|  | Refettorio                                 | 209 ± 54                                     |
|  | Segreteria                                 | 91 ± 16                                      |
| <b>Guardea</b><br>Primaria e secondaria di 1° grado        | Laboratorio Informatico                    | 65 ± 16                                      |
|  | Aula ( D )                                 | 34 ± 11                                      |
|  | Aula ( F )                                 | 8 ± 3  |
|  | Aula ( F ), nel foro                       | 603 ± 87                                     |
|  | Perimetro esterno, nel foro                | 40358 ± 227                                  |
| <b>Orvieto</b><br>Asilo Nido                               | Zona alunni Medi e Grandi (Q)              | 40 ± 19                                      |
|  | Dormitorio Medi (S)                        | 29 ± 12                                      |
|  | 2° aula area bambini (A)                   | 36 ± 22                                      |
|  | 2° aula area bambini, nel foro (A)         | 1392 ± 123                                   |
| <b>Porano</b><br>Infanzia e primaria                       | Aula ( A )                                 | 50 ± 27                                      |
|  | Aula ( B )                                 | 40 ± 11                                      |
|  | Cucina                                     | 295 ± 28                                     |

#### 4.3. I SOPRALLUOGHI EFFETTUATI NEL 2008

Nell'asilo nido di Orvieto centro e nella scuola di Castel Giorgio sono stati eseguiti sopralluoghi per la misura istantanea della concentrazione di radon, allo scopo di verificare l'efficacia e l'eshaustività delle ulteriori azioni di rimedio che si era reso necessario adottare a seguito dei risultati non pienamente soddisfacenti scaturiti dalla lettura dei primi dosimetri esposti dopo i primi interventi di bonifica. Di fatto, su richiesta delle Asl competenti territorialmente, gli uffici tecnici comunali hanno valutato la consistenza e l'efficacia delle azioni di rimedio ed hanno richiesto ad Arpa di effettuare sopralluoghi, con misurazioni istantanee finalizzate ad un riscontro immediato, in attesa dei risultati definitivi delle concentrazioni medie annuali. In particolare:

- *asilo nido di Orvieto centro*: nel giugno del 2008 è stato effettuato un sopralluogo volto a verificare l'efficacia dei tre sistemi di estrazione forzata di aria

installati in prossimità di quelle aule e locali, che mostravano necessità di interventi di mitigazione ad elevata efficienza;

- *scuola primaria e secondaria di Castel Giorgio*: nel settembre del 2008 è stato effettuato un sopralluogo allo scopo di verificare l'efficacia degli estrattori d'aria posizionati nei vespai dell'edificio.

##### 4.3.1. I RISULTATI DEI SOPRALLUOGHI DEL 2008

La tab.13 riporta i valori di concentrazione delle misure istantanee eseguite durante i sopralluoghi effettuati a seguito degli ulteriori interventi di bonifica realizzati nell'asilo nido di Orvieto Centro e nella scuola primaria e secondaria di 1° grado di Castel Giorgio. I valori sono risultati decisamente al di sotto dei livelli di riferimento, a dimostrazione del trend positivo instauratosi a seguito delle azioni di rimedio adottate.

Tab.13 - Risultati dei sopralluoghi effettuati nel 2008

| Scuola  | Punto di prelievo                  | Concentrazione di radon (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|---|------------------------------------|--|
| Castel Giorgio<br>Primaria e secondaria di 1° grado | Aula A, PT                         | 121 ± 28                                     |
|   | Aula B, PT                         | 82 ± 37                                      |
|   | Aula C, PT                         | 108 ± 37                                     |
|   | Aula D, PT                         | 52 ± 15                                      |
|   | Aula E, PT                         | 21 ± 17                                      |
|   | Spazio Comune                      | 96 ± 44                                      |
|   | Aula F comunicante con Aula G, 1°P | 102 ± 17                                     |
|   | Aula H, 1°P                        | 73 ± 11                                      |
|   | Aula L, 1°P                        | 104 ± 32                                     |
| Orvieto<br>Asilo Nido                               | Dormitorio alunni Medi (S)         | 107 ± 29                                     |
|   | 1° aula area bambini (B)           | 38 ± 18                                      |
|   | 2° aula area bambini (A)           | 29 ± 11                                      |
|   | Spogliatoio (R)                    | 42 ± 22                                      |
|   | Lavanderia (P)                     | 68 ± 19                                      |
|   | Saletta (I)                        | 29 ± 12                                      |
|   | Ingresso area bambini (N)          | 69 ± 22                                      |



# 5. I materiali da costruzione

Le fonti di radon *indoor* e i suoi meccanismi di ingresso sono molteplici e si possono così riassumere (fig. 25):

- *suolo*: attraverso fessurazioni del pavimento, crepe, cattivo isolamento dal terreno etc. sia per diffusione che per moti convettivi (advezione);
- *aria esterna*: attraverso crepe e fessure, ma soprattutto da porte e finestre per infiltrazione;
- *acqua o gas naturale*: attraverso le linee degli scarichi, degli impianti idrici e/o del gas e per emanazione dai fluidi stessi;
- *materiali da costruzione*: per diffusione (esalazione) dai materiali stessi, qualora ricchi di elementi radioattivi progenitori appartenenti alla serie naturale dell'U-238, (in particolare: Ra-226).

La tab.14 riporta i ratei di ingresso di radon in un edificio standard attribuibili alle diverse fonti sopra elencate. Come è possibile notare, subito dopo il suolo un contributo rilevante al rateo di ingresso del radon deriva dalla tipologia dei materiali edilizi impiegati nella realizzazione della struttura attraverso, appunto, il decadimento di elementi radioattivi progenitori del radon in essi contenuti.

Poiché, più in generale, dal decadimento dei radionuclidi naturali presenti ubiquitariamente nei materiali da costruzione originano direttamente radiazioni alfa, beta e gamma che si traducono in dosi di radiazioni ricevute dalle persone che soggiornano in ambienti chi-



Fig.25 - Ingresso di radon in un'abitazione (immagine: fonte internet)

si, è evidente l'importanza di analizzare tali materiali allo scopo di determinare la concentrazione dei vari radionuclidi naturali in essi presenti (es. K-40, U-238, Th-232). Va peraltro sottolineato che quelli riportati in tab.14 sono valori medi per condizioni edilizie "standard", laddove in alcune regioni come l'Umbria, il Lazio e la Campania, si possono avere notevoli scostamenti in eccesso per quanto concerne i materiali da costruzione, a causa della peculiarità dei materiali edilizi impiegati (es. tufi, graniti). Inutile dire infine che, in presenza di elevate concentrazioni di radon in aria, individuare la possibile fonte primaria di ingresso del gas nel locale serve ad orientare o, quanto meno, ad ottimizzare le

Tab.14 - Ratei di ingresso di radon in un edificio

| Valori medi per edifici standard in buone condizioni |  |                 |
|--|--|-----------------|
| Sorgenti di radon                                    | Rateo d'ingresso (Bq/m <sup>3</sup> h) | Percentuale (%) |
| Suolo (diffusione + advezione)                       | 27.5                                   | 56              |
| Aria esterna (infiltrazione)                         | 10                                     | 20              |
| Acqua e gas (emanazione)                             | 1.5                                    | 3               |
| Materiali da costruzione                             | 10                                     | 21              |

conseguenti azioni di rimedio. In tutto ciò risiede il motivo delle misure in spettrometria gamma condotte sui materiali da costruzione delle scuole in cui è stata riscontrata un'elevata concentrazione di radon in aria.

I materiali da costruzione sono spesso costituiti da rocce tal quali o, in alternativa, possono contenere componenti derivate da rocce triturate, aggiunte ad essi con funzione di inerti o leganti. In considerazione del fatto che i radionuclidi primordiali, diffusi ovunque nel substrato della crosta terrestre (suolo e rocce), hanno concentrazioni di attività che variano fortemente in dipendenza della conformazione geologica, anche nei materiali da costruzione ci si trova di fronte ad un ampio intervallo di variabilità. Pertanto, qualora le rocce siano ricche di radionuclidi naturali per via delle loro caratteristiche geochimiche, è ovvio che la concentrazione di attività dei materiali da costruzione che le contengono aumenti nettamente. Questo è ad esempio il caso di rocce ignee quali tufi e graniti, come pure della pozzolana e del cemento pozzolanico.

E' importante tenere presente che il tenore di radionuclidi naturali varia anche nell'ambito di uno stesso tipo di roccia. Ad esempio per rocce vulcaniche quali i tufi ci si può trovare di fronte ad un ampio intervallo di variabilità, approssimativamente da 1200 a 2300 Bq/kg per il K-40, da 100 a 540 Bq/kg per il Th-232 e da 130 a 300 Bq/kg per il Ra-226.

La tab.15 riporta le concentrazioni di attività tipiche e massime, relativamente ad alcuni radionuclidi naturali (Ra-226,

Th-232 e K-40), riscontrabili in comuni materiali da costruzione e in sottoprodotti industriali impiegati per materiali da costruzione nell'Unione Europea.

Le concentrazioni tipiche sono medie dei risultati nazionali dei differenti Stati Membri popolazione-pesate, quelle massime sono valori massimi riportati in un lavoro realizzato in Finlandia del 1997; non è escluso che valori più elevati possano essere stati riferiti altrove. Quello che emerge dall'analisi della tabella è l'estrema variabilità del contenuto di uno stesso radionuclide nel medesimo materiale, a conferma del fatto che è di massima rilevanza il luogo di provenienza del materiale stesso e/o la sua lavorazione.

#### 5.1 LA NORMATIVA VIGENTE SUI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Ad oggi non esiste una normativa organica che regolamenti il contenuto di radioattività naturale nei materiali da costruzione, né a livello nazionale né a livello europeo. In ambito nazionale si può citare solo il DPR 246 del 1993 che dà attuazione alla direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione, nel quale tuttavia si fa solo un generico cenno, parlando dei requisiti essenziali ai quali debbono rispondere le opere affinché ne sia garantita la salubrità, al fatto che deve essere esclusa la possibile minaccia derivante dall'emissione di radiazioni pericolose; testualmente, l'Allegato A, punto 3) recita quanto segue: *"... l'opera deve essere concepita e costruita in modo da non costituire una minaccia per l'igiene o la salute degli occupanti o dei vicini, causata, in particolare, ... dall'emissione di radiazioni pericolose"*

Tab.15: Concentrazioni tipiche e massime di alcuni radionuclidi naturali nei materiali edilizi

| Materiali edilizi                            |                                   | Concentrazione di attività tipica (Bq/kg) |        |      | Concentrazione di attività massima (Bq/kg) |        |      |
|--|-----------------------------------|---|--------|------|--|--------|------|
| Tipologia                                    | Materiali                         | Ra-226                                    | Th-232 | K-40 | Ra-226                                     | Th-232 | K-40 |
| Materiali comunemente utilizzati in edilizia | Calcestruzzo                      | 40  | 30     | 400  | 240  | 190    | 1600 |
|  | Calcestruzzo aerato e alleggerito | 60  | 40     | 430  | 2600                                       | 190    | 1600 |
|  | Mattone argilloso (rosso)         | 50  | 50     | 670  | 200  | 200    | 2000 |
|  | Mattone di sabbia e calce         | 10  | 10     | 330  | 25   | 30     | 700  |
|  | Pietra naturale da costruzione    | 60  | 60     | 640  | 500  | 310    | 4000 |
|  | Gesso naturale                    | 10  | 10     | 80   | 70   | 100    | 200  |
| Sottoprodotti industriali                    | Derivati del gesso (fosfogesso)   | 390                                       | 20     | 60   | 1100                                       | 160    | 300  |
|  | Scorie di altoforno               | 270                                       | 70     | 240  | 2100                                       | 340    | 1000 |
|  | Ceneri di carbone volanti         | 180                                       | 100    | 650  | 1100                                       | 300    | 1500 |

In ambito europeo, in realtà, esiste un documento specifico relativo ai materiali da costruzione, il *Radiation Protection 112: "Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials"*, pubblicato nei primi mesi del 2000, che, però, ha solo la valenza di "linee guida" e, quindi, non ha un carattere "cogente". In questo documento della Commissione Europea viene introdotto un indice quantitativo denominato "indice di concentrazione di attività  $I$ " definito dalla formula:

$$I = \frac{C_{Ra-226}}{300 \cdot Bq/kg} + \frac{C_{Th-232}}{200 \cdot Bq/kg} + \frac{C_{K-40}}{3000 \cdot Bq/kg}$$

dove:  $C_{Ra-226}$ ,  $C_{Th-232}$ ,  $C_{K-40}$  sono le concentrazioni di attività del Ra-226, del Th-232 e del K-40 nell'ordine, espresse in Bq/kg. L'indice  $I$  è il parametro che serve a giudicare l'idoneità o meno di un materiale edilizio dal punto di vista del suo contenuto di radionuclidi naturali. Si richiede infatti che sia sempre  $I \leq 1$ , sebbene si suggerisca, ove possibile, di tendere verso un limite più piccolo, e cioè 0.5; in caso contrario, il materiale viene identificato come "critico" per contenuto di radioattività naturale. Naturalmente dietro questi valori massimi di  $I$  c'è un criterio di limitazione della dose di radiazioni alla quale si espongono le persone a causa dei materiali da costruzione utilizzati per edificare la struttura. Più precisamente, un modello di calcolo correla i limiti suddetti per  $I$  di 1 e 0.5 a una dose efficace annua rispettivamente di 1mSv/y e 0.3mSv/y in eccesso rispetto al fondo naturale.

In verità, molti paesi sia europei (es. Austria, Finlandia, Germania, Lettonia, Lituania, Lussemburgo, Norvegia, Polonia, Repubblica Ceca, Russia, Slovacchia, Slovenia, Svezia) che extraeuropei (es. Brasile, Cina, Israele, Paesi del Golfo Persico), hanno già stabilito nel proprio quadro normativo un limite alla concentrazione di attività nei materiali da costruzione, proprio facendo uso dell'indice  $I$ . Tuttavia, non vi è consenso unanime nella scelta dei coefficienti che appaiono a denominatore nella combinazione lineare di definizione di  $I$ , i quali risultano

diversi da paese a paese e, all'interno dello stesso paese, spesso variano in dipendenza del materiale e dell'utilizzo cui è destinato (abitazioni, strade, edifici industriali). Da questa eterogeneità di criteri e mancanza di uniformità a livello internazionale, nasce l'esigenza per i singoli paesi di certificare un materiale edilizio in caso di esportazione all'estero, elencando in dettaglio la concentrazione di attività di ciascun radionuclide presente.

Va detto infine che a ulteriore complicazione e come ulteriore elemento di confusione non c'è nemmeno coerenza nel modo di imporre il vincolo sull'indice  $I$ . A volte infatti è richiesto che sia  $I$  strettamente minore di uno, a volte è invece ammesso che sia minore o uguale a 1.

## 5.2 LE MISURE RADIOMETRICHE SUI MATERIALI DA COSTRUZIONE

A seguito delle elevate concentrazioni di radon riscontrate nelle scuole di Canonica, Sugano, Giove, Castel Giorgio, Guardia, Orvieto e Porano, il Servizio di Fisica Sanitaria dell'Università degli Studi di Perugia ha eseguito, in occasione dei sopralluoghi effettuati, misure radiometriche su alcuni campioni di materiale edilizio prelevato nelle suddette scuole, al fine di caratterizzarne il contenuto di radioattività naturale.

Sono state eseguite analisi in spettrometria gamma su materiali da costruzione prelevati nelle scuole che avevano mostrato "criticità" dal punto di vista radon, ovvero il superamento del limite di 500 Bq/m<sup>3</sup> prescritto per i luoghi di lavoro sotterranei dal D.Lgs 241/00. Questo allo scopo di identificare i principali radionuclidi presenti e di quantificarne l'attività. Le analisi sono state specificamente mirate alla ricerca dei radionuclidi naturali (NORM) e sono state eseguite con uno spettrometro al germanio ad alta risoluzione del tipo HpGe della EG&G ORTEC, seguendo un metodo "normato", precisamente la norma UNI 10797 che descrive la tecnica di determinazione dei radionuclidi naturali nei materiali da costruzione. Come già detto, erano stati preventivamente compiuti dei sopralluoghi tecnici per individuare i punti di prelievo più opportuni in cui effettuare i campionamenti di materiale, in modo da ottenere la massima significatività dei dati.

Spesso sono stati esaminati, oltre al materiale da costruzione vero e proprio, anche saggi dell'intonaco poiché in esso, a volte, era osservabile a vista la presenza di pozzolana (materiale tufaceo), che in passato era d'uso miscelare all'impasto degli intonaci per le sue proprietà leganti.

### 5.3 I RISULTATI DELLE MISURE SUI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Le misure effettuate sui materiali da costruzione hanno evidenziato come in alcune realtà territoriali dell'Umbria, il contributo che questi apportano al valore finale di concentrazione di radon, non sia assolutamente trascurabile.

Di seguito sono descritti, scuola per scuola, i risultati delle misurazioni sui campioni prelevati nel corso dei sopralluoghi, mentre in tab.16 sono riportati i valori di concentrazione, oltre che di K-40, Ra-226 e Th-232, anche di U-238, Ra-228 e Th-228, in ottemperanza alla UNI 10797, e l'indice  $I$ .

- *scuola di infanzia di Canonica*: il campionamento è stato eseguito sul materiale del muro esterno poiché, in fase di sopralluogo, è risultata immediatamente palese la presenza di tufo appena sotto l'intonaco. I risultati delle misure di spettrometria gamma hanno evidenziato come il maggior contributo al superamento dell'unità per l'indice  $I$  fosse determinato dalla catena del Th-232;
- *scuola primaria di Sugano*: l'analisi è stata eseguita sul materiale prelevato dal muro esterno dove, in fase di campionamento, sono risultati evidenti blocchi di roccia vulcanica. Il contributo al superamento dell'unità per l'indice di concentrazione  $I$  è attribuibile in maniera preponderante al Th-232 e al K-40;
- *scuola di infanzia di Giove*: i campioni di materiale edilizio sono stati prelevati dal muro interno di un'aula, dall'intonaco e dal muro di un locale posto al di sotto di questa, nonché dalla roccia di una cantina interna alla scuola. I risultati delle misurazioni evidenziano come la roccia della cantina fosse scarsamente ricca di radionuclidi naturali ( $I=0,47$ ), mentre ad alto tenore di radioattività sono risultati il locale al di sotto della scuola stessa ( $I=1,84$ ) e il muro dell'aula ( $I=1,53$ ); il tutto ad indicare come l'elevata concentrazione

di radon dovesse essere attribuibile, per questo edificio, esclusivamente al materiale da costruzione, più esattamente all'intonaco;

- *asilo nido di Orvieto*: durante il sopralluogo è risultato subito evidente come le mura dell'edificio fossero costruite in blocchi di tufo a vista: in questo caso, tutti i termini che definiscono l'indice  $I$  contribuiscono in egual misura al superamento dell'unità;
- *scuola di infanzia e primaria di Porano*: il campionamento è stato eseguito prelevando una porzione di intonaco dalle pareti di un'aula e una parte di muratura (tufo) nel locale caldaia. Il maggior contributo all'indice  $I$  è risultato provenire dal torio e dal radio;
- *scuola primaria e secondaria di Castel Giorgio*: sono stati raccolti campioni dell'intonaco di un'aula e un campione di tufo del locale a piano terra della scuola. Di nuovo, la catena del torio è risultata essere la principale responsabile dell'alto valore di  $I$ , sebbene non siano trascurabili anche potassio e radio.
- *scuola primaria e secondaria di Guardea*: sono stati analizzati due campioni di materiale provenienti dalla parte vecchia della scuola e due dalla nuova. In entrambi i casi si sono presi in esame sia l'intonaco sia il sottostante materiale di cui era costituito il muro. È interessante notare che, mentre la roccia del muro della parte vecchia è risultata avere un indice  $I$  molto basso, così non è per l'intonaco, a riprova di quanto accennato in precedenza relativamente agli additivanti spesso aggiunti alle miscele degli intonaci. Per contro, nella parte nuova, né l'intonaco né il tufo di cui è costituito il muro, superano il criterio di idoneità definito per l'indice  $I$ . Il contributo maggiore viene dal Th-232 e in seconda battuta dal Ra-226, laddove il K-40 si riscontra in basse concentrazioni, tranne che nel caso del tufo. In tale scuola sono stati inoltre campionati carotaggi del basamento, effettuati in occasione di lavori eseguiti in passato ed ancora conservati. La relazione tecnica relativa a tali reperti individuava il substrato costituito da strati di argilla rossa intermezzati da travertino. Dall'analisi di spettrometria gamma è emerso che, mentre il travertino presenta concentrazioni di

attività assai modeste rispetto ai radionuclidi naturali elencati in tabella, il campione di argilla ha un tenore di radionuclidi leggermente più alto, simile ai valori dell'intonaco della nuova porzione di edificio scolastico, almeno per torio e potassio.

5.4 CONCLUSIONI

Le analisi in spettrometria gamma ad alta risoluzione condotte su campioni di materiali edilizi provenienti dalle scuole che avevano palesato elevati valori di concentrazione di radon indoor hanno permesso di evidenziare – in forza dei valori ottenuti per il Ra-226, progenitore del radon – che il materiale da costruzione contribuisce certamente agli alti valori della concentrazione di radon registrati e, in alcuni casi, può esserne una delle cause principali.

Inoltre, salvo rare eccezioni, tutti i materiali misurati sono risultati non idonei dal punto di vista dell'indice di concentrazione di attività I, secondo i limiti ad esso

imposti nel documento *Radiation Protection 112*; questo, anche adottando il vincolo meno restrittivo per I (valore 1 e non 0.5).

La discriminazione dei diversi radionuclidi presenti e la misura delle loro singole concentrazioni di attività ha permesso di stabilire come, spesso, il contributo preponderante al valore di I, nella sua sommatoria di definizione, viene dal Th-232 e dal K-40 e che, inoltre, lo stesso si può dire per il quasi costante superamento dell'unità da parte di questo indice.

Quindi, in linea di principio, il fatto che quasi sempre I sia risultato superiore a 1 identifica questi materiali come "critici" anche dal punto di vista generale della dose efficace annua di radiazioni impartita agli occupanti degli immobili in questione. E' vero, tuttavia, che sono stati considerati "campioni isolati" e non casuali, selezionati appositamente per correlare le criticità riscontrate per il radon con il materiale edilizio impiegato.

Tab.16: Risultati delle misure di spettrometria gamma sui materiali da costruzione

| Scuola                                    | Campione                                  | K-40       | U-238      | Ra-226      | Th-232    | Ra-228     | Th-228      | INDICE I |
|---|---|------------|------------|-------------|-----------|------------|-------------|----------|
|   |   | (Bq/kg)    |            |             |           |            |             |          |
| Canonica Infanzia                         | Muratura esterna                          | 1507±82    | 270± 120   | 187.0±3.0   | 348 ± 14  | 336 ± 17   | 344 ± 12    | 2.85     |
| Castel Giorgio Primaria e Secondaria      | Intonaco Aula G 1° piano TUFO             | 1407± 59   | 237±34     | 153.0±5.0   | 227.1±2.5 | 225± 10    | 223.0 ± 7.0 | 2.11     |
|   | loCALE P.T.                               | 1682± 70   | 360± 110   | 180.0± 5.0  | 341.2±3.4 | 332± 14    | 337± 10     | 2.86     |
| Giove Infanzia                            | Carota muratura interna aula              | 881± 12    | 175±45     | 111.09±0.59 | 170.2±4.2 | 161.6± 3.2 | 174.0± 2.2  | 1.53     |
|   | Intonaco locale sotto scuola              | 1288± 37   | 169± 55    | 160.3± 7.6  | 243.7±5.6 | 237.7± 6.9 | 244.9± 5.0  | 2.19     |
|   | Muratura locale sotto scuola              | 1294± 30   | 216± 18    | 138.7± 6.5  | 196± 10   | 186.9± 4.4 | 190.1± 9.7  | 1.84     |
|   | Roccia cantina monastero                  | 183.5± 9.4 | 63± 10     | 8.71± 0.94  | 76.7± 2.5 | 78.3± 5.0  | 75.2±3.2    | 0.47     |
| Guardea Primaria e Secondaria di 1° grado | Intonaco muratura Aula D (parte vecchia)  | 881± 31    | 102.0±3.0  | 102.0 ±3.0  | 159.0±3.8 | 167.0± 7.0 | 154.0± 5.0  | 1.37     |
|   | Roccia muratura Aula D (parte vecchia)    | 34.6± 2.5  | 4.97± 0.24 | 4.97±0.24   | 8.38±0.37 | 8.94± 0.71 | 8.68± 0.32  | 0.07     |
|   | Intonaco muratura corridoio (parte nuova) | 915± 100   | 128.0± 9.0 | 128.0±9.0   | 173.5±9.9 | 208± 29    | 170± 11     | 1.6      |
|   | TUFO (parte nuova)                        | 1539± 73   | 146.5± 5.5 | 146.5±5.5   | 305.2±8.2 | 363± 18    | 283.0± 9.4  | 2.53     |
|   | ARGILLA carotaggio suolo basamento        | 508± 22    | 51.9± 1.7  | 51.9± 1.7   | 191.8±5.7 | 195.3± 8.3 | 194.6± 4.5  | *        |
|   | TRAVERTINO carotaggio suolo basamento     | 3.3± 1.0   | 3.55± 0.16 | 3.55±0.16   | 1.59±0.15 | 2.22± 0.33 | 1.60± 0.10  | *        |
| Orvieto Asilo Nido                        | TUFO muratura esterna                     | 2540± 110  | 578± 51    | 234.0±7.0   | 400.0±4.3 | 394± 16    | 391± 11     | 3.63     |
| Porano Infanzia e Primaria                | Intonaco aula                             | 1330± 100  | 156.0± 9.0 | 156.0±9.0   | 255.3±5.7 | 248± 14    | 255.0± 6.0  | 2.24     |
|   | TUFO muratura locale interrato            | 1738 ±79   | 223± 28    | 199.0±6.0   | 414.2±4.9 | 401± 10    | 417± 13     | 3.31     |
| Sugano Primaria                           | Roccia muratura esterna scuola            | 2153± 51   | 282± 37    | 186.0±7.0   | 495± 30   | 479± 11    | 474± 25     | 3.71     |

\* Indice non calcolato perché non riferibile a materiale da costruzione



# 6. Gli interventi di risanamento

Prima di procedere con la descrizione degli specifici interventi effettuati, è opportuno sintetizzare alcuni aspetti conoscitivi indispensabili per individuare, nei diversi casi, la soluzione del problema.

Il radon non è il solo gas pericoloso o dannoso che si può annidare all'interno di un edificio, basti pensare a quelli introdotti o prodotti dalle e per le combustioni come GPL, metano e ossido di carbonio, per i quali, tuttavia, esistono norme specifiche da rispettare al fine di prevenire possibili danni a persone o cose. Il problema del radon è accentuato dal fatto che esso risulta inodore e incolore ed è quindi difficile da individuare. Tuttavia, poiché se ne conosce la fonte, è su questa che, una volta rilevata la presenza del gas con strumenti adeguati, si deve lavorare per individuare i dati necessari alla progettazione di interventi di prevenzione e bonifica.

Gli elementi conoscitivi indispensabili per la raccolta dei dati relativi al radon sono in parte già stati illustrati al paragrafo 1, ma vengono qui ripresi ponendo l'accento su quelli che risultano di prevalente importanza per le azioni di risanamento:

- *caratteristiche del gas*: inodore, incolore, chimicamente inerte, di peso superiore all'aria, moderatamente solubile in acqua, con capacità di miscelarsi con l'aria. Da un punto di vista sanitario, acquista interesse solo negli ambienti confinati in quanto in volumi d'aria molto grandi la sua concentrazione risulta molto bassa;
- *origini del gas*: la fonte principale di emanazione è il suolo la natura del quale è in questo ambito molto importante; un'altra sorgente è costituita da alcuni materiali da costruzione, come tufo e pozzolana; altra ancora è l'acqua, in questo caso ha importanza la qualità

della stessa e le modalità di captazione e distribuzione;

- *propagazione del gas all'interno degli edifici*: trattandosi di un gas questa avviene dalle camere d'aria realizzate fra suolo e solaio, dalle sconessioni delle murature (formazioni generatesi per cedimenti strutturali, tracce e cavidotti per impianti, decadimento delle malte nelle murature realizzate con pezzame di pietra) o da vani adiacenti ricavati con semplice escavazione e tamponati con materiali discontinui. Il trasporto del radon è agevolato dal gradiente di pressione fra le cavità con forte concentrazione di gas e gli ambienti interni. La variazione della pressione, a meno di particolare esposizione ai venti, è principalmente determinata dal salto termico che si manifesta per apporto di calore all'interno dei vani verso cui si innesca l'effetto camino.

Al fine di raccogliere i dati necessari alla elaborazione del progetto di risanamento o all'adozione delle misure necessarie a contenere la propagazione del gas nelle nuove costruzioni, è opportuno effettuare analisi ed esami preventivi del tipo: analisi del rapporto suolo – edificio; analisi degli elementi costruttivi, con particolare riguardo alla qualità delle pietre e delle malte; analisi delle modalità costruttive; esame della configurazione geometrica dei vani e delle loro interconnessioni e comunicazioni.

## 6.1 INTERVENTI EFFETTUATI NEL TERRITORIO COMUNALE DI ORVIETO

Dai rilievi effettuati dai tecnici dell'Arpa negli edifici scolastici del Comune di Orvieto, sono stati riscontrati valori di concentrazione di radon superiori al limite imposto in alcuni vani di tre edifici, tutti ricadenti nell'area del territorio comunale ad ovest del fiume Paglia, area di origine vulcanica.

Sulla scorta di tali valori, si è proceduto a raccogliere i dati con le analisi e gli esami dei singoli edifici, al fine di individuare gli interventi necessari. Tali interventi sono stati sia di tipo passivo (modifica delle geometrie degli elementi costruttivi al fine di garantire una ventilazione naturale), che di tipo attivo (impiego di apparecchiature elettromeccaniche).

#### 6.1.1 Edificio sede dell'asilo nido di Orvieto centro

I vani in cui è stata rilevata una discreta presenza di radon sono quattro: la "2<sup>a</sup> Aula Area Bambini" al piano rialzato (A), la lavanderia nel seminterrato (P), l'aula "Sez. Grandi" al piano terra (U) e il "Dormitorio medi" adiacente all'aula Sez. Grandi al piano terra (S).

- 2<sup>a</sup> Aula Area Bambini (A): il locale presentava due pareti, una esterna ed una confinante con una proprietà privata, foderate internamente con mattoni forati atti a creare una intercapedine per limitare gli effetti dell'umidità. Tale intercapedine era stata areata verso l'interno del vano con piccole griglie circolari. Dall'analisi delle condizioni di confine si è appurato che il locale adiacente, di altra proprietà, era un magazzino con accesso a vani interrati scavati nel terreno e che la muratura di separazione era piuttosto antica e non perfettamente compatta. L'intervento è consistito nel chiudere le griglie interne al vano sulla contro parete in forati e aprire due asole – una in alto e l'altra in basso – sulle murature esterne, in modo che tutta l'intercapedine comunicasse con l'esterno e fosse interessata da una circolazione d'aria naturale. Successivamente, si è provveduto ad applicare alla fodera alcuni pannelli coibentanti, al fine di conservare le condizioni termiche del vano altrimenti alterate dall'apporto di aria esterna sull'intercapedine.
- lavanderia (P): il vano era areato naturalmente (feritoie di grandi dimensioni) attraverso un cunicolo in muratura, totalmente interrato, aperto agli estremi sull'esterno. Si è intervenuti applicando un estrattore con grande portata e bassa pressione ad una delle estremità, al fine di garantire un "lavaggio" periodico del cunicolo per mantenere lo stesso ed i locali con esso comunicanti in lieve depressione.

- Aula "Sez. Grandi" (U): la sala al piano terra si è rivelata una vera sorpresa poiché si tratta di una struttura realizzata recentemente (fine anni sessanta) con muratura di tipo compatto, grandi superfici vetrate con infissi a discreta tenuta e solaio sospeso rispetto al suolo, formante una camera d'aria che comunica con l'esterno attraverso piccole griglie ricavate nelle murature perimetrali; anche il pavimento era in buone condizioni e sembrava assicurare la tenuta. L'unica fonte di radon non poteva dunque che essere il suolo; quindi il solaio, contrariamente alle aspettative, non era in grado di assicurare la tenuta e le prese nella camera d'aria non erano sufficienti. Con molta probabilità la sala adibita a giochi per bambini, tenuta a temperatura alta durante il giorno, a causa delle grandi superfici vetrate, subisce un forte abbassamento di temperatura durante la notte.

Parallelamente, nella camera d'aria a contatto con il suolo, quando non avviene l'aspirazione per depressione verso l'alto, cioè verso l'ambiente utilizzato, si ha tendenza, per mancata aspirazione di aria dall'esterno, alla formazione di una maggiore concentrazione di gas; per cui, quando riparte l'effetto camino, per aumento della temperatura del vano, la miscela aspirata anche attraverso fessure minime è sufficiente a far riscontrare la presenza del radon. In questo caso, il rimedio che si può attuare è quello di garantire una migliore areazione del volume sotto il solaio.

Esaminando la scarsa letteratura in materia si registrano pareri discordanti in merito alla metodologia: creare una depressione (aspirando) o una scarsa pressione (immettendo aria nuova). È quindi opportuno sia effettuare dei calcoli valutando la superficie delle griglie e le portate che possono essere messe in gioco, sia adeguare il sistema scelto con verifiche sperimentali successive che consentano di contenere, a parità di risultati, rumore e costi di gestione.

Nel caso specifico, è stato introdotto un estrattore con una discreta prevalenza, poiché si è scelto di lasciare le piccole griglie esistenti.

Allo stesso tempo, si è provveduto a regolare il funzionamento con un temporizzatore in grado di garantire il lavaggio della camera d'aria prima della formazione dell'effetto camino prodotto dal gradiente termico.

- *Dormitorio medi (S)*: poiché risultava difficile attuare la ventilazione del piccolo solaio, in questo vano si è pensato in un primo momento di attuare un intervento "provvisorio" (secondo la classificazione data da Arpa Veneto nella guida pratica "Il radon in Veneto", gli interventi si distinguono in "provvisori", "di rimedio" e "preventivi").

L'intervento è consistito nell'applicare un piccolo estrattore al sesto fisso della porta-finestra. Poiché il risultato è stato deludente, si è proceduto a praticare due piccoli cunicoli per raggiungere la camera d'aria sottostante al solaio del vano, canalizzando poi uno di questi all'estrattore dell'Aula "Sez. Grandi" (U) ed utilizzando il secondo per l'immissione naturale.

### 6.1.2 Edificio sede della scuola dell'infanzia di Canonica

Piccolo edificio costituito dal solo piano rialzato, realizzato nei primi anni '70, in buone condizioni al momento dell'indagine, con murature portanti in blocchetti di tufo rivestito alla base con pietra basaltica e superiormente ben intonacato.

Le misurazioni hanno evidenziato la presenza del radon nei due vani ben areati utilizzati come aule.

Dall'analisi della struttura è emerso che il pavimento era allettato su una soletta non eccessivamente consistente, che andava a saturare un vespaio di forte spessore realizzato con pietra basaltica. In questo caso, si è pensato di effettuare un intervento radicale rimuovendo tutto il vespaio, realizzare un getto di calcestruzzo magro, creare un vuoto di circa 30 cm con elementi plastici prefabbricati e ripristinare getto e pavimento superiormente.

Il nuovo solaio, con intercapedine areata con griglie di sezione ed orientamento (sud - nord) volte a consentire la ventilazione naturale, congiuntamente all'uso di materiali adeguati, hanno portato alla bonifica dell'edificio.

### 6.1.3 Edificio della scuola primaria di Sugano

Nel caso degli edifici precedentemente esaminati, i valori relativi alla presenza di radon hannp destato sorpresa. Nella scuola di Sugano, invece, c'erano tutti gli elementi per riscontrare valori elevati, anche se non con la sistematicità rilevata persino in condizioni di esercizio intenso. In queste condizioni, infatti, si presuppone una discreta frequenza di ricambi d'aria, da cui consegue un abbattimento della concentrazione del gas.

L'analisi degli elementi costruttivi, risalenti alla seconda metà dell'800, ha evidenziato:

- pavimento in marmette di cemento allettate con malta pozzolanica su un vespaio di piccolo spessore;
- muratura in pezzame di pietra locale di origine vulcanica mista a basalto, legata con malta incoerente senza intonaco esterno e con intonaco interno molto poroso e piuttosto degradato.

L'edificio, isolato, è articolato su due piani collegati da un vano scala non compartimentato. Un aspetto, questo, che si ritiene possa costituire la causa principale della presenza del gas anche al piano superiore, ma non la sola. Infatti, la propagazione del radon all'interno dei vani proviene sicuramente dal pavimento, ma non esclusivamente: un ulteriore contributo è dato dalle murature, che risultano di elevato spessore e con molteplici cavità interne. Le sigillature deteriorate delle pietre esterne, con la particolare esposizione ai venti ed il gradiente termico, agevolano l'immissione del gas dalle cavità ai vani.

Per questo edificio, la rilevanza degli interventi da effettuare ha consigliato la delocalizzazione dell'attività scolastica e la definizione di una nuova destinazione d'uso. Allo stesso tempo, è stato redatto un progetto di rifunzionalizzazione con interventi preventivi rispetto alla manifestazione del fenomeno. In particolare, il progetto prevede:

- lo smantellamento della pavimentazione del piano terra e la realizzazione di un solaio sospeso, secondo le modalità già descritte per la scuola di Canonica;
- la rimozione degli intonaci e la sigillatura esterna delle pietre, con inserimento di malte a ritiro compensato per eliminare drasticamente le cavità

- e garantire la struttura anche al fine degli effetti dinamici;
- la ricomposizione dell'intonaco e delle pavimentazioni;
- l'inserimento di impianti di climatizzazione in grado di garantire adeguati ricambi d'aria (facilmente attuabili in ragione della futura destinazione d'uso).

### 6.2 EDIFICIO DELLA SCUOLA D'INFANZIA E PRIMARIA DI PORANO

L'edificio, di ampia superficie, è costituito da un piano rialzato ed un primo piano. Il piano rialzato è suddiviso in tre porzioni, la prima delle quali è localizzata sopra il locale caldaia, la seconda sopra il vespaio ventilato e la terza a contatto con il substrato costituito da tufi litoidi.

I valori di concentrazione di radon più elevati sono stati riscontrati nelle aule (A), (B) e polivalente (E), situate al piano rialzato; di queste, le prime due sono situate sul vespaio ventilato, mentre l'aula polivalente poggia sul substrato.

L'analisi sul materiale da costruzione ha evidenziato come anche la muratura in tufo e l'intonaco contribuissero all'elevato tenore in radon, ma come l'apporto del substrato risultasse prevalente nei valori di concentrazione finale. Di fatto l'aula polivalente (E), poggiando direttamente sul substrato, costituiva una sorta di serbatoio di radon che andava ad incrementare il valore di concentrazione del gas nelle aule (A) e (B) della scuola d'infanzia, attigue tra loro, che insieme all'aula polivalente (E) risultavano corpo a sé stante all'interno dell'edificio, in quanto separate da una porta a vetri interna ad elevata tenuta.

Le azioni di bonifica sono pertanto consistite nel rifacimento del pavimento dell'aula polivalente tramite la realizzazione di un solaio areato con elementi in materiale plastico (cd. "igloo").

### 6.3 EDIFICIO DELLA SCUOLA PRIMARIA E MEDIA DI CASTEL GIORGIO

La struttura, realizzata in tempi diversi, è così articolata:

- un primo fabbricato di due piani, il più basso dei quali poggia su un vespaio non ventilato;
- un secondo fabbricato, di più recente realizzazione, che grava direttamente sul substrato ed è costituito da due corpi, cucina (K) e mensa (O), comu-

nicanti tra di loro attraverso un semplice corridoio e collegati al fabbricato principale da una scala a ridosso della mensa;

- un terzo fabbricato, di recentissima realizzazione, completamente a sé stante adibito a scuola d'infanzia.

Il substrato su cui insiste l'intera struttura è di origine lavica, mentre il materiale da costruzione impiegato è costituito da tufo per il primo fabbricato e da cemento e laterizi per gli altri due.

I locali in cui si sono riscontrati i valori più elevati di radon sono le aule (A), (B) e (C), tutte situate al piano rialzato dell'ala a destra dell'ingresso dell'edificio di più vecchia realizzazione, dove la presenza di un vespaio non ventilato costituisce la fonte primaria del gas, alla quale si aggiungono i contributi forniti dal tufo utilizzato per la muratura e degli intonaci di pozzolana. Per contro, nell'ala a sinistra dell'ingresso del vecchio edificio, la presenza di un vespaio parzialmente ventilato ha fatto registrare valori di concentrazione di radon più contenuti. Nelle porzioni più recenti della struttura, poi, costruiti con materiali a basso tenore di radon, come laterizi e malte cementizie, la concentrazione del gas è risultata più bassa nei locali mensa e cucina e addirittura minima nella scuola d'infanzia.

Gli interventi eseguiti hanno riguardato, in prima battuta, l'applicazione di estrattori d'aria alle finestre delle sole due aule monitorate nella prima campagna di misura. Questo allo scopo di abbattere il valore di concentrazione di radon in attesa dei risultati medi annui di tutti i locali dell'edificio. Successivamente, si è provveduto ad areare la porzione di vespaio non ventilato e ad incrementare la ventilazione di quella parzialmente ventilata.

### 6.4 EDIFICIO DELLA SCUOLA PRIMARIA E MEDIA DI GUARDEA

L'edificio è strutturato in due corpi di fabbrica realizzati in epoche successive: il primo corpo, poggiante direttamente sul substrato, è stato realizzato in pietra travertinica, mentre il secondo, costruito in tufo, poggia su un vespaio ventilato.

I locali in cui sono stati riscontrati i valori più elevati di radon appartengono sia al corpo vecchio – aule (D) e (F) – che a quello nuovo, occupato dal laboratorio informatico (C). L'analisi dei materiali da costruzione ha evidenziato come le

elevate concentrazioni di radon fossero imputabili, relativamente alle aule (D) e (F), alla componente argillosa del basamento travertinico e agli intonaci a base pozzolanica, mentre per il laboratorio informatico (C) esclusivamente ai materiali da costruzione impiegati: il tufo per la muratura e la malta pozzolanica per gli intonaci. Di fatto, le misure di spettrometria gamma eseguite sui materiali da costruzione avevano individuato per i campioni di tufo indici *I* decisamente maggiori di 1, mentre per il travertino valori molto inferiori ad 1.

Le azioni di bonifica, realizzate a completamento di interventi strutturali, già programmati e finalizzati al consolidamento delle fondazioni della parte vecchia dell'edificio e di alcune porzioni di muratura in cui erano state evidenziate delle fessurazioni, hanno pertanto riguardato:

- la rimozione del basamento argillo-travertinoso della porzione vecchia dell'edificio al piano terra;
- la realizzazione di una camera d'aria ventilata sotto il pavimento;
- l'aumento del numero dei fori di areazione del vespaio della porzione nuova al piano terra;
- la realizzazione di nuovi intonaci a base di calce in tutti i locali dell'edificio.

#### 6.5 CONCLUSIONI

Le soluzioni al problema della propagazione del radon individuate per le scuole sottoposte a bonifica hanno mostrato come, nella costruzione e restauro di edifici, spesso, gli interventi possano risultare risolutivi anche rispetto ad altre problematiche.

Infatti, non si possono analizzare le strutture ai fini dell'allontanamento del radon prescindendo dalle norme che regolamentano la distribuzione e l'uso degli altri gas presenti, da quelle di prevenzione incendi – relativamente alla propagazione dei fumi – da quelle sulla installazione degli impianti e sull'isolamento termico degli edifici e, infine da quelle sulla capacità resistente delle strutture dal punto di vista statico e sismico.

Per questo, al fine dell'individuazione delle modalità di intervento più corrette, sono fondamentali le fasi di analisi preventiva del contesto ambientale e di accurata verifica del progetto.



# 7. Risultati finali e conclusioni

## 7.1 RISULTATI FINALI

L'attività di monitoraggio del radon nelle scuole, avviata nel 2005 con una serie di misure a breve termine nel periodo invernale e nel periodo estivo, si è conclusa definitivamente nel gennaio del 2010, a seguito delle misure annuali effettuate per verificare la bontà delle azioni di rimedio poste in atto. L'attività ha riguardato nel complesso 120 scuole ubicate in 112 edifici, per un totale di 300 locali monitorati. Gli edifici con necessità di azioni di rimedio sono risultati essere 7, ma solo in cinque di essi sono state attuate tali azioni: per l'edificio situato in località Sugano, infatti, si è preferito trasferire totalmente l'attività didattica presso un'altra struttura, di recente costruzione e ubicata in un'area del comune di Orvieto a basso tenore di concentrazione di radon; nella scuola di infanzia di Giove, invece, non si è ancora potuto procedere con la verifica delle

azioni di rimedio, essendosi queste concluse solo nell'estate del 2011.

I locali monitorati sono stati tutti risanati, facendo registrare, nel corso delle misurazioni eseguite l'anno successivo valori di concentrazione inferiori a 400 Bq/m<sup>3</sup>, eccezion fatta per un locale della scuola di Guardea adibito a magazzino temporaneo. La fig.26 riporta i valori di concentrazione di radon registrati prima e dopo le azioni di rimedio, mentre la fig.27, illustra la distribuzione in intervalli di frequenza dei valori di concentrazione di radon dopo le azioni di rimedio. Come è possibile notare i valori di concentrazione media degli interi edifici hanno subito, a seguito degli interventi di bonifica, decrementi medi del 50%, con un valore massimo del 70%.

In tutti gli edifici nei quali è stato necessario adottare azioni di rimedio è sempre risultata presente la componente materiale da costruzione, intendendo

Fig.26 - Valori di concentrazione medi annui dei locali monitorati prima e dopo le azioni di bonifica

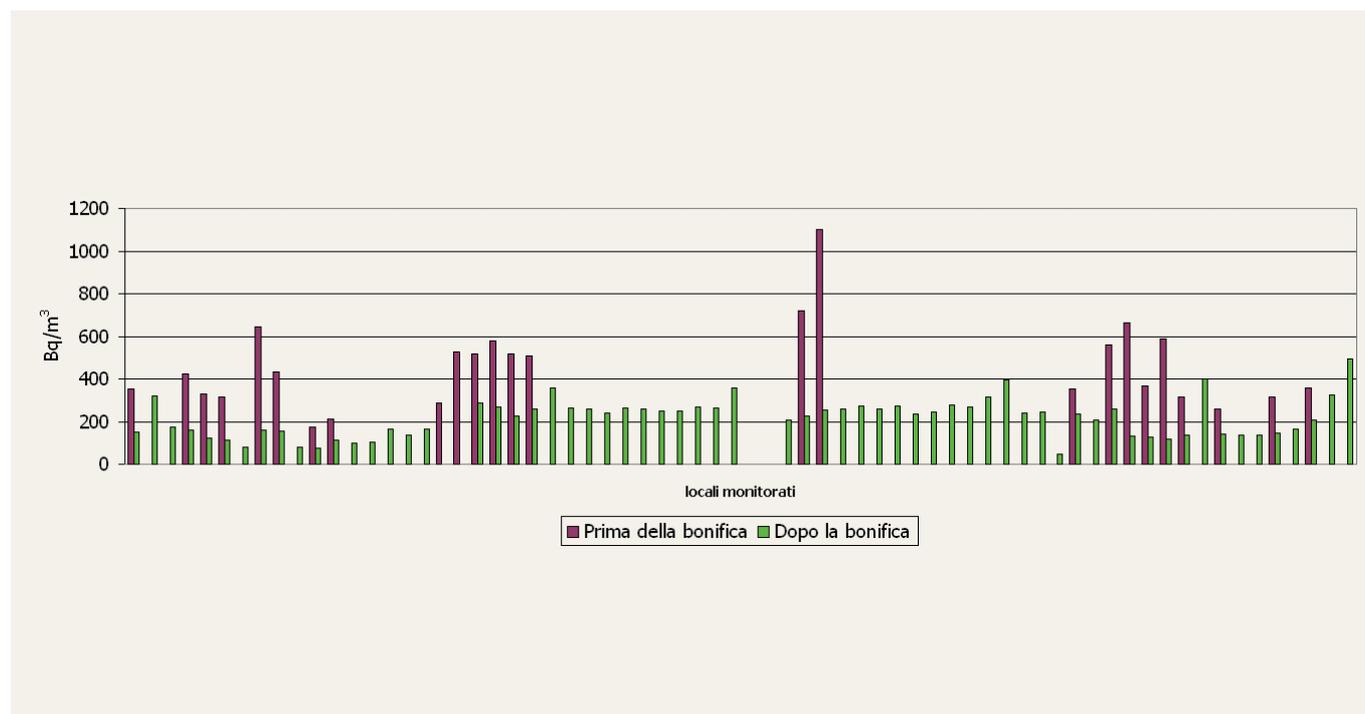
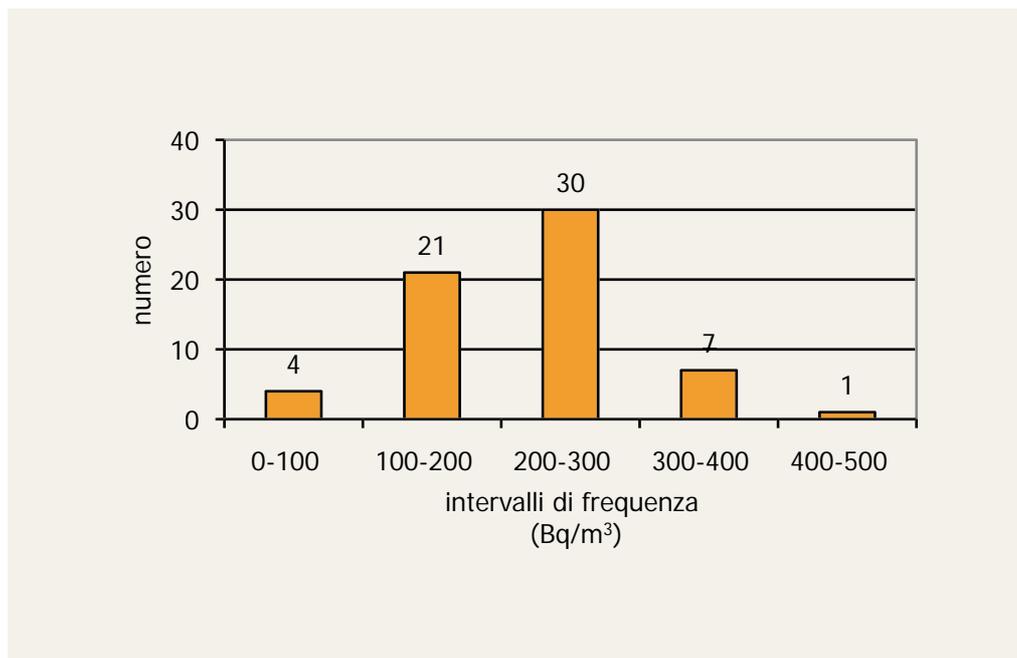


Fig.27 - Frequenza di distribuzione per intervalli di concentrazione di attività di radon dei locali monitorati dopo il risanamento



con questo non solo il materiale utilizzato per la costruzione dell'edificio, ma anche semplicemente l'intonaco applicato alle pareti interne. In presenza di pareti realizzate con materiale tufaceo e su di un substrato particolarmente attivo, la presenza di un vespaio ventilante ha rappresentato il fattore discriminante per l'abbattimento dei valori di concentrazione di radon. La situazione più critica è risultata quella in cui si sono stati riscontrati contributi elevati dal substrato, dal materiale da costruzione, dagli intonaci e dall'assenza di un vespaio ventilato. In alcuni casi, la compresenza di tali fattori ha addirittura impedito ogni intervento. La realizzazione di un vespaio o la sua ventilazione hanno risolto le criticità e si è visto come il contributo dell'intonaco non possa essere assolutamente trascurato. Infine, la presenza di un solaio in cemento e materiale a basso indice *I* possono risultare determinanti nell'abbattere i valori di concentrazioni di radon in zone particolarmente critiche, a patto che possa essere garantita l'integrità del solaio stesso.

## 7.2 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

La campagna di misura della concentrazione di gas radon nelle scuole dell'Umbria, nonostante per diversi motivi – comprese le limitate risorse dell'Agenzia – abbia interessato un numero circoscritto di edifici, con una durata delle misurazioni piuttosto contenuta, ha di fatto centrato gli obiettivi prefissati relati-

vamente all'implementazione del numero delle aree regionali monitorate, all'individuazione delle peculiarità che l'aspetto radon assume all'interno del territorio e dell'edilizia scolastica e, infine, all'emersione delle criticità e alla loro soluzione. Procedendo per punti, l'attività svolta ha consentito di evidenziare come:

1. in Umbria la problematica radon non sia attribuibile esclusivamente alle caratteristiche geologiche di alcuni territori, ma anche ai materiali da costruzione impiegati sia nella realizzazione delle murature (tufi, pietre laviche) che in quella degli intonaci (pozzolane) e come queste tre componenti possano indifferentemente presentarsi o meno in associazione tra loro;
2. le scuole, a causa della loro estrema peculiarità tecnico-costruttiva e occupazionale, costituiscano un'entità a sé da monitorare singolarmente e nella totalità dei locali che le compongono;
3. un monitoraggio a breve termine condotto nel periodo invernale rappresenti un utile *screening* per focalizzare lo studio sugli edifici con evidenti necessità di intervento ma, allo stesso tempo, non sia esaustivo nella individuazione di tutte le criticità;
4. il sopralluogo rivesta primaria importanza non solo per l'individuazione delle vie di ingresso del radon, ma anche in situazioni di concentrazione disomogenea di gas, con un preponderante accumulo in alcuni locali piuttosto che in altri;

5. una buona modalità costruttiva, intesa come tipologia edilizia associata a materiali da costruzione a basso potere di emanazione di radon, risulti efficace in aree ad alto rischio radon;
6. il risanamento sia quasi sempre possibile e sostenibile, sia economicamente che tecnicamente, da parte delle amministrazioni locali;
7. l'aspetto radon vada tenuto in debita considerazione nel momento in cui viene progettata un'attività di ristrutturazione;
8. non vi sia a tutt'oggi una diffusa conoscenza del problema radon da parte delle amministrazioni locali.

Per quanto riguarda i futuri sviluppi dell'attività fin qui illustrata, anche in prospettiva di un abbassamento dei valori limite che la Commissione Europea intende adottare (*Laying down basic safety standard for protection against the dangers arising from exposure to Ionizing Radiation*) appare quanto mai necessario riunire risorse e competenze per la non più rimandabile mappatura delle *radon prone areas* nella regione, proseguendo al contempo con il monitoraggio di piccoli gruppi di edifici scolastici nei quali è prevista un'attività di ristrutturazione.



# Appendice



# A. Il questionario inviato alle scuole

## QUESTIONARIO INFORMATIVO RIFERITO AL MONITORAGGIO DELLE TIPOLOGIE COSTRUTTIVE DEGLI EDIFICI SCOLASTICI CON PROBABILITÀ DI PRESENZA DI RADON (COMPILARE PER OGNI SINGOLO EDIFICIO SCOLASTICO)

**1. Tipo di struttura:**

- Asilo nido     
  Scuola materna     
  Scuola elementare     
  Scuola media inf.     
  Scuola media sup.

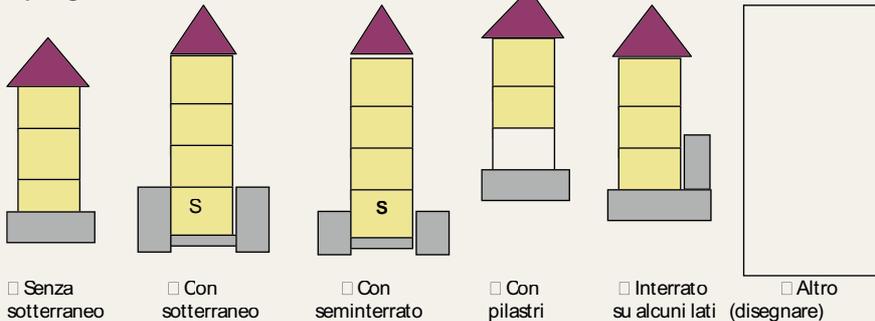
**2. Comune:** .....

**3. Nome Scuola:** .....

**4. Indirizzo:** .....

**5. Anno di costruzione edificio (anche indicativo)** .....

**6. Tipologia edilizia:**



**7. n° piani edificio (compreso il piano più basso)** .....

| Identificazione piano   | ST | S | T | 1° | 2° | 3° | 4° |
|-------------------------|----|---|---|----|----|----|----|
| Superficie interna (mq) |    |   |   |    |    |    |    |
| n° aule                 |    |   |   |    |    |    |    |
| n° pacini               |    |   |   |    |    |    |    |
| n° erie inidici         |    |   |   |    |    |    |    |
| n° locali preparativi   |    |   |   |    |    |    |    |

**8. Materiale di costruzione prevalente:**

- cemento   
  laterizi   
  pietra   
  tufo   
  legno   
  metallo  
 altri   
 altre peculiarità

**DATI DEL COMPILATORE DEL QUESTIONARIO:**

Nome ..... Cognome ..... Qualifica .....

Telefono ..... fax ..... e-mail: .....

**Eventuali note aggiuntive e/o osservazioni:**

.....

.....

.....

.....



## B. Il sistema di misura utilizzato e il controllo della qualità del dato

Il sistema di misura individuato per le campagne di monitoraggio ha contemplato l'utilizzo di rivelatori di tipo passivo ad integrazione che non necessitano di apporto energetico per il loro funzionamento e sono in grado di "registrare" la concentrazione di radon per lunghi periodi di esposizione.

Il rivelatore del dispositivo di misura è costituito da una pellicola di nitrato di cellulosa (LR115 Kodak) dello spessore di circa 12 mm, depositata su supporto trasparente di poliestere di circa 100 mm e sensibile alle particelle alfa con energia, inferiore a 4 MeV. Nell'attraversare il film le particelle emesse rilasciano energia provocando, così la rottura della catene polimeriche della pellicola con formazione di tracce latenti in numero proporzionale alla concentrazione di radon. Tali tracce sono poi rese evidenti attraverso un attacco chimico, con idrossido di sodio al 10%, che attacca la pellicola in prossimità della traccia ingrandendola sino a renderla passante. Il conteggio dei fori presenti sulla pellicola è successivamente determinato tramite un contatore automatico, *Spark-replica-Counter*, che conta le scintille

prodotte dalla differenza di potenziale applicata ai due lati della pellicola, che attraversano il film in corrispondenza dei fori presenti sulla sua superficie. Dalla densità di tracce, dal tempo di esposizione e dal fattore di taratura specifico per ogni set di materiale utilizzato si risale alla concentrazione di radon.

Il dispositivo di campionamento, ovvero il dosimetro, è costituito da due rivelatori, alloggiati su di un telaio di plastica e coperti da un foglio di policarbonato alluminizzato che riduce l'energia cinetica della radiazione alfa a energie inferiori a 4 MeV. L'insieme è contenuto all'interno di una bustina di polietilene permeabile al radon ma non ai suoi figli. Tale dosimetro, predisposto dall'ENEA/DISP (attuale ISPRA) per la campagna nazionale del radon nelle abitazioni offre diversi vantaggi per il suo impiego in grandi campagne di misura: è di piccole dimensioni, non richiede alimentazione elettrica per il suo funzionamento, integra su lunghi periodi di misura, è di facile allestimento e soprattutto di basso costo. L'unico svantaggio, in presenza di elevate concentrazioni di radon, è il rischio di una sua

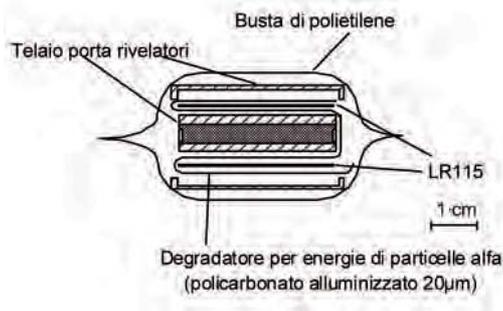


Dispositivo di misura: dosimetro.  
A sinistra il dosimetro pronto per l'utilizzo, a destra il dosimetro aperto.

saturazione con conseguente perdita di informazioni per sovrapposizione di più di una traccia sullo stesso punto della pellicola. Tale inconveniente è ovviato esponendo i dosimetri per periodi limitati e sostituendoli con maggiore frequenza nell'arco di un anno.

L'incertezza di misura associata a tale metodo è stimata pari al 30% per valori di concentrazione inferiori o uguali a 50 Bq/m<sup>3</sup> e al 20% per valori superiori.

Schema del dosimetro (immagine tratta dalla tesi di laurea di Camisasca S - *vd. bibliografia*).



I dosimetri sono posizionati in coppia in un luogo indisturbato e distante da porte e finestre, ad un'altezza di almeno 150 cm dal pavimento - preferibilmente sopra un armadio o uno scaffale - lontano da luce solare diretta, da zone ad elevata umidità e da fonti d'aria causate da riscaldamento, ventilatori e condizionatori d'aria.

Il risultato della misura è determinato dalla media dei valori di concentrazione di una pellicola per ciascun dosimetro.

La qualità del dato è stata assicurata attraverso la partecipazione ad interconfronti con APAT (2006) ed HPA (2007).

Poiché la partecipazione a tali interconfronti è avvenuta ad indagine avviata, si è proceduto con il posizionamento, in alcune aule, di dosimetri di Arpa in accoppiata con dosimetri dell'Università degli Studi di Perugia.

# C. Le scuole

## Asilo nido "Arcobaleno" di Orvieto centro Comune di Orvieto

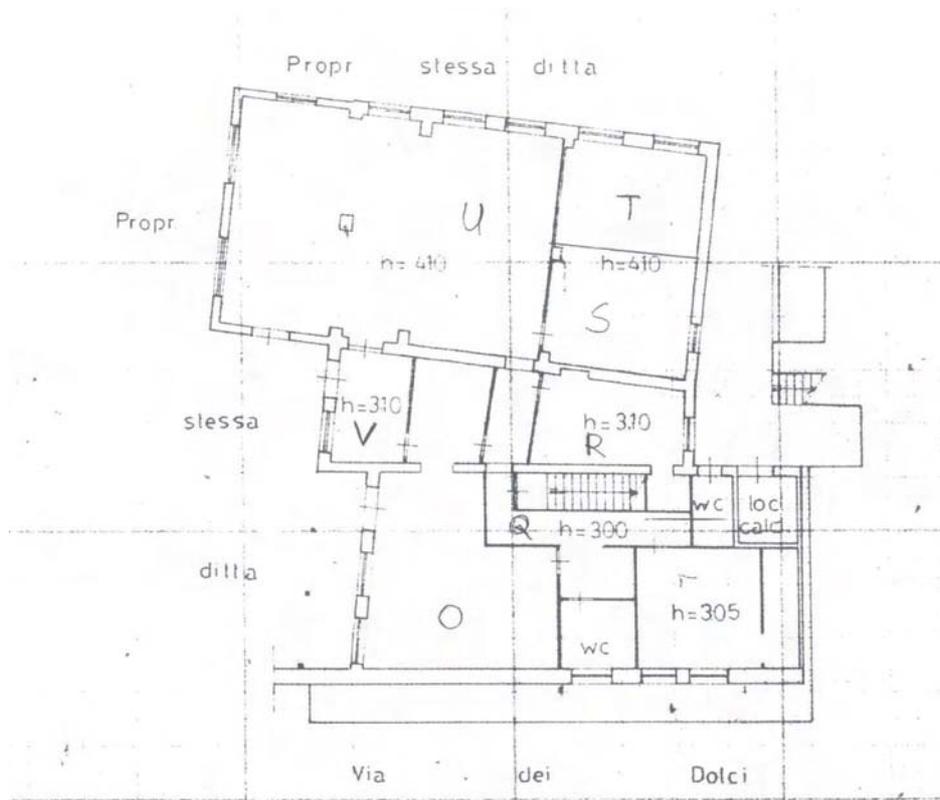


Aspetto esterno dell'edificio (in alto, ingresso al piano superiore; in basso, ingresso al piano inferiore)

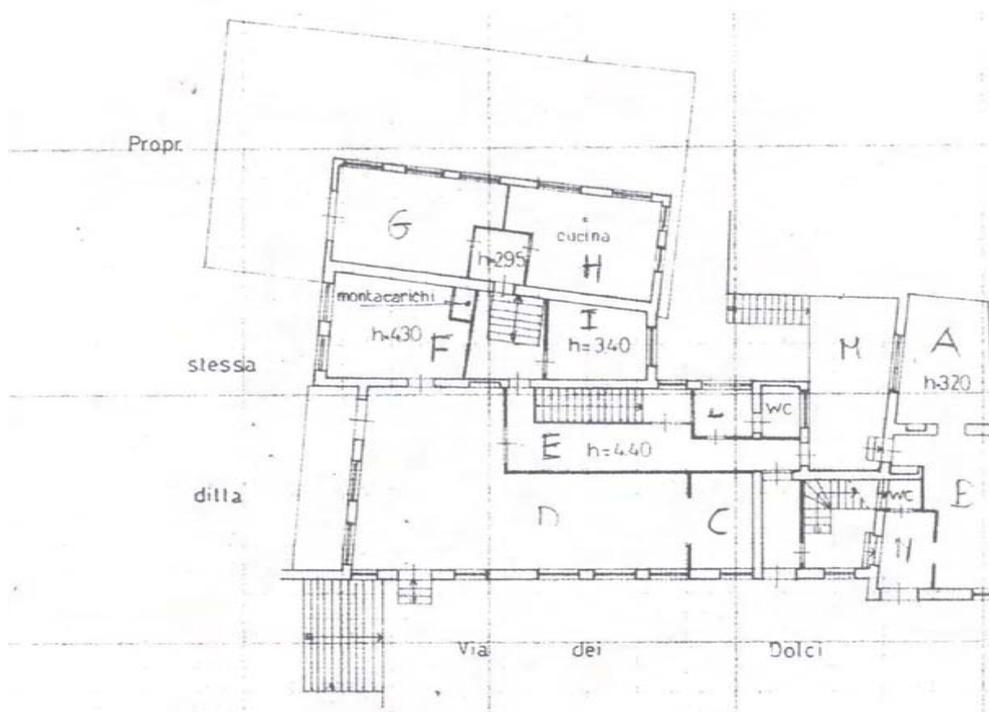


### Caratteristiche dell'edificio, monitoraggi e azioni di rimedio

|                    |  |                            |
|--------------------|--|----------------------------|
| Struttura edificio | Anno di costruzione  | 1880                       |
|                    | Piani dell'edificio  | 3                          |
|                    | Piano più basso dell'edificio                                  | Interrato su alcuni lati   |
|                    | Localizzazione del pavimento del piano più basso dell'edificio | Sopra vespaio ventilato    |
| Monitoraggi        | Substrato  | Pozzolane alluvionali      |
|                    | Materiale costruzione  | Pietra e tufo              |
|                    | Misure <i>short time</i>                                       | 2005                       |
|                    | Misure annuali   | 2006-2007<br>2007-2009     |
| Azioni di rimedio  | Sopralluoghi   | Estate 2007<br>Giugno 2008 |
|                    | - Chiusura fori di ventilazione sulle pareti                   | Estate 2007                |
|                    | - Applicazioni di sistemi di ventilazione forzata              | Giugno 2008                |
|                    | - Aspiratori nei locali di servizio                            | Ottobre 2008               |



PIANO SOTTERRANEO



PIANO TERRA

## Sopralluoghi



Stanza Piano Terra  
2° aula area bambini (A)

Foro di sfiato



Stanza Piano Terra  
2° aula area bambini (A)



Dormitorio medi Piano Terra(S)

## Azioni di rimedio

Sistema di aspirazione radon



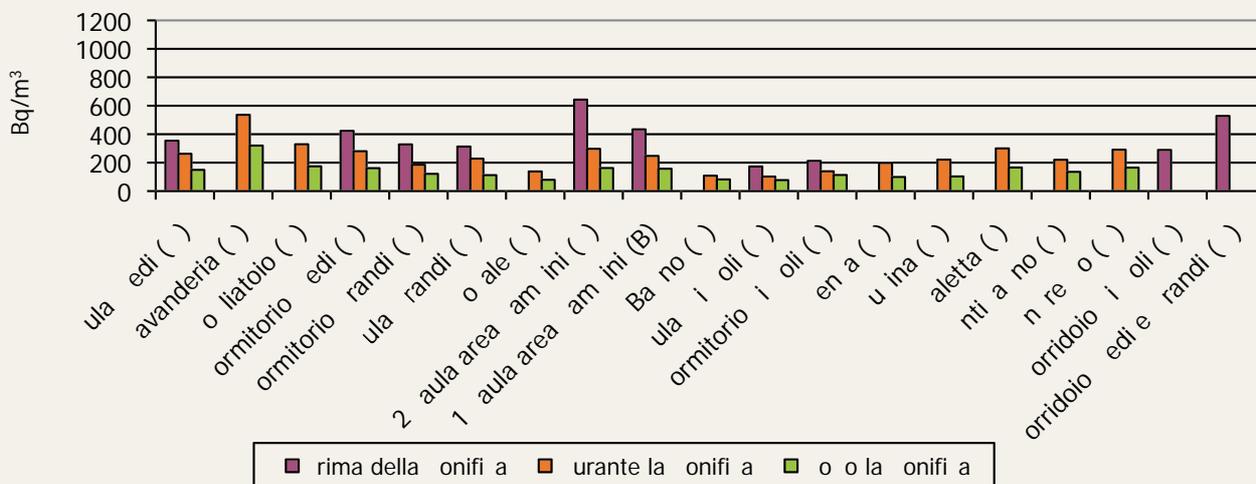
Sistema di aspirazione radon



Tabella valori concentrazione radon nei locali monitorati prima e dopo le azioni di rimedio

| Locale di misura                 | Piano | Prima della azioni di rimedio |            |             |           |                           | Dopo le azioni di rimedio |           |           |                           |             |                           |
|----------------------------------|-------|-------------------------------|------------|-------------|-----------|---------------------------|---------------------------|-----------|-----------|---------------------------|-------------|---------------------------|
|                                  |       | apr-lug 06                    | lug-ott 06 | ott06-feb07 | feb-apr07 | Media annuale Apr06-apr07 | Ott07-mar08               | Mar-lug08 | Lug-ott08 | Media annuale Ott07-ott08 | Ott08-mar09 | Media annuale Mar08-mar09 |
| Bq/m <sup>3</sup>                |       |                               |            |             |           |                           |                           |           |           |                           |             |                           |
| Aula sez. Medi (O)               | S     | 351±70                        | 345±69     | 375±75      | 345±69    | 354±71                    | 389±78                    | 327±65    | 71±14     | 262±52                    | 49±12       | 149±30                    |
| Lavanderia (P)                   | ST    | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 768±154                   | 703±141   | 136±27    | 536±107                   | 120±24      | 320±64                    |
| Corridoio zona Medi e Grandi (Q) | ST    | 599±120                       | 516±103    | 503±101     | 494±99    | 528±106                   | ---                       | ---       | ---       | ---                       | ---         | ---                       |
| Spogliatoio (R)                  | ST    | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 553±111                   | 332±66    | 102±20    | 329±66                    | 88±18       | 174±35                    |
| Dormitorio Medi (S)              | S     | 368±74                        | 429±86     | 422±84      | 473±95    | 423±85                    | 436±87                    | 297±59    | 107±21    | 280±56                    | 81±16       | 161±32                    |
| Dormitorio Grandi (T)            | S     | 313±63                        | 287±57     | 385±77      | 329±66    | 328±66                    | 239±48                    | 235±47    | 80±16     | 185±37                    | 47±14       | 121±26                    |
| Aula sez. Grandi (U)             | S     | 299±60                        | 331±66     | 328±66      | 295±59    | 313±63                    | 401±80                    | 220±44    | 63±13     | 228±46                    | 52±12       | 112±23                    |
| Locale (V)                       | S     | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 218±44                    | 147±29    | 48±10     | 138±28                    | 41±12       | 79±16                     |
| 2° aula area bambini (A)         | T     | 520±104                       | 693±139    | 734±147     | 625±30    | 643±129                   | 492±98                    | 301±60    | 97±19     | 297±59                    | 87±17       | 162±32                    |
| 1° aula area bambini (B)         | T     | 443±89                        | 398±80     | 503±101     | 393±79    | 434±87                    | 373±75                    | 268±54    | 100±20    | 247±49                    | 103±21      | 157±31                    |
| Bagno (C)                        | T     | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 120±24                    | 131±26    | 72±14     | 108±22                    | 44±13       | 82±16                     |
| Aula sez. Piccoli (D)            | T     | 162±32                        | 176±35     | 205±41      | 151±30    | 173±35                    | 115±23                    | 123±25    | 69±14     | 102±20                    | 40±12       | 77±15                     |
| Corridoio zona Piccoli (E)       | T     | 199±40                        | 314±63     | 356±71      | 288±58    | 289±58                    | ---                       | ---       | ---       | ---                       | ---         | ---                       |
| Dormitorio Piccoli (F)           | T     | 235±47                        | 205±41     | 225±45      | 185±37    | 212±42                    | 141±28                    | 162±32    | 115±23    | 139±28                    | 63±13       | 113±23                    |
| Mensa (G)                        | T     | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 355±71                    | 182±36    | 57±11     | 198±40                    | 59±12       | 99±20                     |
| Cucina (H)                       | T     | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 418±84                    | 185±37    | 59±12     | 221±44                    | 66±16       | 103±21                    |
| Saletta (I)                      | T     | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 500±100                   | 278±56    | 121±24    | 300±60                    | 101±20      | 166±33                    |
| Antibagno (L)                    | T     | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 337±67                    | 224±45    | 100±20    | 220±44                    | 82±16       | 135±27                    |
| Ingresso (N)                     | T     | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 479±96                    | 272±54    | 122±24    | 291±58                    | 102±20      | 165±33                    |

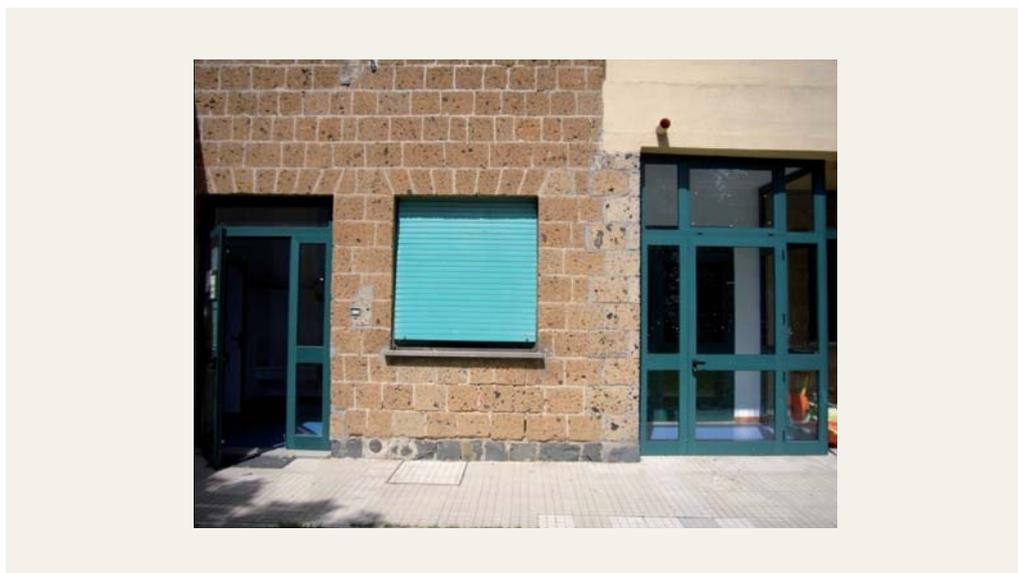
Andamento della concentrazione di radon prima, durante e dopo le azioni di rimedio



| Misure istantanee di concentrazione di attività di radon |                                   |   |                  |
|--|-----------------------------------|---|------------------|
| Scuola   | Punto di prelievo                 | Concentrazione istantanea di radon in aria (Bq/m <sup>3</sup> ) |                  |
|  |                                   | Sopralluogo 2007  | Sopralluogo 2008 |
| Asilo Nido Orvieto                                       | Zona Medi e Grandi (Q)            | 40±19   | ---              |
|  | Dormitorio Medi (S)               | 29±12   | 107±29           |
|  | 1° aula area bambini (B)          | ---   | 38±18            |
|  | 2° aula area bambini (A)          | 36±22   | 29±11            |
|  | 2° aula area bambini(A), nel foro | 1392±123  | ---              |
|  | Spogliatoio (R)                   | ---   | 42±22            |
|  | Lavanderia (P)                    | ---   | 68±19            |
|  | Saletta (I)                       | ---   | 29±12            |
|  | Ingresso area bambini (N)         | ---   | 69±22            |

| Misura di concentrazione di attività nei materiali da costruzione |             |          |        |        |        |        |          |
|---|-------------|----------|--------|--------|--------|--------|----------|
| Campione  | Data misura | K-40     | U-238  | Ra-226 | Ra-228 | Th-228 | Indice I |
|   |             | Bq/kg    |        |        |        |        |          |
| Tufo  | Set. 2007   | 2540±110 | 578±51 | 234±7  | 394±16 | 391±11 | 3.63     |

Particolare del materiale da costruzione

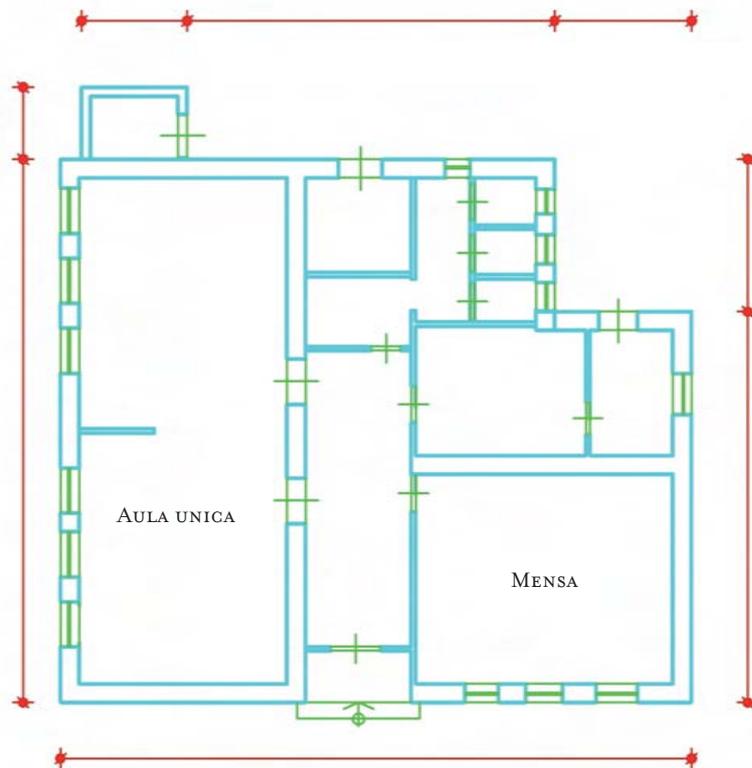
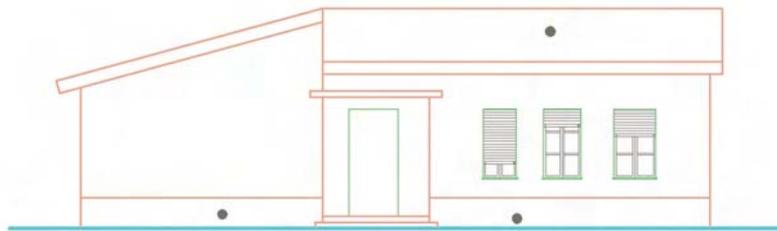
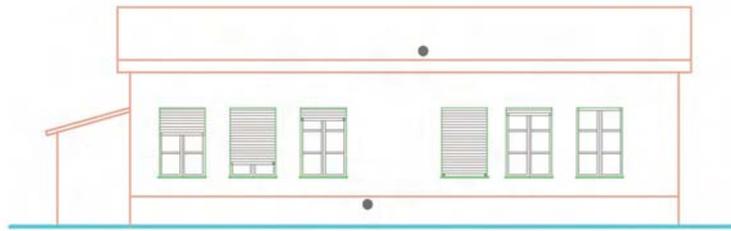


# Scuola dell'infanzia di Canonica Comune di Orvieto

Aspetto esterno dell'edificio



| Caratteristiche dell'edificio, monitoraggi e azioni di rimedio |  |                             |
|--|--|-----------------------------|
| Struttura edificio   | Anno di costruzione  | 1972                        |
|  | Piani dell'edificio  | 1                           |
|  | Piano più basso dell'edificio  | Terra                       |
|  | Localizzazione del pavimento del piano più basso dell'edificio           | Sopra vespaio non ventilato |
|  | Substrato  | Lave sovrasure e laccoliti  |
|  | Materiale costruzione  | Pietra e tufo               |
| Monitoraggi  | Misure <i>short time</i>   | 2005                        |
|  | Misure annuali   | 2006-2007                   |
|  |  | 2008-2009                   |
|  | Sopralluoghi   | Estate 2006                 |
| Estate 2007  |  |                             |
| Azioni di rimedio  | Rifacimento solaio con inserimento di igloo per ventilazione del vespaio | Estate 2008                 |



## Sopralluoghi



Aula unica



Locale mensa (adibito nel periodo estivo a magazzino)



Misura istantanea di concentrazione di attività di radon nel vespaio

## Azioni di rimedio

Aspetto esterno dopo la ristrutturazione



Aspetto esterno dopo la ristrutturazione



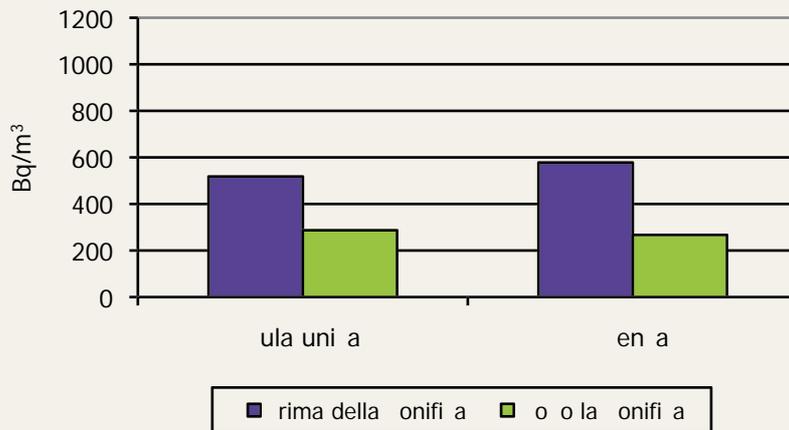
L'aula unica dopo la ristrutturazione



Tabella valori concentrazione radon nei locali monitorati prima e dopo le azioni di rimedio

| Locale di misura  | Piano | Prima della azioni di rimedio |            |             |           |                           | Dopo le azioni di rimedio |             |             |                           |
|-------------------|-------|-------------------------------|------------|-------------|-----------|---------------------------|---------------------------|-------------|-------------|---------------------------|
|                   |       | apr-giu 06                    | giu-set 06 | set06-gen07 | gen-apr07 | Media annuale Apr06-apr07 | Ott08-mar09               | Mar09-lug09 | Lug09-ott09 | Media annuale Ott08-ott09 |
| Bq/m <sup>3</sup> |       |                               |            |             |           |                           |                           |             |             |                           |
| Aula unica        | T     | 641±128                       | 285±57     | 684±137     | 461±92    | 518±104                   | 293±59                    | 280±56      | 230±46      | 287±55                    |
| Mensa             | T     | 556±111                       | 550±110    | 708±142     | 497±99    | 578±116                   | 273±55                    | 316±63      | 273±55      | 267±59                    |

Andamento della concentrazione media annuale di radon



Misure istantanee di concentrazione di attività di radon

| Scuola               | Punto di prelievo                 | Concentrazione istantanea di radon in aria (Bq/m <sup>3</sup> ) |                  |
|----------------------|-----------------------------------|---|------------------|
|                      |                                   | Sopralluogo 2006  | Sopralluogo 2007 |
| Infanzia di Canonica | Nel vespaio sotto all' aula unica | 2830±130  | ---              |
|                      | Nel vespaio sotto al corridoio    | 6731±301  | ---              |
|                      | Nel vespaio dall'esterno          | 4176±50   | ---              |
|                      | Refettorio                        | ---   | 44±10            |
|                      | Aula unica                        | ---   | 17±12            |

2006: individuazione elevati valori di concentrazione di radon  
 2007 : utilizzo locali in situazione di ventilazione

Misura di concentrazione di attività nei materiali da costruzione

| Campione         | Data misura | K-40    | U-238   | Ra-226 | Ra-228 | Th-228 | Indice I |
|------------------|-------------|---------|---------|--------|--------|--------|----------|
|                  |             | Bq/kg   |         |        |        |        |          |
| Muratura esterna | Set. 2006   | 1507±82 | 270±120 | 187±3  | 336±17 | 344±12 | 2.85     |

Particolare del materiale da costruzione



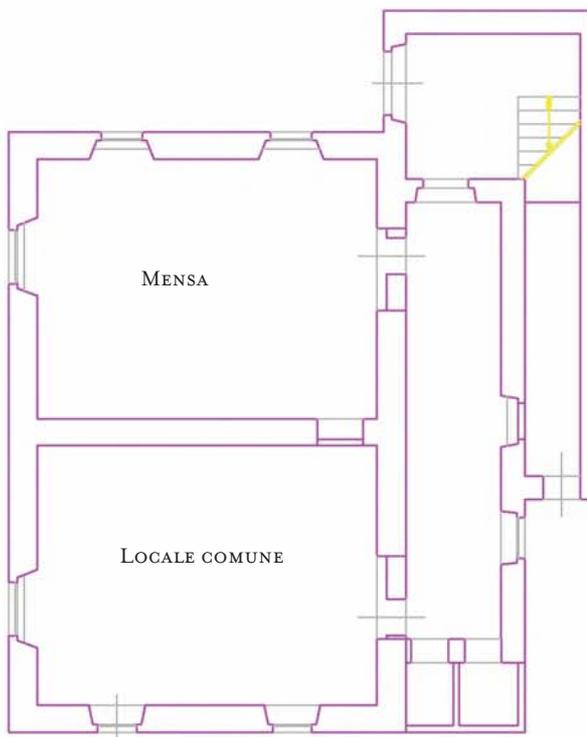
# Scuola primaria di Sugano

## Comune di Orvieto

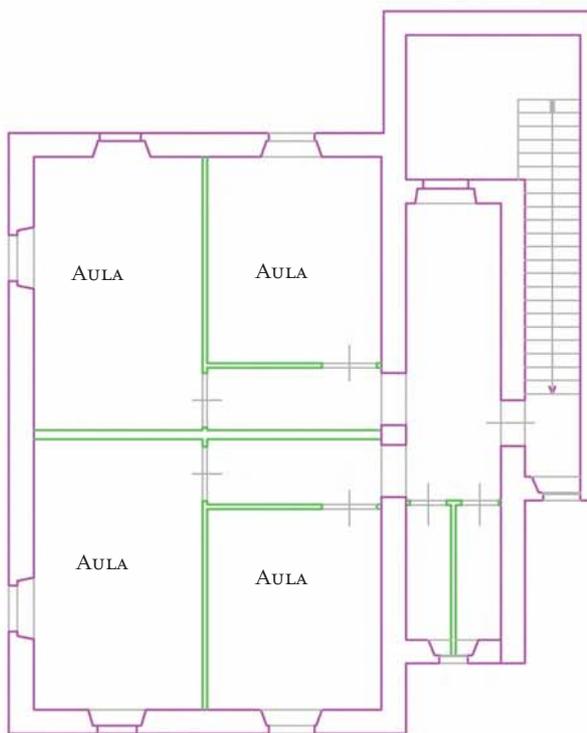
Aspetto esterno dell'edificio



| Caratteristiche dell'edificio, monitoraggi e azioni di rimedio |  |                                   |
|--|--|-----------------------------------|
| Struttura edificio   | Anno di costruzione  | 1900                              |
|  | Piani dell'edificio  | 2                                 |
|  | Piano più basso dell'edificio                                  | Terra                             |
|  | Localizzazione del pavimento del piano più basso dell'edificio | A diretto contatto con il terreno |
|  | Substrato  | Tufi terrosi (pozzolane)          |
|  | Materiale costruzione  | Pietra e tufo                     |
| Monitoraggi  | Misure <i>short time</i>                                       | 2005                              |
|  | Misure annuali   | 2006-2007                         |
|  | Sopralluoghi   | Estate 2006                       |
| Azioni di rimedio  | Nessuna – chiusura della scuola                                | Estate 2008                       |



PIANO TERRA



PRIMO PIANO

## Sopralluoghi



L'ingresso della scuola



Particolare dei materiali da costruzione



Particolare dei materiali da costruzione

| Misure istantanee di concentrazione di attività di radon |       |                   |            |             |            |                           |
|--|-------|-------------------|------------|-------------|------------|---------------------------|
| Locale di misura   | Piano | apr- giu 06       | giu-set 06 | set06-gen07 | gen-apr07  | Media annuale Apr06-apr07 |
|  |       | Bq/m <sup>3</sup> |            |             |            |                           |
| Mensa  | T     | 1258 ± 252        | 721 ± 144  | 1748 ± 350  | 2488 ± 498 | 1554 ± 311                |
| Locale comune  | T     | 839 ± 168         | 354 ± 71   | 1364 ± 273  | 1569 ± 314 | 1031 ± 206                |
| Classe 3°-4°   | 1°    | 829 ± 166         | 313 ± 63   | 1564 ± 313  | 1727 ± 345 | 1108 ± 222                |
| Classe 1°-2°   | 1°    | 974 ± 195         | 703 ± 141  | 1383 ± 277  | 1460 ± 292 | 1130 ± 226                |
| Classe 5°  | 1°    | 843 ± 169         | 352 ± 70   | 1351 ± 270  | 1685 ± 337 | 1058 ± 212                |

| Misura di concentrazione di attività materiali da costruzione |             |           |          |         |          |          |          |
|---|-------------|-----------|----------|---------|----------|----------|----------|
| Campione  | Data misura | K-40      | U-238    | Ra-226  | Ra-228   | Th-228   | Indice I |
|   |             | Bq/kg     |          |         |          |          |          |
| Muro esterno  | Set. 2006   | 2153 ± 51 | 282 ± 37 | 186 ± 7 | 479 ± 11 | 474 ± 25 | 3.71     |

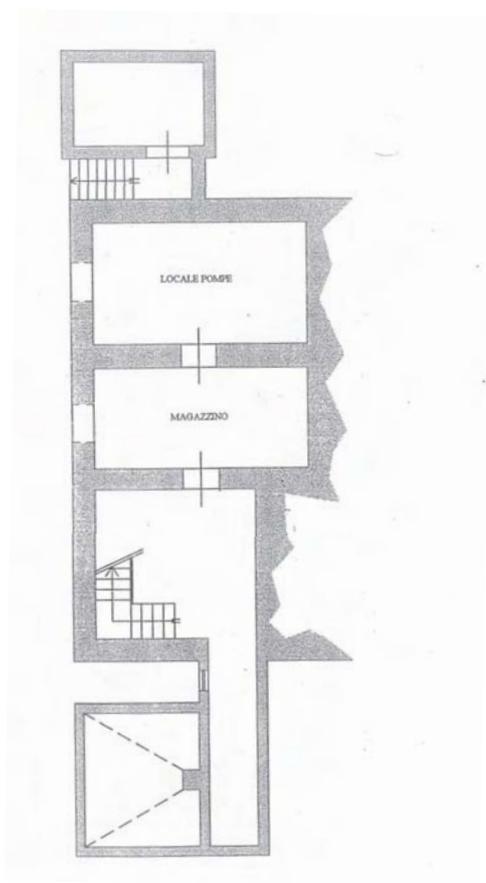
Nota: la scuola di Sugano non è stata oggetto di azioni di recupero poiché l'attività didattica è stata trasferita in un'altra sede.

# Scuola primaria di Porano

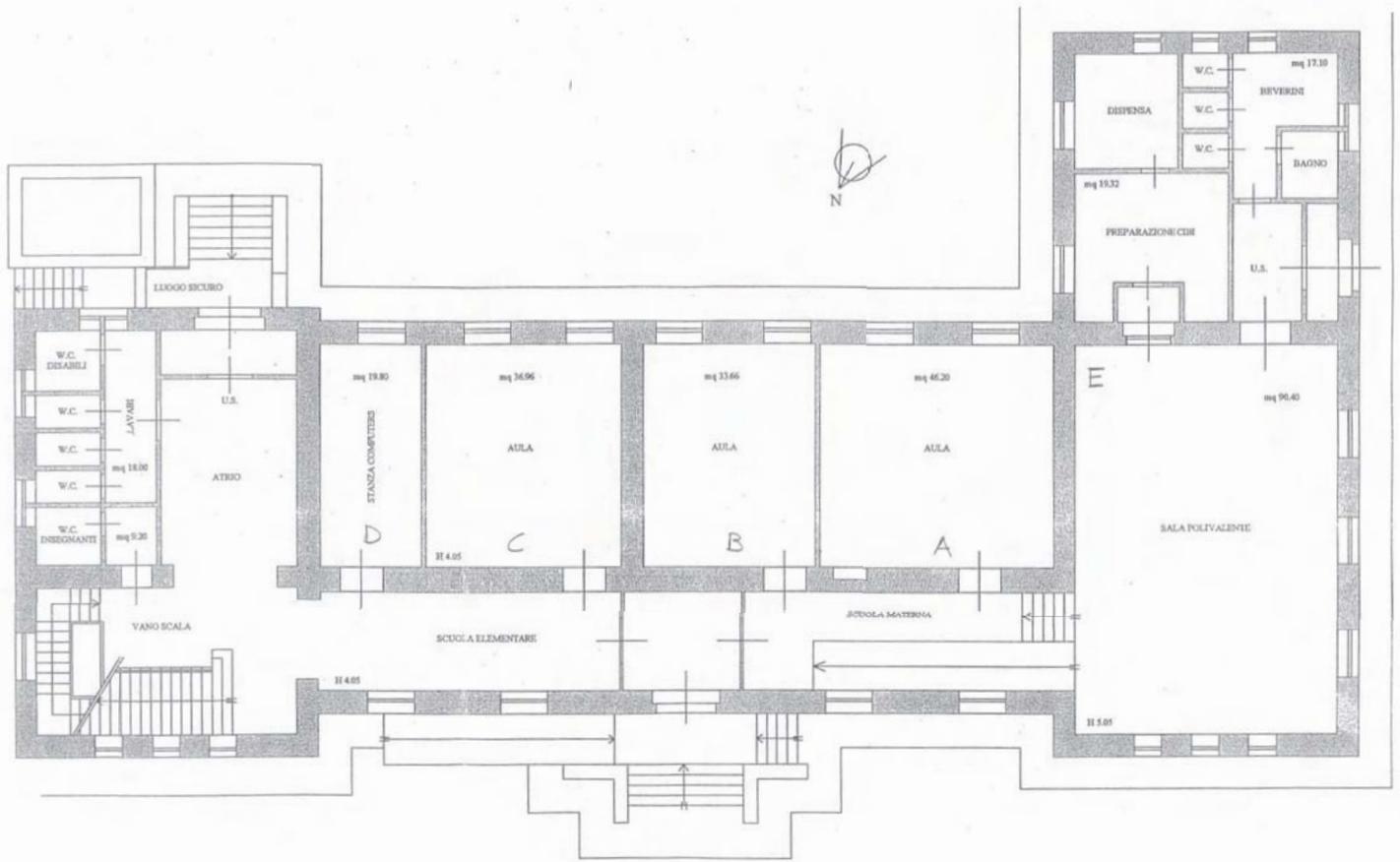
Aspetto esterno dell'edificio



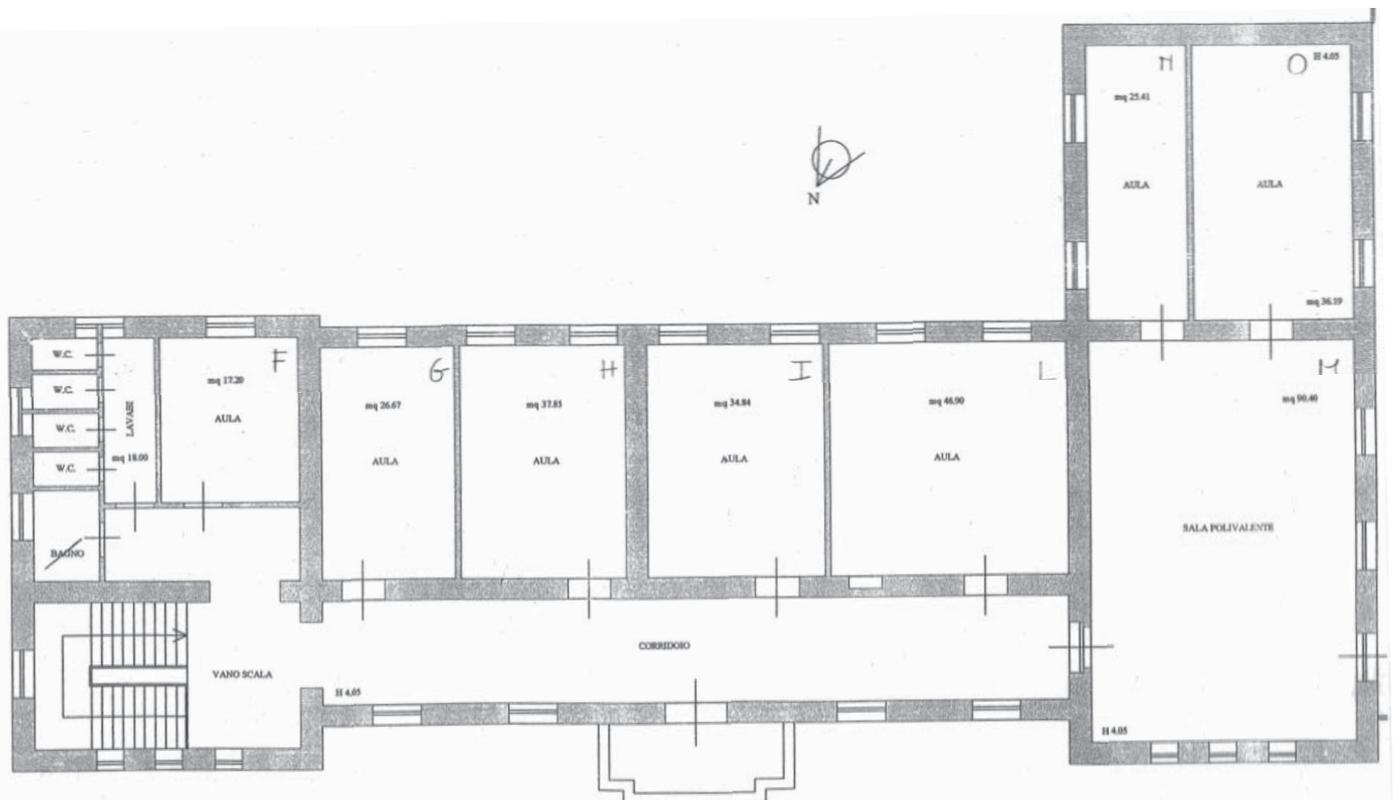
| Caratteristiche dell'edificio, monitoraggi e azioni di rimedio |   |   |
|--|---|---|
| Struttura edificio   | Anno di costruzione   | 1930  |
|  | Piani dell'edificio   | 2   |
|  | Piano più basso dell'edificio                                       | Piano interrato   |
|  | Localizzazione del pavimento del piano più basso dell'edificio      | Parte sopra piano interrato, parte sopra vespaio ventilato, parte a contatto con il terreno |
|  | Substrato   | Tufi litoidi  |
|  | Materiale costruzione   | Pietra e tufo   |
| Monitoraggi  | Misure <i>short time</i>  | ---   |
|  | Misure annuali  | 2006-2007   |
|  | Sopralluoghi  | Estate 2007   |
| Azioni di rimedio  | Realizzazione pavimento areato sulla zona cucina e sala polivalente | Estate 2008   |



PIANO INTERRATO



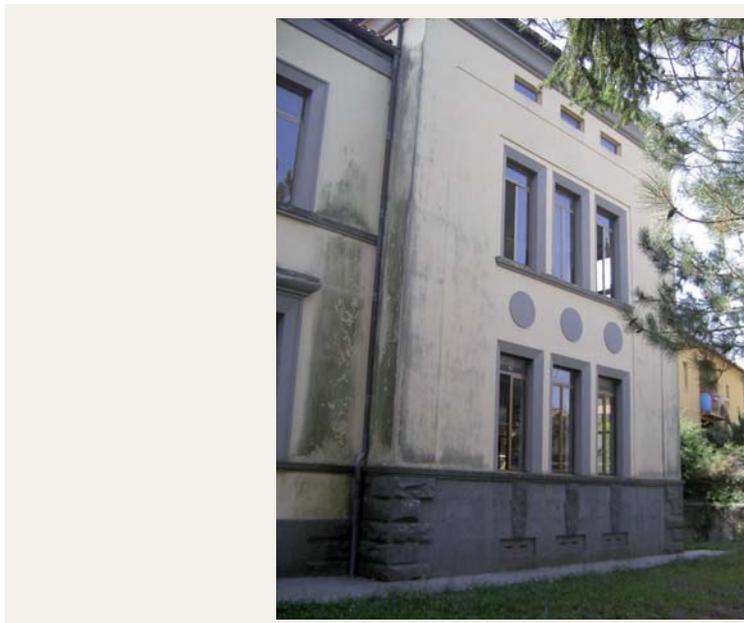
PIANO RIALZATO



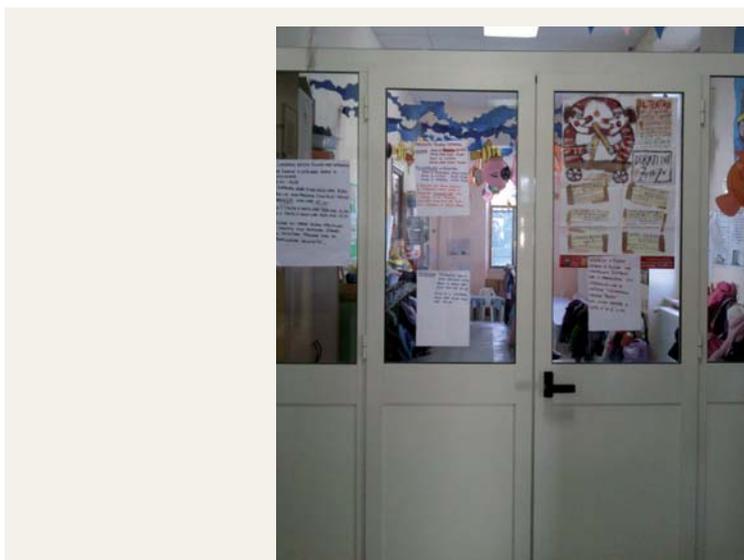
PIANO PRIMO

## Sopralluoghi

Aspetto esterno dell'edificio



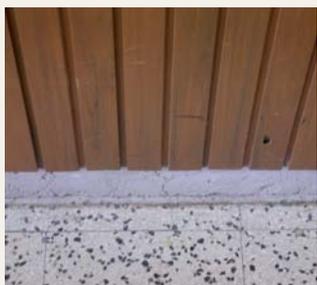
Porta divisoria tra la scuola dell'infanzia e la scuola primaria



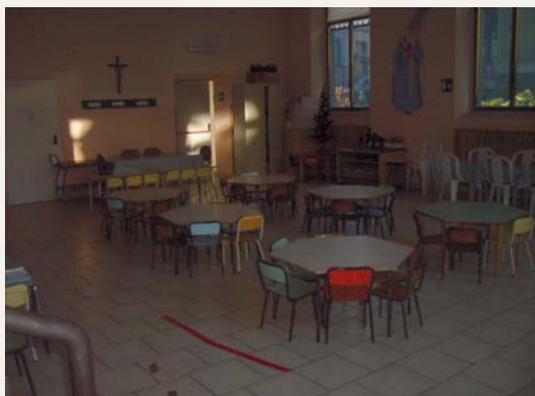
Aula A



Particolare del pavimento



## Azioni di rimedio



L'aula polivalente dopo la realizzazione di un pavimento areato con igloo



Foro di areazione del pavimento ventilato

Tabella valori concentrazione radon nei locali monitorati prima e dopo le azioni di rimedio

| Locale di misura     | Piano | Prima della azioni di rimedio |            |             |           |                           | Dopo le azioni di rimedio |           |           |                           |             |                           |
|----------------------|-------|-------------------------------|------------|-------------|-----------|---------------------------|---------------------------|-----------|-----------|---------------------------|-------------|---------------------------|
|                      |       | apr-giu 06                    | giu-ott 06 | ott06 feb07 | feb-apr07 | Media annuale Apr06-apr07 | Ott07-mar08               | Mar-lug08 | Lug-ott08 | Media annuale Ott07-ott08 | Ott08-mar09 | Media annuale Mar08-mar09 |
| Bq/m <sup>3</sup>    |       |                               |            |             |           |                           |                           |           |           |                           |             |                           |
| Aula (A)             | PR    | 670±134                       | 534±107    | 511±102     | 361±72    | 519±104                   | 538±108                   | 343±69    | 207±41    | 363±73                    | 133±27      | 228±46                    |
| Aula (B)             | PR    | 624±125                       | 543±109    | 479±96      | 386±77    | 508±102                   | 634±127                   | 418±84    | 211±42    | 421±84                    | 151±30      | 260±52                    |
| Aula (C)             | PR    | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 363±73                    | 313±63    | 307±61    | 327±67                    | 458±92      | 359±72                    |
| Aula (D)             | PR    | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 332±66                    | 247±49    | 324±65    | 301±60                    | 219±44      | 263±53                    |
| Aula Polivalente (E) | T     | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 768±154                   | 489±98    | 135±27    | 464±105                   | 153±31      | 259±52                    |
| Aula (F)             | 1°    | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 216±43                    | 228±46    | 306±61    | 250±50                    | 182±36      | 239±48                    |
| Aula (G)             | 1°    | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 241±48                    | 231±46    | 314±63    | 262±52                    | 240±48      | 262±52                    |
| Aula (H)             | 1°    | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 242±48                    | 225±45    | 312±62    | 260±52                    | 235±47      | 257±51                    |
| Aula (I)             | 1°    | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 239±48                    | 216±43    | 337±67    | 264±53                    | 196±39      | 250±50                    |
| Aula (L)             | 1°    | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 245±49                    | 222±44    | 331±66    | 266±53                    | 200±40      | 251±50                    |
| Aula Polivalente (M) | 1°    | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 270±54                    | 244±49    | 335±67    | 283±57                    | 231±46      | 270±54                    |
| Aula (N)             | 1°    | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 211±42                    | 262±52    | 338±68    | 271±54                    | 193±39      | 264±53                    |
| Aula (O)             | 1°    | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 359±72                    | 379±76    | 487±97    | 408±82                    | 210±42      | 358±72                    |
| Cucina               | T     | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | ---                       | ---       | 253±51    | ---                       | 163±33      | 208±42                    |
| Locale 2             | I     | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 583±117                   | 865±173   | 702±140   | 717±143                   | ---         | ---                       |
| Locale 3             | I     | ---                           | ---        | ---         | ---       | ---                       | 585±117                   | 1185±237  | 892±178   | 887±177                   | ---         | ---                       |



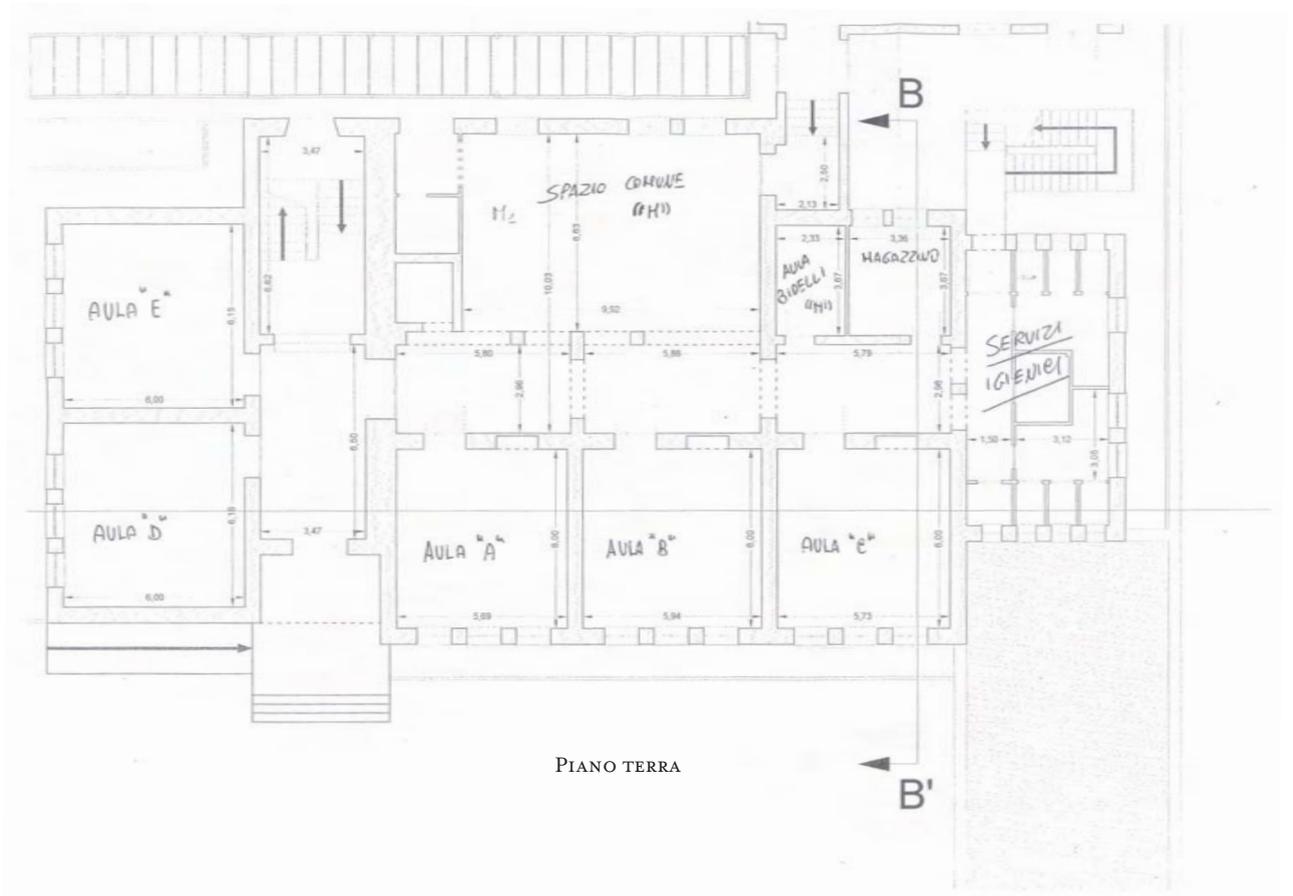
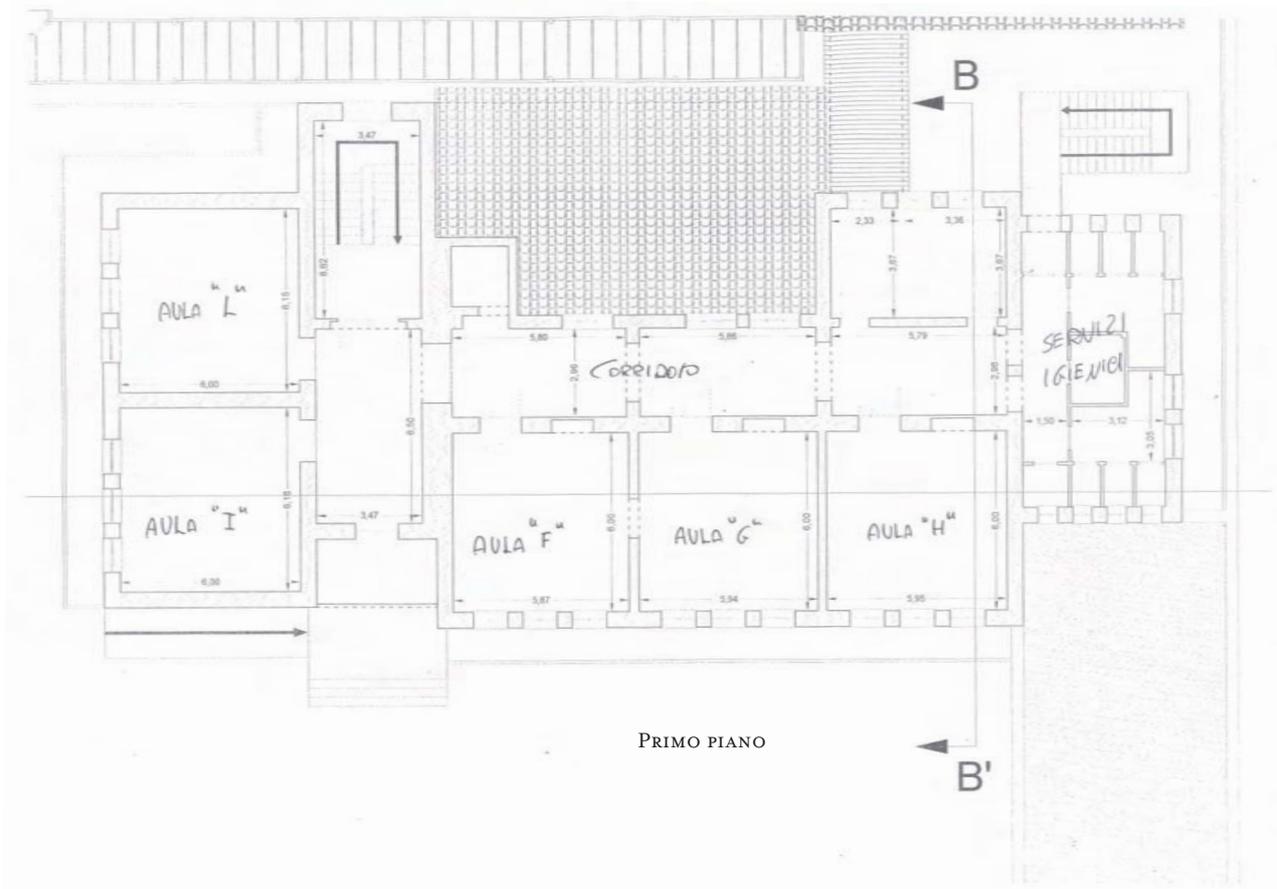
# Scuola primaria di Castel Giorgio

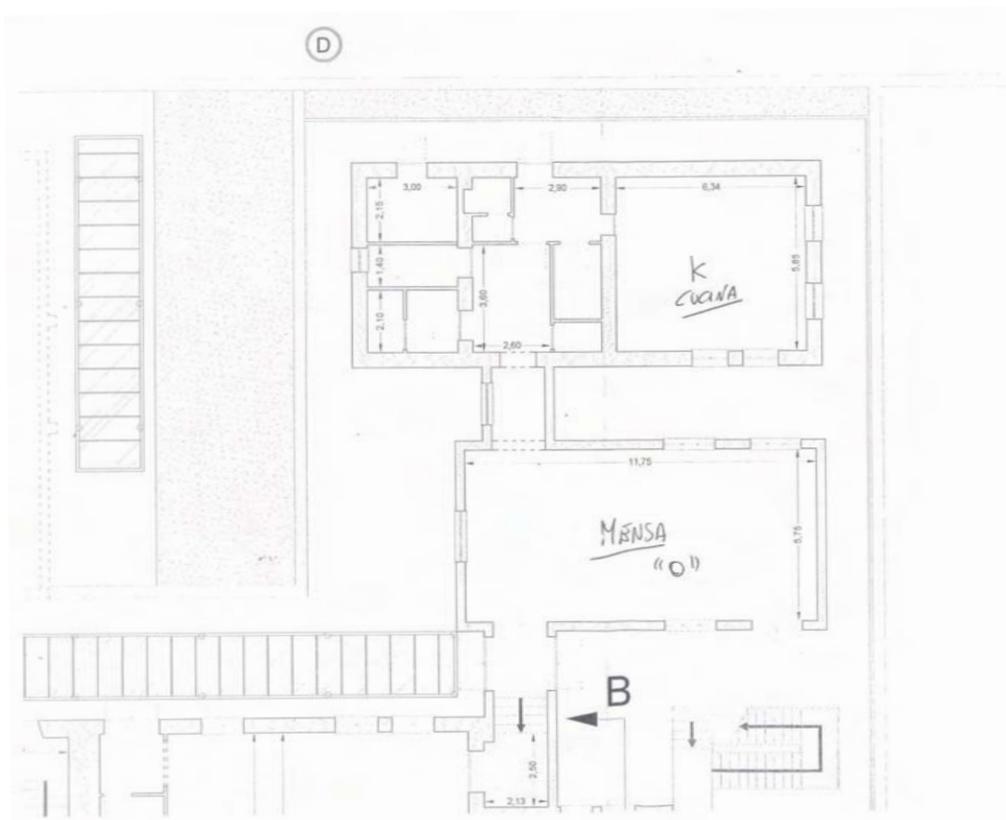
Aspetto esteriore dell'edificio



## Caratteristiche dell'edificio, monitoraggi e azioni di rimedio

|                           |  |  |
|---------------------------|--|--|
| <b>Struttura edificio</b> | Anno di costruzione  | 1960-1965  |
|                           | Piani dell'edificio  | 2  |
|                           | Piano più basso dell'edificio                                  | Piano rialzato   |
|                           | Localizzazione del pavimento del piano più basso dell'edificio | Su vespaio parzialmente ventilato                            |
|                           | Substrato  | Lave sovra sature e laccoliti. Lave sature e sottosature     |
|                           | Materiale costruzione  | Tufo, cemento e laterizi                                     |
| <b>Monitoraggi</b>        | Misure <i>short-time</i>                                       | ----   |
|                           | Misure annuali   | 2006-2007<br>2007-2010                                       |
|                           | Sopralluoghi   | Estate 2007<br>Estate 2008                                   |
|                           | <b>Azioni di rimedio</b>                                       | Estrattori di aria alle finestre<br>Ventilazione del vespaio |





SCUOLA DELL'INFANZIA

## Sopralluoghi

Aspetto esteriore dell'edificio al momento del sopralluogo



Aula B (Piano Terra)

Particolare del pavimento dell'aula B



Mensa (Piano Terra)



La nuova scuola d'infanzia



## Azioni di rimedio



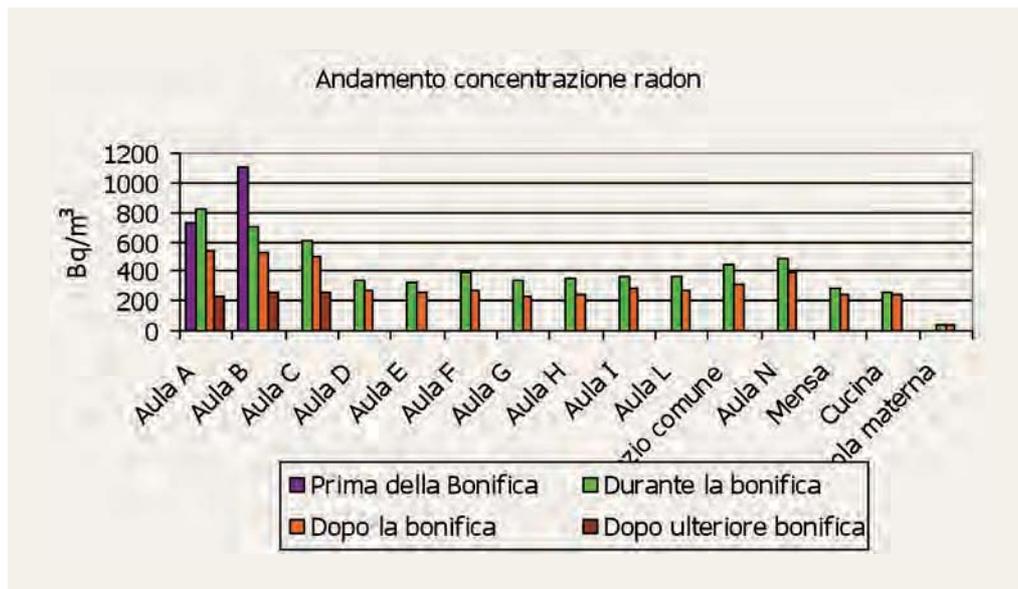
Aspetto esteriore dell'edificio dopo le azioni di rimedio



Dettaglio delle bocchette per il ricambio dell'aria

Tabella valori concentrazione radon nei locali monitorati prima e dopo le azioni di rimedio

| Locale di misura                | Piano | Prima della azioni di rimedio |                 |             |            |                           | Dopo le azioni di rimedio |            |                 |                           |                           |            |                           |          |
|---------------------------------|-------|-------------------------------|-----------------|-------------|------------|---------------------------|---------------------------|------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|------------|---------------------------|----------|
|                                 |       | Apr -giu06                    | Giu -ott06      | Ott06-feb07 | Feb -apr07 | Media annuale Apr06-apr07 | Dic07-apr08               | Apr -lug08 | Lug -dic08      | Media annuale Dic07-dic08 | Media annuale Apr08-apr09 | Apr -lug09 | Media annuale Lug08-lug09 |          |
| Bq/m <sup>3</sup>               |       |                               |                 |             |            |                           |                           |            |                 |                           |                           |            |                           |          |
| Aula A                          | PR    | 741 ± 148                     | 607 ± 121       | 839 ± 168   | 701 ± 140  | 722 ± 144                 | 1181 ± 236                | 1086 ± 217 | 194 ± 39        | 820 ± 164                 | 327 ± 65                  | 536 ± 107  | 151 ± 30                  | 224 ± 45 |
| Aula B                          | PR    | 620 ± 124                     | Dosimetro perso | 1483 ± 297  | 1200 ± 240 | 1101 ± 220                | 916 ± 183                 | 968 ± 194  | 200 ± 40        | 695 ± 139                 | 396 ± 79                  | 521 ± 104  | 164 ± 33                  | 253 ± 51 |
| Aula C                          | PR    | ---                           | ---             | ---         | ---        | ---                       | 602 ± 120                 | 607 ± 121  | Dosimetro perso | 605 ± 121                 | 380 ± 76                  | 494 ± 99   | 142 ± 38                  | 261 ± 52 |
| Aula D                          | PR    | ---                           | ---             | ---         | ---        | ---                       | 414 ± 83                  | 455 ± 91   | 162 ± 32        | 344 ± 69                  | 204 ± 41                  | 274 ± 55   | ---                       | ---      |
| Aula E                          | PR    | ---                           | ---             | ---         | ---        | ---                       | 452 ± 90                  | 400 ± 80   | 138 ± 28        | 330 ± 66                  | 244 ± 49                  | 261 ± 52   | ---                       | ---      |
| Aula F                          | 1°    | ---                           | ---             | ---         | ---        | ---                       | 587 ± 117                 | 457 ± 91   | 131 ± 26        | 392 ± 78                  | 233 ± 47                  | 274 ± 55   | ---                       | ---      |
| Aula G                          | 1°    | ---                           | ---             | ---         | ---        | ---                       | 520 ± 104                 | 394 ± 79   | 90 ± 18         | 335 ± 67                  | 222 ± 44                  | 235 ± 47   | ---                       | ---      |
| Aula H                          | 1°    | ---                           | ---             | ---         | ---        | ---                       | 503 ± 101                 | 442 ± 88   | 101 ± 20        | 349 ± 70                  | 190 ± 38                  | 244 ± 49   | ---                       | ---      |
| Aula I                          | 1°    | ---                           | ---             | ---         | ---        | ---                       | 448 ± 90                  | 444 ± 89   | 207 ± 41        | 366 ± 73                  | 185 ± 37                  | 279 ± 56   | ---                       | ---      |
| Aula L                          | 1°    | ---                           | ---             | ---         | ---        | ---                       | 474 ± 95                  | 485 ± 97   | 128 ± 26        | 362 ± 72                  | 185 ± 37                  | 266 ± 53   | ---                       | ---      |
| Spazio comune M                 | PR    | ---                           | ---             | ---         | ---        | ---                       | 612 ± 122                 | 534 ± 107  | 169 ± 34        | 438 ± 88                  | 244 ± 49                  | 316 ± 63   | ---                       | ---      |
| Aula N                          | PR    | ---                           | ---             | ---         | ---        | ---                       | 573 ± 115                 | 759 ± 152  | 121 ± 24        | 484 ± 97                  | 310 ± 62                  | 397 ± 79   | ---                       | ---      |
| Mensa O                         | T     | ---                           | ---             | ---         | ---        | ---                       | 280 ± 56                  | 277 ± 55   | ---             | 279 ± 56                  | 201 ± 40                  | 239 ± 48   | ---                       | ---      |
| Cucina K                        | T     | ---                           | ---             | ---         | ---        | ---                       | ---                       | 317 ± 63   | 185 ± 37        | 251 ± 50                  | 232 ± 46                  | 245 ± 49   | ---                       | ---      |
| Aula unica scuola dell'infanzia | T     | ---                           | ---             | ---         | ---        | ---                       | ---                       | 41 ± 10    | 38 ± 11         | 40 ± 12                   | 56 ± 12                   | 45 ± 14    | ---                       | ---      |



### Misure istantanee di concentrazione di attività di radon

| Scuola | Punto di prelievo                  | Concentrazione istantanea di radon in aria (Bq/m³) |                  |
|--------|------------------------------------|--|------------------|
|        |                                    | Sopralluogo 2007                                   | Sopralluogo 2008 |
|        |                                    | Primaria e secondaria di 1° grado Castel Giorgio   | Aula A, PT       |
|        | Aula B, PT                         | 31 ± 12  | 82 ± 37          |
|        | Aula C, PT                         | 47 ± 26  | 108 ± 37         |
|        | Aula D, PT                         | 54 ± 27  | 52 ± 15          |
|        | Aula E, PT                         | 40 ± 14  | 21 ± 17          |
|        | Spazio Comune                      | ---  | 96 ± 44          |
|        | Aula F comunicante con Aula G, 1°P | 56 ± 33  | 102 ± 17         |
|        | Aula H, 1°P                        | 52 ± 26  | 73 ± 11          |
|        | Aula I, 1°P                        | 30 ± 14  | 104 ± 32         |

2007: utilizzo delle aule in stato di ventilazione  
 2008: verifica dopo le prime azioni di rimedio

### Misura di concentrazione di attività nei materiali da costruzione

| Campione                | Data misura | K-40<br>Bq/kg | U-238     | Ra-226  | Ra-228   | Th-228   | Indice I |
|-------------------------|-------------|---------------|-----------|---------|----------|----------|----------|
| Intonaco (Aula G 1°P)   | Set. 2007   | 1407 ± 59     | 237 ± 34  | 153 ± 5 | 225 ± 10 | 223 ± 7  | 2.11     |
| Tufo (Spazio Comune PT) |             | 1682 ± 70     | 360 ± 110 | 180 ± 5 | 332 ± 14 | 337 ± 10 | 2.86     |

Particolare del materiale da costruzione



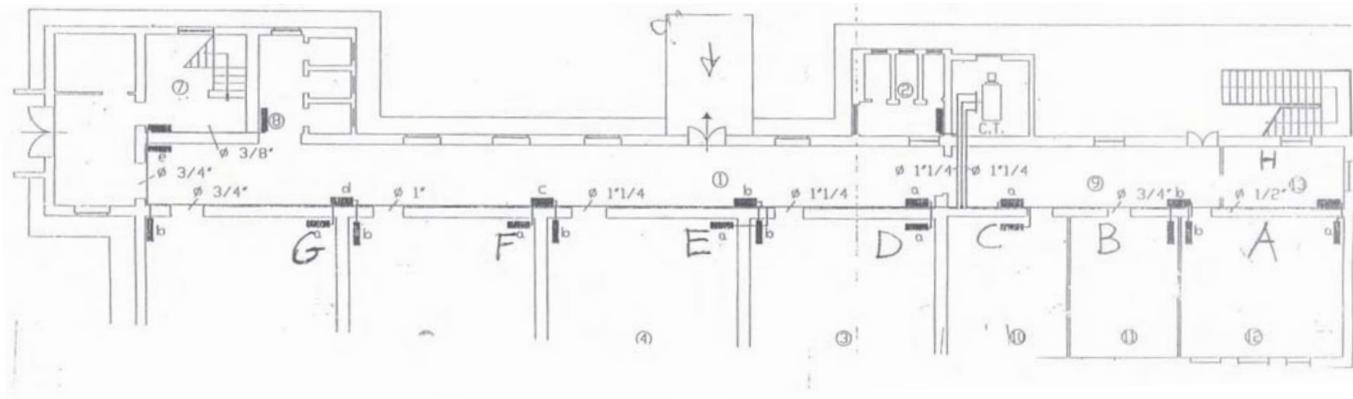
# Scuola primaria e secondaria di I° grado di Guardea

Aspetto esteriore dell'edificio

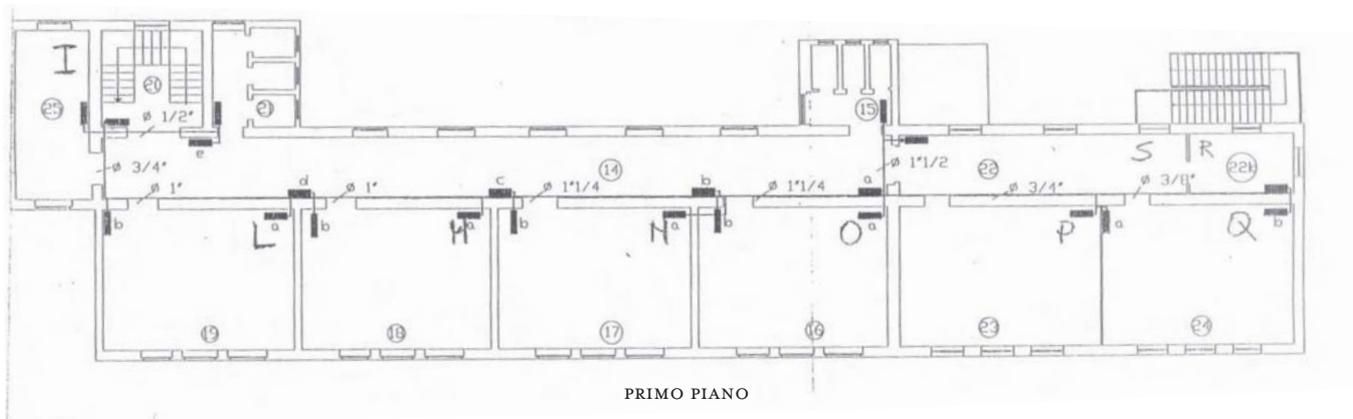


## Caratteristiche dell'edificio, monitoraggi e azioni di rimedio

|                           |   |                                   |
|---------------------------|---|-----------------------------------|
| <b>Struttura edificio</b> | Anno di costruzione   | ?                                 |
|                           | Piani dell'edificio   | 2                                 |
|                           | Piano più basso dell'edificio   | Piano terra                       |
|                           | Localizzazione del pavimento del piano più basso dell'edificio        | A diretto contatto con il terreno |
|                           | Substrato   | Travertini                        |
|                           | Materiale costruzione   | Pietra e tufo                     |
| <b>Monitoraggi</b>        | Misure <i>short time</i>  | 2005                              |
|                           | Misure annuali  | 2006-2007<br>2007-2010            |
|                           | Sopralluoghi  | Estate 2008                       |
| <b>Azioni di rimedio</b>  | Realizzazione di un vespaio ventilato<br>Rimozione intonaci pozzolana | Estate 2009                       |



PIANO TERRA



PRIMO PIANO

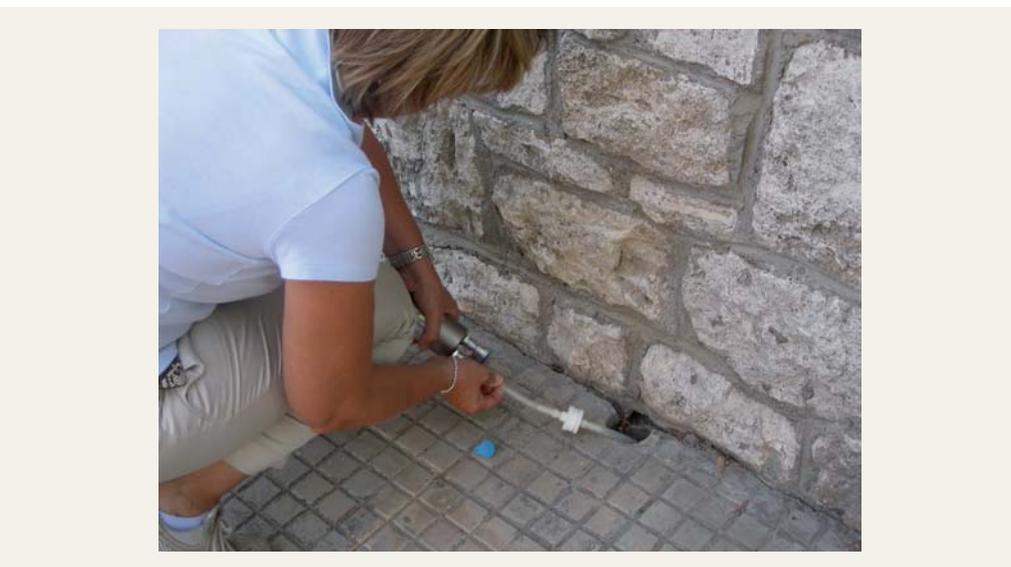
## Sopralluoghi



Laboratorio informatico



Aula F



Prelievo istantaneo di gas radon nel  
basamento

## Azioni di rimedio

Rimozione degli intonaci e  
realizzazione del pavimento  
con igloo



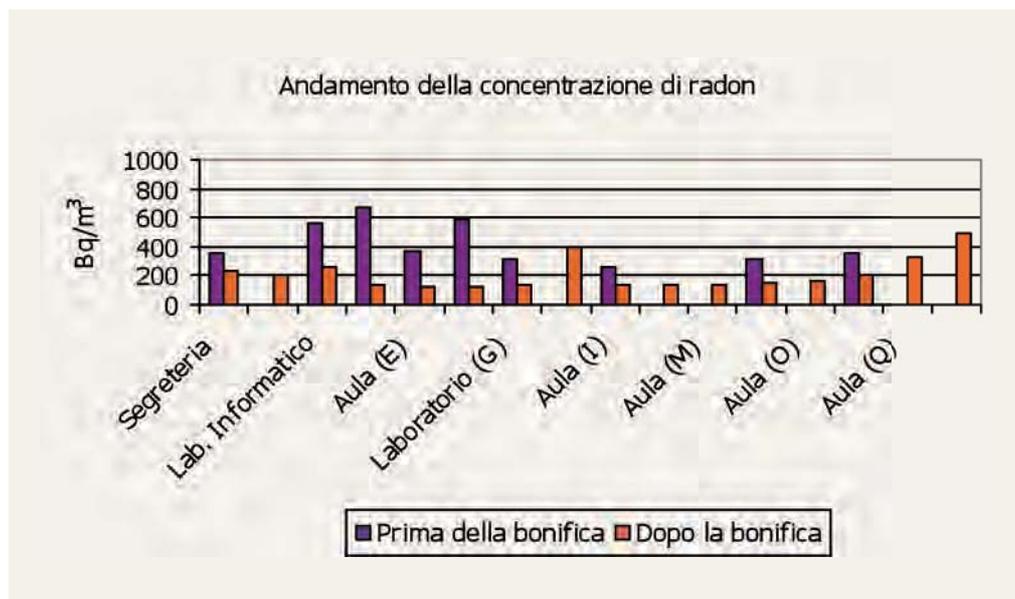


Tabella valori concentrazione radon nei locali monitorati prima e dopo le azioni di rimedio

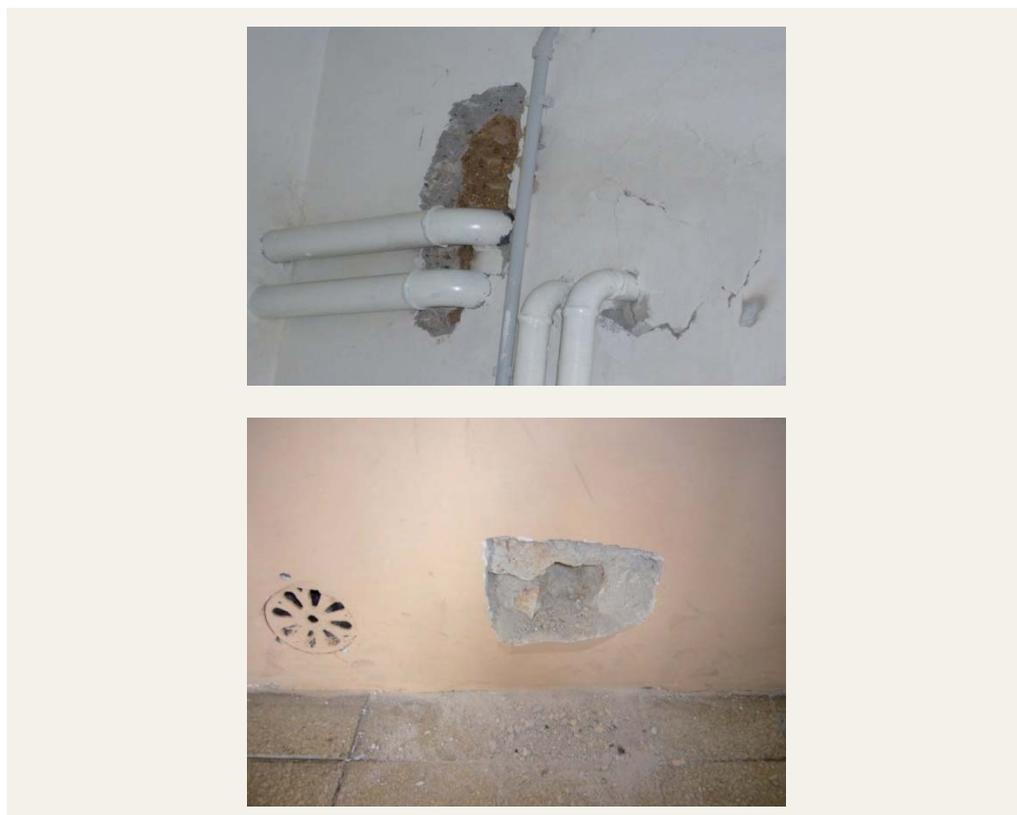
| Locale di misura     | Piano | Prima della azioni di rimedio |           |             |           |                           | Dopo le azioni di rimedio |           |           |                           |
|----------------------|-------|-------------------------------|-----------|-------------|-----------|---------------------------|---------------------------|-----------|-----------|---------------------------|
|                      |       | Mag-giu06                     | Giu-set06 | Set06-gen07 | Gen-mag07 | Media annuale Mag06-mag07 | Gen09-mag09               | Mag-ott09 | Ott-gen08 | Media annuale Gen09-gen10 |
| Bq/m³                |       |                               |           |             |           |                           |                           |           |           |                           |
| Segreteria (A)       | T     | 324±65                        | 337±67    | 389±78      | 370±74    | 355±71                    | 165±33                    | 306±61    | 238±48    | 236±47                    |
| Presidenza (B)       | T     | ---                           | ---       | ---         | ---       | ---                       | 162±32                    | 266±53    | 189±38    | 206±41                    |
| Lab. Informatico (C) | T     | 522±104                       | 535±107   | 592±118     | 599±120   | 562±112                   | 190±38                    | 325±65    | 265±53    | 260±52                    |
| Aula (D)             | T     | 1300±260                      | 400±80    | 665±133     | 293±59    | 665±133                   | 120±24                    | 145±29    | 131±26    | 132±26                    |
| Aula (E)             | T     | 305±61                        | 431±86    | 417±83      | 314±63    | 367±73                    | 131±26                    | 137±27    | 119±24    | 129±26                    |
| Aula (F)             | T     | 384±77                        | 748±150   | 540±108     | 687±137   | 590±118                   | 128±26                    | 114±23    | 112±22    | 118±24                    |
| Laboratorio (G)      | T     | 227±45                        | 338±68    | 377±75      | ---       | 314±63                    | 143±29                    | 135±27    | 135±27    | 138±28                    |
| Ufficio (H)          | T     | ---                           | ---       | ---         | ---       | ---                       | 313±63                    | 522±104   | 360±72    | 398±80                    |
| Aula (I)             | 1°    | 227±45                        | ---       | 237±47      | 308±62    | 257±51                    | 106±21                    | 165±33    | 149±30    | 140±28                    |
| Aula (L)             | 1°    | ---                           | ---       | ---         | ---       | ---                       | 114±23                    | 170±34    | 130±26    | 138±28                    |
| Aula (M)             | 1°    | ---                           | ---       | ---         | ---       | ---                       | 104±21                    | 174±35    | 137±27    | 138±28                    |
| Aula (N)             | 1°    | 285±57                        | 382±76    | 293±59      | 309±62    | 317±63                    | 109±22                    | 189±38    | 138±28    | 145±29                    |
| Aula (O)             | 1°    | ---                           | ---       | ---         | ---       | ---                       | 121±24                    | 216±43    | 151±30    | 163±33                    |
| Aula (P)             | 1°    | 285±57                        | 539±108   | 301±60      | 312±62    | 359±72                    | 193±39                    | 244±49    | 183±37    | 207±41                    |
| Aula (Q)             | 1°    | ---                           | ---       | ---         | ---       | ---                       | 251±50                    | 374±75    | 351±70    | 325±65                    |
| Locale R)            | 1°    | ---                           | ---       | ---         | ---       | ---                       | 424±85                    | 636±127   | 426±85    | 495±99                    |

| Misure istantanee di concentrazione di attività di radon |                             |   |
|--|-----------------------------|---|
| Scuola   | Punto di prelievo           | Concentrazione istantanea di radon in aria (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|  |                             | Sopralluogo 2007  |
| Primaria e secondaria di 1° grado Guardea                | Laboratorio Informatico     | 65 ± 16   |
|  | Aula Sez. D                 | 34 ± 11   |
|  | Aula Sez. F                 | 8 ± 3   |
|  | Aula Sez. F, nel foro       | 603 ± 87  |
|  | Perimetro esterno, nel foro | 40358 ± 227   |

2007: individuazione elevate concentrazioni di radon e utilizzo in stato di ventilazione

| Misura di concentrazione di attività nei materiali da costruzione |             |            |            |            |           |           |          |
|---|-------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|----------|
| Campione  | Data misura | K-40       | U-238      | Ra-226     | Ra-228    | Th-232    | Indice I |
|   |             | Bq/kg      |            |            |           |           |          |
| Intonaco muro (Aula 3)  | Set. 2007   | 881 ± 31   | 102 ± 3    | 102 ± 3    | 167 ± 7   | 154 ± 5   | 1.37     |
| Parete muro (Aula 3)  |             | 34.6 ± 2.5 | 5.0 ± 0.2  | 5.0 ± 0.2  | 9.0 ± 0.7 | 8.7 ± 0.3 | 0.07     |
| Intonaco muro corridoio (parte nuova)                             |             | 915 ± 100  | 128 ± 9    | 128 ± 9    | 208 ± 29  | 170 ± 11  | 1.6      |
| Tufo (parte nuova)  |             | 1539 ± 73  | 147 ± 6    | 147 ± 6    | 363 ± 18  | 283 ± 9   | 2.53     |
| Argilla (carotaggio basamento)                                    |             | 508 ± 22   | 51.9 ± 1.7 | 51.9 ± 1.7 | 195 ± 8.3 | 192 ± 6   | ---      |
| Travertino (carotaggio basamento)                                 |             | 3.3 ± 1.0  | 3.6 ± 0.2  | 3.6 ± 0.2  | 2.2 ± 0.3 | 1.6 ± 0.2 | ---      |

Particolare del materiale da costruzione



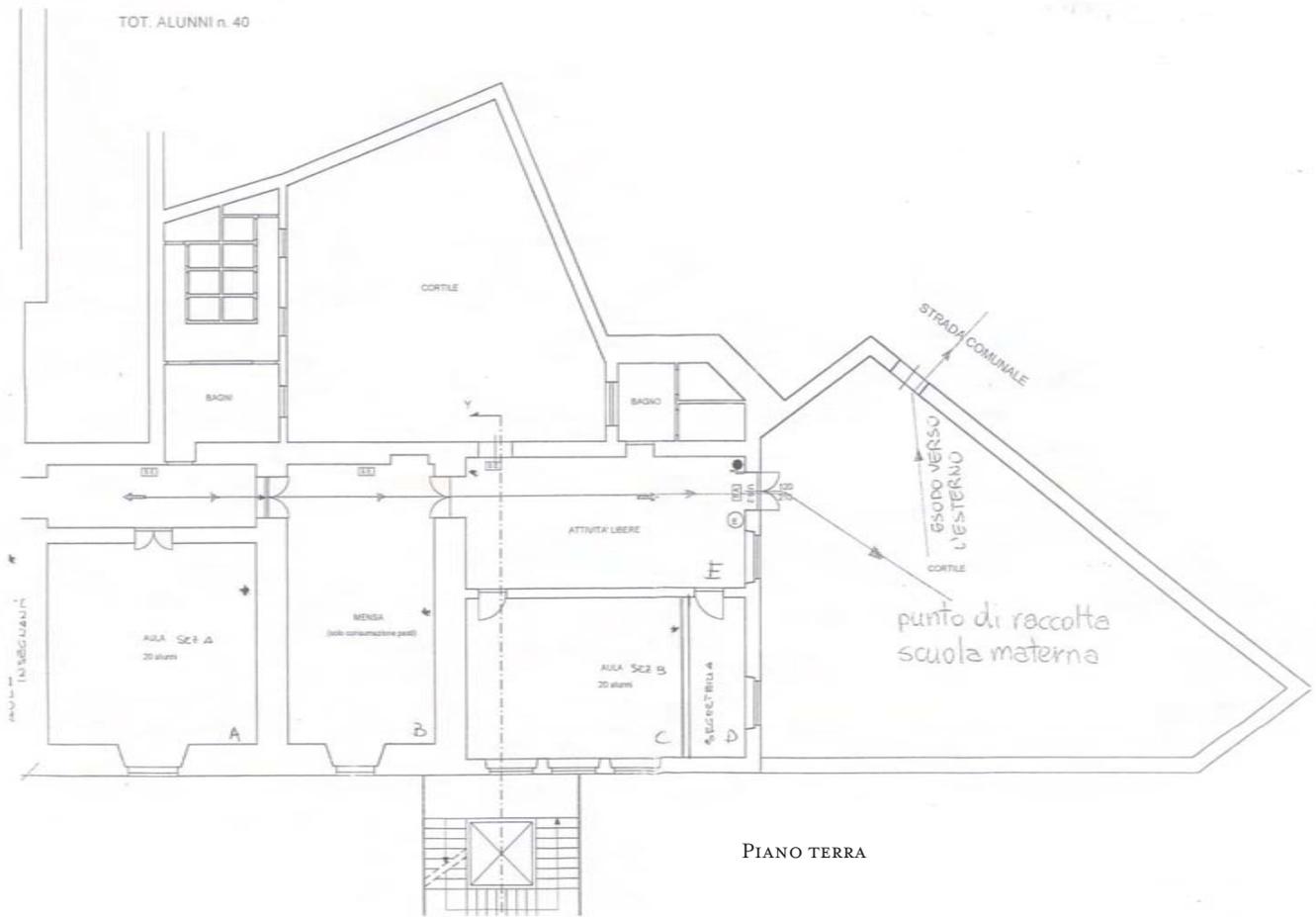
# Scuola dell'infanzia di Giove



Aspetto esteriore dell'edificio

## Caratteristiche dell'edificio, monitoraggi e azioni di rimedio

|                           |  |                                   |
|---------------------------|--|-----------------------------------|
| <b>Struttura edificio</b> | Anno di costruzione  | 1600                              |
|                           | Piani dell'edificio  | 2                                 |
|                           | Piano più basso dell'edificio  | Interrato                         |
|                           | Localizzazione del pavimento del piano più basso dell'edificio   | A diretto contatto con il terreno |
|                           | Substrato  | Travertini                        |
|                           | Materiale costruzione  | Pietra                            |
| <b>Monitoraggi</b>        | Misure <i>short time</i>   | 2005                              |
|                           | Misure annuali   | 2006-2007                         |
|                           | Sopralluoghi   | Estate 2006                       |
| <b>Azioni di rimedio</b>  | Rifacimento intonaci ammalorati e posizionamento di ventole ad aspirazione forzata sugli infissi esterni | Estate 2011                       |



## Sopralluoghi



Aula B



Particolare del corridoio



Cantina sottostante l'aula B

Cantina all'interno del monastero

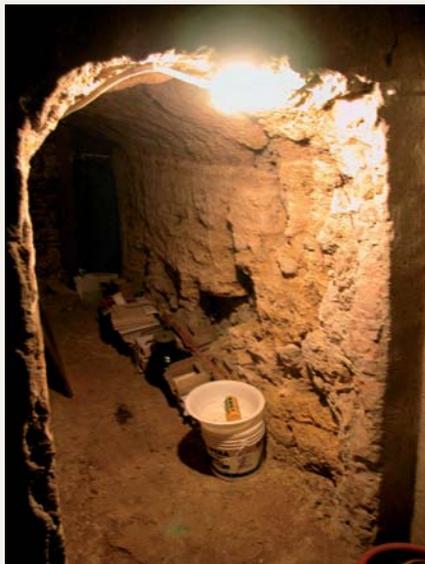


Tabella valori concentrazione radon nei locali monitorati

| Locale di misura        | Piano | Mag-giu 06 | Giu-set 06 | Set06-gen07 | Gen-mag07 | Media annuale<br>Mag06-ag07 |
|-------------------------|-------|------------|------------|-------------|-----------|-----------------------------|
| <b>Bq/m<sup>3</sup></b> |       |            |            |             |           |                             |
| Sala insegnanti         | 1°    | 390 ± 78   | 293 ± 59   | 296 ± 59    | 449 ± 90  | 357 ± 71                    |
| Sez.A                   | 1°    | 372 ± 74   | 269 ± 54   | 342 ± 68    | 346 ± 69  | 332 ± 66                    |
| Segreteria              | 1°    | 657 ± 131  | 220 ± 44   | 395 ± 79    | 645 ± 129 | 479 ± 96                    |
| Sez.B                   | 1°    | 893 ± 179  | 312 ± 62   | 536 ± 107   | 452 ± 90  | 548 ± 110                   |
| Salone gioco            | 1°    | 343 ± 69   | 228 ± 46   | 380 ± 76    | 356 ± 71  | 327 ± 65                    |
| Refettorio              | 1°    | 600 ± 120  | 291 ± 58   | 470 ± 94    | 442 ± 88  | 451 ± 90                    |

Misure istantanee di concentrazione di attività di radon

| Scuola               | Punto di prelievo  | Concentrazione istantanea di radon in aria (Bq/m <sup>3</sup> ) 2006 | Esalazione di radon dal suolo (Bq/m <sup>3</sup> ) 2006 | Concentrazione istantanea di radon in aria (Bq/m <sup>3</sup> ) 2007 |
|----------------------|--|--|---|--|
| Dell' infanzia Giove | Cantina scuola dell' infanzia  | 514 ± 74   | 14000 ± 100   |  |
|                      | Palazzo Comunale 2° cantina PT dopo colonna ascensore                  | 88 ± 20  | 6000 ± 100  |  |
|                      | Palazzo Comunale 2° cantina PT dopo colonna ascensore sotto l'intonaco | 838 ± 92   | ---   |  |
|                      | Palazzo Comunale 1° cantina PT dopo colonna ascensore                  | 154 ± 33   | ---   |  |
|                      | Sez. A   |  |   | 221 ± 34   |
|                      | Sez. B   |  |   | 63 ± 28  |
|                      | Refettorio   |  |   | 209 ± 54   |
|                      | Segreteria   |  |   | 91 ± 16  |

2006: individuazione di elevate concentrazioni di radon  
 2007: concentrazione di attività in stato di ventilazione

| Misura di concentrazione di attività nei materiali da costruzione |             |           |          |           |         |          |          |
|---|-------------|-----------|----------|-----------|---------|----------|----------|
| Campione  | Data misura | K-40      | U-238    | Ra-226    | Ra-228  | Th-228   | Indice I |
|   |             | Bq/kg     |          |           |         |          |          |
| Carota muro interno   | Set2006     | 881 ± 12  | 175 ± 45 | 111 ± 1   | 162 ± 3 | 174 ± 2  | 1.53     |
| Intonaco locale sotto aula  |             | 1288 ± 37 | 169 ± 55 | 160 ± 8   | 238 ± 7 | 245 ± 5  | 2.19     |
| Cemento locale sotto aula   |             | 1294 ± 30 | 216 ± 18 | 139 ± 7   | 187 ± 4 | 190 ± 10 | 1.84     |
| Basamento cantina monastero                                       |             | 184 ± 9   | 63 ± 10  | 8.7 ± 0.9 | 78 ± 5  | 75 ± 3   | 0.47     |

Cantina sottostante l'aula B



Nota: non si è ancora potuto procedere con la verifica delle azioni di rimedio, essendosi queste concluse nell'estate del 2011.



# Bibliografia

- AMATI R., BORIO R., CICIONI R., FORINI N., MARIOLI F., PELOSI M., RONGONI A., SABATINI P., SFORNA S., STOPPA F., TRINARI L., VESCHINI A.P. (1995) - *Studio conoscitivo didattico e promozionale dell'area di S.Venanzo (Terni)*, Università degli Studi di Perugia - Dipartimento Scienze della Terra.
- BORIO R., RONGONI A., SAETTA D.M.S., MONSIGNORI A. (2003) - *Misure di  $^{222}\text{Rn}$  e di  $^3\text{H}$  nelle acque minerali della Regione Umbria destinate all'imbottigliamento* - Servizio Stampa Università Studi Perugia.
- BORIO R., RONGONI A., SAETTA D.M.S., DESIDERI D., ROSELLI C. (2005) - *Radon and tritium measurements in drinking waters of a region in central Italy*, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol 266 n.3.
- BORIO R. ET AL. (1985) - *Radon and radon Daughter evaluation in a natural radioactivity survey indoors*, The Science of the total Environment, 45 (1985).
- BORIO R. ET AL. (1991) - *Livelli di radon e di dose gamma "indoor" in Umbria: risultati delle misure effettuate nell'ambito della campagna nazionale*, in "Atti del XXVII Congresso Nazionale AIRP", Ferrara 16-18 Settembre 1991.
- BOCHICCHIO F., CAMPOS VENUTI G., NUCCETELLI C., PIERMATTEI S., RISICA S., TOMMASINO L., TORRI G. (1999) - *Results of the National Survey on Radon Indoors in All the 21 Italian Regions*. Workshop "Radon in the Living Environment", 19-23 April 1999, Athens, Greece, 997-1006.
- CAMISASCA S. (2002) - *Studio dei parametri chimico fisici per la determinazione della concentrazione di radon con rivelatori a stato solido di tracce nucleari di nitrato di cellulosa LR 115*, tesi di laurea, Università degli Studi di Milano.
- COUNCIL DIRECTIVE (2011) *Proposal for laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation*, Draft presented under Article 31 Euratom Treaty for opinion of the European Economic and social Committee
- DECRETO LEGISLATIVO DEL GOVERNO 17 MARZO 1995, N° 230: *Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti e s.m.i.*
- DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA, 21 APRILE 1993, N. 246 - *Regolamento di attuazione della Direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione*, in Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana - Serie Generale n. 170 del 22/7/1993
- INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (1988). *Man-made mineral fibres and radon. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*, Vol. 43, IARC, Lyon.
- MINISTERO DELLA SALUTE (2001) - *Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati* - G.Uff. n.27b del 27/11/2001
- MUSTONEN R., PENNANEN M., ANNANMAKI M. E OKASANEN E. (1999) - *Enhanced Radioactivity of Building Materials*, final report of the contract No 96-ET-003 for the European Commission. Radiation and Nuclear Safety Authority - STUK, Finland, 1997; Radiation Protection 96, Luxembourg, 1999.
- RACCOMANDAZIONE DELLA COMMISSIONE DEL 20 DICEMBRE 2001 SULLA TUTELA DELLA POPOLAZIONE CONTRO L'ESPOSIZIONE AL RADON NELL'ACQUA POTABILE, commissione delle Comunità Europee. 2001/928/Euratom.
- RADIATION PROTECTION 112 (2000) - *Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials*. Luxembourg.
- REGIONE VENETO (2001) - *Guida pratica alla misurazione del radon e alla bonifica nelle abitazioni UNI 10797 (1999): Radionuclidi naturali nei materiali da costruzione Determinazione mediante spettrometria gamma ad alta risoluzione.*
- UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (1993) - *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (2009) - *Handbook on indoor radon. A public health perspective.*













Finito di stampare  
nel mese di dicembre 2011  
a Cerbara (PG)  
da GESP srl  
per conto di Arpa Umbria



