

-1-

**“INQUINAMENTO INDOOR DA RADON.
UNA APPLICAZIONE DELLE RETI BAYESIANE A
SUPPORTO DELLA DIAGNOSI”**

Giuseppe Alaimo^(*), Alberto Giretti^(), Nicoletta Calà Lesina**

^()Università di Palermo - Dipartimento di Progetto e Costruzione Edilizia
Viale delle Scienze – 90128 Palermo*

alaimo@unipa.it

*^(**)Università Politecnica delle Marche - Dipartimento di Architettura
Costruzione e Strutture - Facoltà di Ingegneria – Ancona*

[e-mail: a.giretti@univpm.it](mailto:a.giretti@univpm.it)

Abstract

Nel quadro più generale della tematica del controllo della qualità ambientale e più in particolare *dell'Indoor Air Quality*, la presente relazione riporta lo studio di un fenomeno di inquinamento da radon riguardante la scuola “G. Mancino” di Palermo.

Lo spunto viene offerto dal fatto che nel 2005, nel corso di un monitoraggio della radioattività ambientale di Palermo, i tecnici dell'ARPA Sicilia hanno rilevato in questa scuola elementare degli anni '30, livelli di radon indoor molto superiori ai limiti di legge fissati dal D.Lgs. 241/2000.

Nella prima fase, dopo lo studio delle caratteristiche tipologiche e costruttive del plesso e l'acquisizione dei dati di misura pregressi, si è proceduto ad una nuova campagna di monitoraggio rivolta al rilievo di dati e misure sperimentali sulla presenza del radon indoor e dei dati meteorologici del contesto specifico.

Nella seconda fase è stata formulata una proposta di intervento sostenuta dall'analisi dei meccanismi di inquinamento attraverso modelli di simulazione.

In particolare l'approccio metodologico dello studio procede attraverso lo sviluppo di un modello di analisi basato sulle reti bayesiane, rilevatosi uno strumento utile di supporto per la diagnosi e le conseguenti decisioni progettuali, capace di controllare e descrivere fenomeni complessi e di stimare relazioni probabilistiche tra cause ed effetti.



**Ed. ISTeA – Italian Society of Science,
Technology and engineering of
Architecture**

1. Introduzione

L'analisi della qualità dell'aria negli ambienti confinati (*Indoor Air Quality*) all'interno della valutazione delle performance ambientali degli insediamenti è un argomento d'importanza centrale, su cui l'interesse scientifico, tecnico e normativo risulta crescente. La presenza di contaminanti chimici, biologici e radioattivi all'interno degli edifici è legata a fasi differenti della vita della struttura: vi sono inquinanti legati alle scelte di progetto (materiali da costruzione, arredi, ...), inquinanti legati all'uso e, più in generale, alla gestione dell'edificio. Vi sono, infine, inquinanti provenienti dall'ambiente esterno all'edificio, il cui fattore patogeno, normalmente irrilevante alle diluizioni *outdoor*, viene amplificato dall'aumento della concentrazione *indoor*. L'analisi e la valutazione dei diversi fenomeni d'inquinamento che possono verificarsi nei vari casi, aventi soluzioni costruttive diverse, in contesti ambientali differenti e relativi a tipologie di utilizzo disparate, è pertanto un problema complesso che richiede un'attenta valutazione di situazioni spesso poco documentate e non facilmente quantificabili in cui molti agenti concorrono attraverso dinamiche molteplici alla determinazione del quadro patogeno complessivo.

L'identificazione e la qualificazione delle situazioni patologiche rende pertanto necessario lo sviluppo di speciali strumenti di valutazione che forniscano indicazioni significative anche in situazioni non del tutto determinate, in modo da permettere la stima dell'entità della patologia, l'individuazione delle cause più probabili e la stesura di raccomandazioni per la conduzione delle indagini ispettive e/o delle eventuali misurazioni. Tali strumenti devono essere sufficientemente flessibili da poter integrare stime del tutto qualitative con informazioni basate su insiemi di dati provenienti da campagne di misura, devono poter essere aggiornati man mano che nuove informazioni sono ricavate e devono permettere le analisi di scenario in modo rapido ed efficace sulla base del contenuto informativo in atto.

In questo articolo descriveremo le possibilità offerte ed i limiti di applicazione di un modello probabilistico bayesiano, sviluppato sulla base delle più recenti teorie per l'inquinamento da Radon negli edifici (Cocchioni & Giretti, 2006), per la valutazione di un caso di inquinamento da Radon, riguardante la scuola "G. Mancino" di Palermo.

Lo spunto viene offerto dal fatto che nel 2005, nel corso di un monitoraggio della radioattività ambientale di Palermo, i tecnici dell'ARPA Sicilia hanno rilevato in questa scuola elementare degli anni '30, livelli di radon indoor molto superiori ai limiti di legge fissati dal D.Lgs. 241/2000. A valle dell'analisi delle caratteristiche tipologiche e costruttive del plesso verranno descritte le campagne di monitoraggio del livello del radon indoor e dei dati meteorologici del contesto specifico e le analisi di scenario offerte dal modello bayesiano che hanno supportato la proposta di intervento.

2. Il caso della scuola “G. Mancino”

2.1 La scuola elementare “G. Mancino”

L’edificio sede della scuola elementare “Giuseppe Mancino”, plesso dell’Istituto Comprensivo “P. Mattarella”, sorge nella borgata Belmonte Chiavelli a sud-est di Palermo (Fig. 1), su area pianeggiante ed esposta all’azione del vento del sole.



Fig. 1 Immagine da satellite del sito della scuola elementare “G. Mancino” (www.Googlemaps.it).

Progettato dagli ingegneri Lo Iacono e Nicoletti, è stato realizzato nel 1938-1939 (Muratore, 2000) su un terreno sedimentario-alluvionale dalla stratigrafia eterogenea. L’edificio a pianta rettangolare, di dimensioni 24,50 m × 15,70 m, ha una sola elevazione e presenta una copertura a falde (Figg. 2, 3, 4).



Fig. 2 Prospetto nord-est della scuola elementare “G. Mancino”.

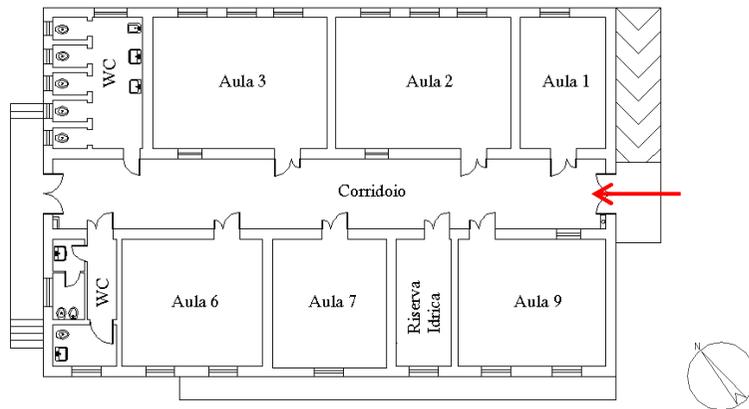


Fig. 3 Planimetria della scuola elementare “G. Mancino”- Stato di fatto (Comune di Palermo, 1999).

La fabbrica, incassata nel terreno di sedime per circa 1 m, è poggiata su una platea di fondazione, di altezza complessiva di 70-80 cm, costituita da un vespaio non ventilato in pietrame calcareo compatto (“ciottoli grossi di cava o torrente sistemati a mano”), di spessore 40-50 cm, da una soletta in calcestruzzo, su cui è stata realizzata una pavimentazione con mattoni di cemento. La struttura portante è di muratura in blocchi di pietrame calcareo e malta cementizia e mattoni pressati in laterizio agli angoli con funzione di irrigidimento, ed ha uno spessore decrescente dai 70 cm alla base ai 45 cm circa nella parte alta (Fig. 4). I materiali da costruzione utilizzati sono tutti di provenienza locale.

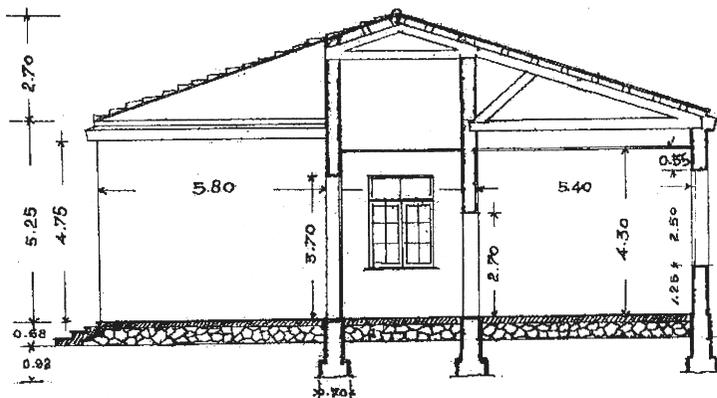


Fig. 4 Sezione dal progetto originario (1938-1939) della scuola “G. Mancino” (Muratore, 2000).

All’interno ospita in tutto 9 ambienti (6 aule, 2 servizi, 1 locale tecnico) disposti ai lati di un corridoio centrale. L’altezza dei locali è di circa 4 metri (fino al controsoffitto), la copertura a doppio spiovente è realizzata con capriate in legno e tegole alla marsigliese.

Una o più finestre sono presenti in ogni ambiente, gli infissi sono quelli originari in legno verniciato a smalto, a due mezzine e sopra-luce a vasistas, e sono normalmente aperte nel periodo estivo. La tenuta è scarsa. Le aule n° 2, 3 e 9 presentano anche piccole vasistas sopra-porta sul corridoio.

Il sistema di riscaldamento è a circolazione chiusa d'aria, con aspirazione nel corridoio, filtraggio a secco, riscaldamento e reimmissione nei diversi locali.

2. 2 Il Radon nella scuola elementare “G. Mancino”

La presenza del Radon negli ambienti della scuola elementare è stata scoperta dal Dipartimento ARPA di Palermo (D.A.P.) nel 2005, all'avvio di una campagna di monitoraggio dei livelli di radioattività nelle scuole elementari ed asili del capoluogo siciliano. Il primo monitoraggio (18/01/2005 - 26/01/2005) ha fatto registrare livelli di gas Radon con punte superiori ai 900 Bq/m³, a fronte del limite di 500 Bq/m³ previsto per la concentrazione media annua dal D.Lgs. 241/2000 nei luoghi di lavoro. Successive misure hanno confermato valori ancora alti.

L'esame dei valori istantanei di concentrazione dei monitoraggi pregressi del D.A.P. ci ha permesso di rilevare come le condizioni di misura, ed in particolare la ventilazione indoor, influenzano molto soprattutto la concentrazione media e quella massima, portando i livelli al di sotto od intorno al limite normativo di 500 Bq/m³.

I dati registrati confermavano in generale la tipica variabilità giorno/notte del gas, mentre nulla invece si poteva dire sulle variazioni stagionali delle concentrazioni essendo state svolte misure nel solo periodo invernale.

3. I dati sperimentali

3.1 Il monitoraggio attivo del Radon nella scuola “G. Mancino”

Con le nuove campagne di monitoraggio dei livelli di Radon effettuate nel corso del 2008 (grazie al fondamentale supporto tecnico-scientifico del D.A.P., Dirigente Responsabile dott. Antonio Sansone Santamaria), è stato ulteriormente approfondito lo studio delle dinamiche di accumulo e di diffusione negli ambienti interni e sono stati acquisiti dati sperimentali di estrema rilevanza anche per una corretta applicazione, a questo specifico “caso”, delle reti bayesiane quale strumento di supporto alla diagnosi.

A questo scopo abbiamo svolto due monitoraggi di tipo attivo, il primo durante il “periodo invernale” (26 gennaio - 19 febbraio 2008), l'altro nel corso di quello “estivo” (19 marzo - 4 giugno 2008), per i quali è stato utilizzato il PRAS.SI., della Silena S.p.A., lo stesso strumento delle precedenti campagne di monitoraggio.

I risultati dell'indagine invernale evidenziano la tendenza del gas ad accumularsi rapidamente e a raggiungere livelli piuttosto elevati negli ambienti indoor della scuola in assenza di ventilazione e di un gradiente di temperatura (*Tab. 1*): è confermata dunque l'esistenza di un concreto “problema” Radon.

Periodo di misura (aula)	Conc. med. (Bq/m ³)	Conc. max (Bq/m ³)	Ventilazione indoor	Riscaldamento	Valore di rif. (Bq/m ³)
26/01 - 31/01/2008 (9)	509,0	716,7	assente	spento	500
31/01 - 19/02/2008 (9)	114,0	549,51	presente	acceso	500
19/03 - 11/04/2008 (9)	22,2	152,8	presente	spento	500
11/04 - 04/06/2008 (6)	40,3	158,3	presente	spento	500
26/01 - 19/02/2008 (9)	201,0	716,7	assente/presente	---	500
19/03 - 04/06/2008 (9)	34,8	158,3	presente	---	500

Tab. 1 Valori della concentrazione di Radon nei nuovi periodi di monitoraggio

Nei due periodi del monitoraggio “estivo” i valori di concentrazione sono sempre di gran lunga inferiori al limite di 500 Bq/m³ per via della ventilazione indoor. Dal raffronto tra i valori medi e massimi riferiti ai due periodi di monitoraggio si rileva la variabilità stagionale e giorno/notte dei livelli di concentrazione di Radon (Fig. 5).

3.2 Il Radon e i dati meteorologici

Al fine di approfondire la correlazione tra l'oscillazione della concentrazione di Radon e quella dei principali parametri meteorologici, sia per il periodo “invernale” che per quello “estivo”, abbiamo raccolto i valori di temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica e velocità del vento, registrati dalla stazione meteorologica del SIAS di Palermo nelle ore corrispondenti a quelle dei campionamenti registrati dal PRAS.SI., assicurando così una stretta correlazione tra i dati (SIAS, 2008).

L'esame conferma lo stretto rapporto tra i parametri climatici e le dinamiche di ingresso e di accumulo del Radon nell'edificio ed in particolare che (Figg. 5, 6, 7):

- esiste una corrispondenza, più marcata nel periodo invernale, tra basse temperature ed elevati valori di concentrazione nelle ore notturne, specie in assenza di ventilazione ed a riscaldamento spento;
- l'aerazione degli ambienti è efficace nel contrastare l'effetto di aspirazione ed accumulo del gas nei locali;
- esiste una correlazione tra livelli di Radon indoor e velocità del vento: i valori si riducono in presenza di vento, non necessariamente di forte intensità, per effetto delle infiltrazioni, aumentano nelle ore/giorni di calma per cui l'ingresso per effetto vento del Radon nella scuola si potrebbe già escludere.

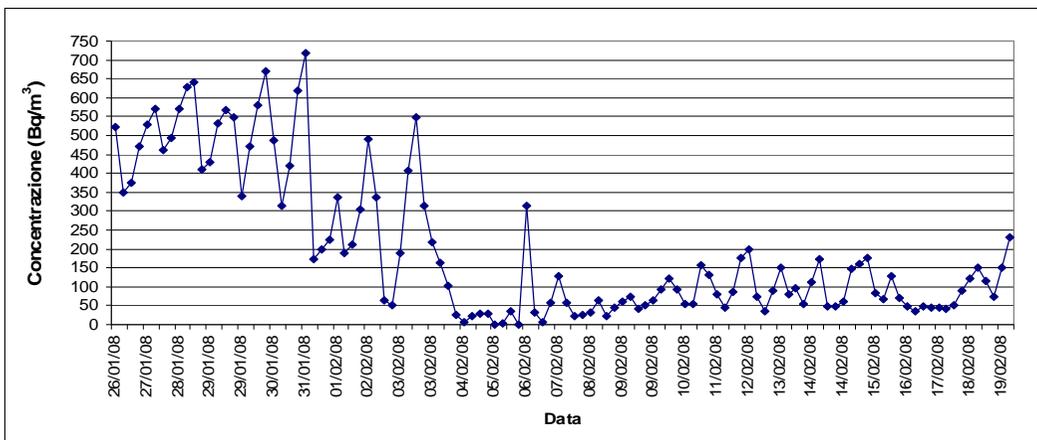


Fig. 5 Livelli di concentrazione di radon (Bq/m³) nelle differenti condizioni di ventilazione dell'aula n°9. Periodo di misura: 26/01/2008-19/02/2008.

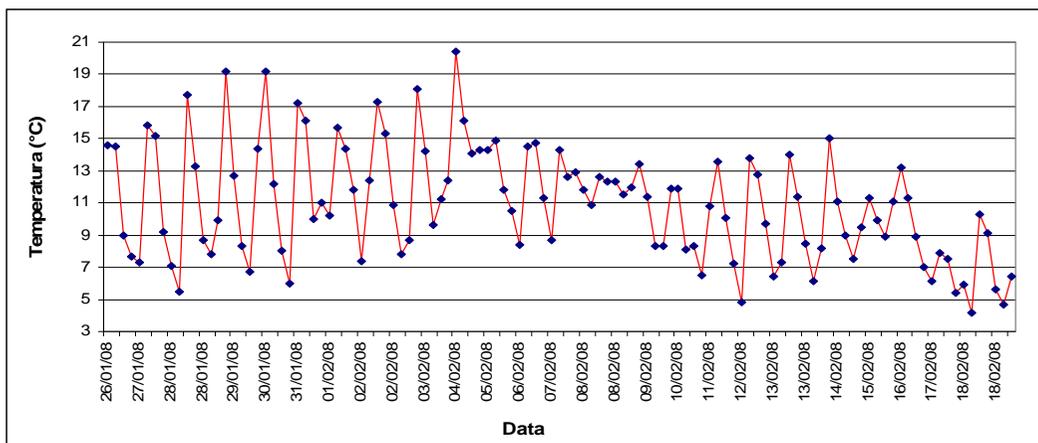


Fig. 6 Temperatura aria (°C). Periodo di rilevamento: 26/01/2008-19/02/2008 (SIAS, 2008).

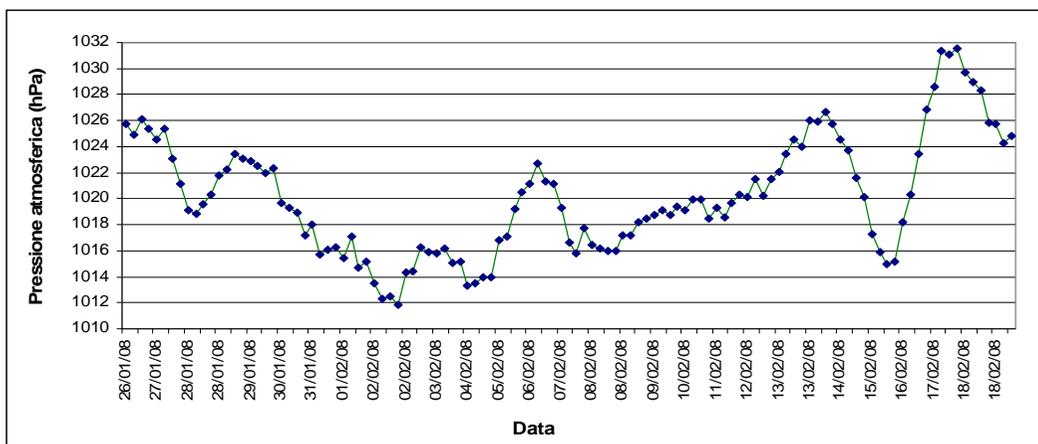


Fig. 7 Pressione atmosferica (hPa). Periodo di rilevamento: 26/01/2008-19/02/2008 (SIAS, 2008).

3.4 Le altre indagini

È stata eseguita la caratterizzazione radiologica di campioni di suolo, prelevati a differenti profondità, e di materiale da costruzione provenienti dal sito della scuola “G. Mancino” con la tecnica della spettrometria gamma a rivelatore di germanio HGe svolte presso il Laboratorio di Fisica del D.A.P. di Palermo.

Dalle analisi è risultato che, in ogni campione, tra i nuclidi individuati, insieme al K-40 è particolarmente rilevante la presenza dei progenitori e dei “figli” sia del Radon che del Toron e che la concentrazione di attività specifica, che consente la valutazione qualitativa del “potenziale di esalazione”, è maggiore per il Ra-226 rispetto all’Ac-228, il che indica una più probabile esalazione di Radon piuttosto che di Toron. In particolare, infine, la maggiore concentrazione di attività specifica di Ra-226 nei campioni di suolo piuttosto che di materiale da costruzione suggerisce che il terreno è la più probabile sorgente del Radon indoor nella scuola. Inoltre, confrontando i livelli medi e massimi invernali del Radon nella scuola “G. Mancino” e quelli da noi rilevati in altri edifici scolastici coevi di Palermo, “N. Garzilli”, “L. Radice” e “R. Moletti”, con uguali criteri e strumenti di misura, si è potuto verificare che indipendentemente dalle comuni caratteristiche tipologiche, strutturali e dei materiali da costruzione, la presenza del Radon alla scuola “G. Mancino” costituisce in effetti un “caso particolare”.

4. Lo strumento di supporto alla diagnosi

4.1 Le reti bayesiane

Basati sul Teorema di Bayes, questi strumenti di analisi statistica sono tali che le relazioni di causa-effetto tra i parametri che figurano nelle reti sono definite in termini di probabilità condizionata e gli effetti del cambiamento di un valore di probabilità di una variabile si propagano “in cascata” a quelle collegate ad essa più o meno direttamente, rendendo possibile il loro utilizzo sia a scopo diagnostico che predittivo. La “dimensione” della rete bayesiana e la sua articolazione in aree o sottoreti dipendono dalle caratteristiche dello “spazio fisico” in cui si verifica il fenomeno da rappresentare, dalla complessità di questo e dalle finalità dell’analisi. La definizione di sottoreti per ogni “volume di controllo” in cui si può decomporre lo “spazio fisico” oggetto di studio, permette di effettuare una analisi localizzata dei principali processi di propagazione e diffusione del gas che vi si verificano nell’ipotesi di regime stazionario, simulando la sua distribuzione nell’edificio.

4.2 Il modello bayesiano per la scuola elementare “G. Mancino”

Per la descrizione e lo studio dei processi di generazione, ingresso e accumulo del gas Radon nella scuola elementare “G. Mancino” di Palermo è stato applicato un modello dedotto da una rete bayesiana elaborata per la simulazione e lo studio del Radon Indoor in un edificio a due elevazioni (Cocchioni & Giretti, 2006).

La rete che ne “deriva” è formata da 46 nodi e 46 relazioni di causa-effetto, si sviluppa a partire dalla variabile di stato “Misura Rn PT”, che descrive il livello di gas misurato e si articola in tre aree o sottoreti (Fig. 8).

Ciascuna Area descrive le principali dinamiche responsabili del Radon indoor nei due volumi di controllo in cui è suddiviso lo “spazio fisico” della scuola, cioè il *terreno di fondazione* e *l’edificio* stesso, nonché i processi di diffusione all’interfaccia edificio-suolo.

Per la “costruzione” di ogni area, dalla rete “originaria” sono state individuate le variabili coinvolte nei processi, definite le relative relazioni di causalità, e modificato il dominio di ogni parametro, tenuto conto delle concentrazioni di Radon e delle caratteristiche radiometriche del suolo e dei materiali da costruzione.

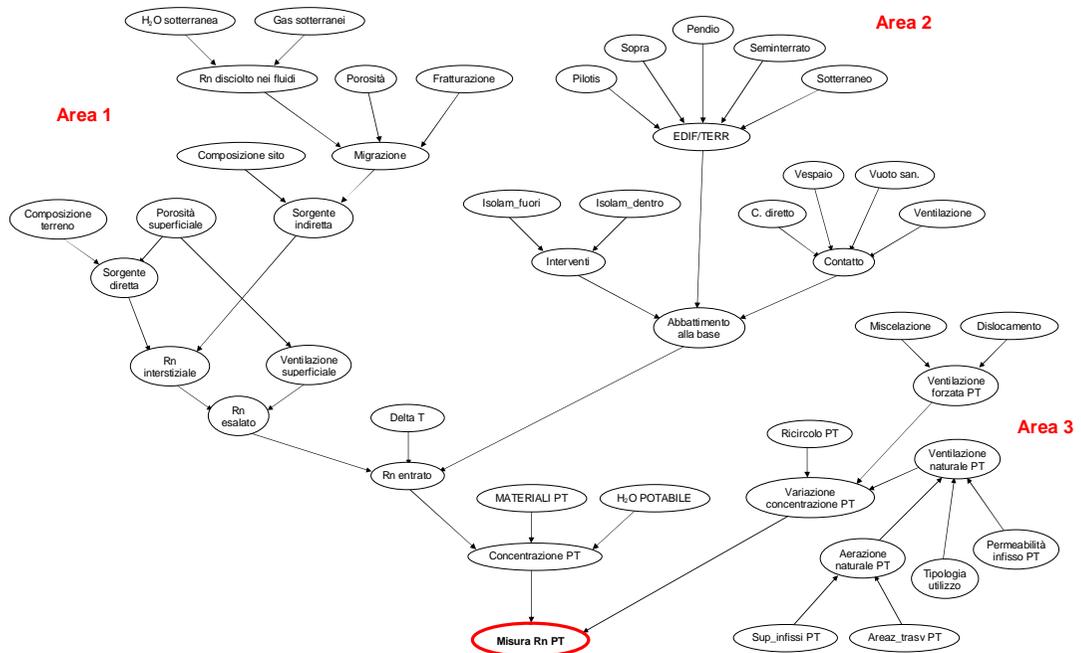


Fig. 8 La rete bayesiana del modello previsionale sviluppato per la scuola elementare “G. Mancino”.

L’Area 1 è relativa al volume di controllo del terreno di fondazione: si sviluppa dalla variabile “Rn esalato”, che è “la quantità di Radon che potrebbe entrare nell’edificio”, e studia i fenomeni che influenzano l’emissione di gas dal terreno del sito e delle adiacenze in funzione delle sue caratteristiche geologiche e fisiche.

L’Area 2 è relativa all’interfaccia edificio-terreno: dal nodo “Abbattimento alla base”, che descrive l’“abbattimento percentuale del Radon esalato”, si articola in tre linee di indagine relativamente a tipologia dell’“attacco” a terra dell’edificio, interventi di risanamento e/o protezione della fondazione, presenza o meno di vuoto sanitario o di vespajo.

L'Area 3 è relativa al volume di controllo costituito dallo stesso edificio: dalla variabile di stato "Variazione concentrazione PT" si sviluppano le linee di indagine relative all'effetto della ventilazione naturale e forzata e del ricircolo dovuto al riscaldamento sull'eventuale abbattimento dei livelli indoor.

4.3 L'Applicazione della rete bayesiana per la diagnosi

A questo scopo si è scelto di simulare i processi di generazione, ingresso ed accumulo del gas indoors per il solo periodo invernale, a finestre chiuse e riscaldamento attivo. Ai fini della diagnosi, noti i livelli di Radon misurati, è stata fissata l'ipotesi di lavoro "Misura Rn PT" "Alta", e si è proceduto all'analisi dei fenomeni che ne producono l'abbattimento nonché di quelli responsabili delle emissioni da parte delle sorgenti.

Per sviluppare la linea di indagine relativa all'abbattimento sono state fissate le "ipotesi di lavoro" corrispondenti alle condizioni più critiche per il Radon Indoors e quelle che simulano le caratteristiche degli infissi e l'assenza di aerazione forzata. La "rete" evidenzia che:

- per l'assenza di "Aerazione naturale PT", la "Ventilazione naturale PT" dovuta alla sola infiltrazione produce una "Variazione concentrazione PT" che non è sufficiente a diluire in maniera efficace il Radon che si accumula indoors;
- il "Delta T" tendenzialmente "Alto" conferma che il gradiente di temperatura è responsabile dell'ingresso del Radon in questo edificio;

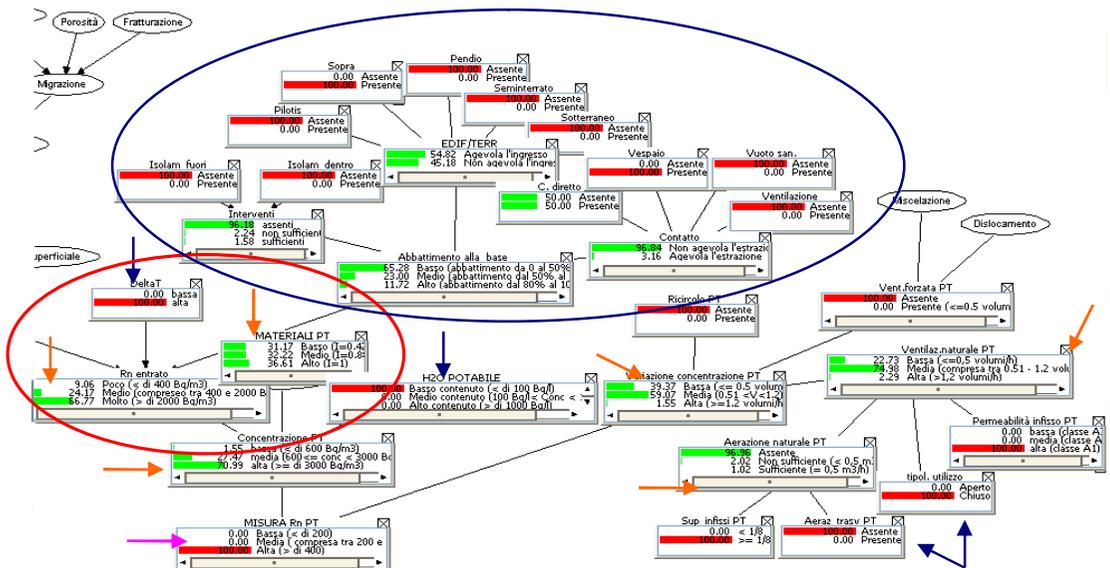


Fig. 9 Influenza del ramo "Abbattimento alla base" sulle stime di probabilità del contributo delle sorgenti alla concentrazione indoor - Ipotesi: "Aeraz. trasv." ASSENTE e "Tipol. utilizzo" CHIUSO e "Delta T" ALTO.

- anche nell'ipotesi di presenza di aerazione trasversale la rete non è in grado di indicare quale, tra le sorgenti del Radon, sia quella prevalente ma conferma l'influenza del gradiente di temperatura;
- le maggiori probabilità si spostano decisamente verso le emissioni dal terreno, per "Delta T" "Alto", indipendentemente dalle condizioni di aerazione trasversale e dalle modalità di utilizzo delle finestre soprattutto dopo la descrizione delle caratteristiche del contatto edificio-terreno (*Fig. 9*);
- ipotizzata una "Composizione terreno" "Alta" in base alla stima della concentrazione di attività del Ra-226 nel suolo, ed anche una "Porosità Superficiale" "Alta", la variabile "Rn esalato" presenta elevata probabilità di entrata nell'edificio dal suolo, e il nodo "Rn entrato" una netta prevalenza di Radon indoor dal terreno più che dai materiali.

4.4 Parametri meteorologici e livelli di Radon Indoor

La correlazione tra le misure di concentrazione del Radon nella scuola "G. Mancino" con i valori dei parametri meteorologici (SIAS, 2008) registrati nei diversi periodi, ha portato allo sviluppo di una nuova rete bayesiana, per "implementazione" della rete precedente, che ha permesso di osservare più chiaramente l'influenza di questi ultimi sulle dinamiche di ingresso ed accumulo del gas nell'edificio.

Inizialmente la rete messa a punto è formata da 3 nodi e da 5 relazioni causali (*Fig. 10*) e consente di effettuare l'analisi dei processi definiti con riferimento ai valori registrati per un solo mese.

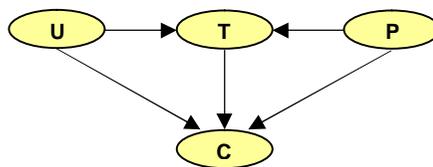


Fig. 10 Implementazione della rete bayesiana del modello per la scuola elementare "G. Mancino".

Nonostante la sua semplicità questa rete evidenzia una forte dipendenza tra elevate concentrazioni, valori bassi di temperatura e medio-bassi di umidità e pressione, attraverso un ragionamento sia diagnostico, che predittivo.

La rete è stata opportunamente ampliata e modificata introducendo i nodi "Mese" ed "Ora" e ridefinendo sia il dominio di ogni variabile, sia le relative correlazioni: essa in definitiva, comprende 6 nodi ed 11 relazioni di causa-effetto (*Fig. 11*).

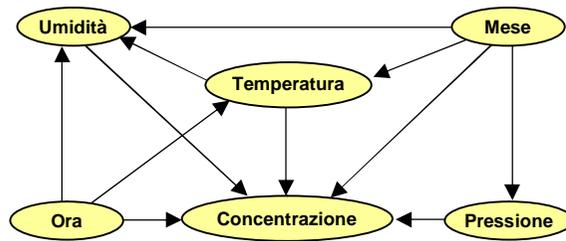


Fig. 11 Implementazione del modello bayesiano precedente per la scuola elementare “G. Mancino”.

Il modello consente di mettere in rilievo alcuni aspetti di maggiore dettaglio del comportamento del Radon nella scuola “G. Mancino”. Ad esempio:

- intervenendo semplicemente sul nodo “Mese” è possibile studiare l’andamento stagionale dei livelli indoors, con valori più elevati a gennaio e più bassi a maggio;
- fissando per il mese più critico differenti “ipotesi di lavoro” per il nodo “Ora” si rileva il caratteristico andamento giornaliero di valori elevati di notte e bassi di giorno;
- la stretta correlazione tra i valori di concentrazione e quelli di temperatura ed umidità: a gennaio i livelli di Radon risultano elevati per bassi valori di temperatura e pressione;
- l’inserimento del parametro relativo alle variazioni della velocità del vento ha reso necessario ridefinire nuovamente sia le relazioni di causalità tra le 7 variabili coinvolte, adesso in tutto 13, sia i landmark di ogni dominio, ora discretizzati in intervalli di maggiore dettaglio;
- nei mesi di gennaio e marzo le concentrazioni risultano più elevate, soprattutto nei giorni in cui si registrano valori di temperatura e umidità molto bassi, in assenza di vento e di notte (Fig. 13). Bassi valori di concentrazione si ottengono invece anche con vento minimo: ciò significa che l’ingresso del Radon nella scuola “G. Mancino” non è causato dall’azione del vento, che invece ne favorisce la diluizione indoors per infiltrazione, ma che il gas è aspirato dal terreno a causa del gradiente di pressione termico che si genera a riscaldamento attivo.

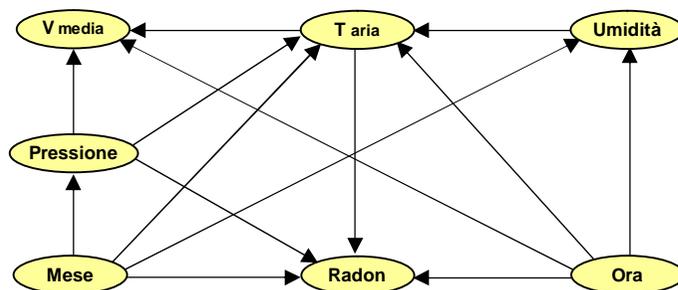


Fig. 12 Rete bayesiana definitiva per la scuola elementare “G. Mancino”.

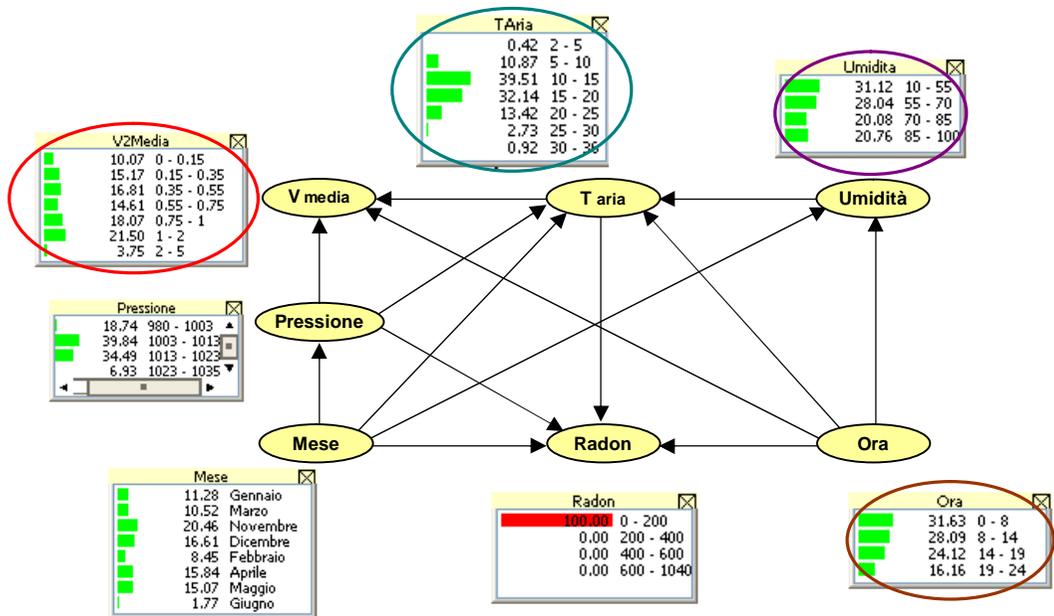


Fig. 13 Scenario 3, ipotesi: "Alte Concentrazioni" (400-600 Bq/m3), potenzialmente dannose.

5. Conclusioni

Nella rete bayesiana sviluppata per la scuola elementare "G. Mancino" sono evidenti le caratteristiche proprie dei modelli qualitativi sintetici:

- schematicità nella rappresentazione dello spazio e del fenomeno fisico studiato;
- adattabilità dello strumento di analisi che ha consentito di descrivere e studiare un fenomeno complesso, come quello del Radon Indoor, adeguando un modello bayesiano già esistente ad uno "scenario" dalle caratteristiche differenti;
- esplicita ed intuitiva definizione dei principali parametri coinvolti nel processo fluidodinamico esaminato: la rappresentazione grafica della rete evidenzia, anche nel caso di sistemi più complessi, le "cause" che hanno determinato un particolare "risultato" e facilita lo sviluppo dei calcoli che sono svolti secondo lo "schema" proposto;
- stima delle grandezze da studiare anche a partire da dati e informazioni non completi;
- applicazione a scopo sia diagnostico che predittivo.

L'approssimazione delle stime è il principale limite del modello qualitativo qui applicato, come per gli altri modelli in cui è utilizzata l'ontologia bayesiana: la rete bayesiana fornisce infatti solo stime di probabilità delle grandezze studiate.

Lo strumento di analisi bayesiana utilizzato per la descrizione e lo studio del fenomeno del Radon Indoor nella scuola elementare "G. Mancino" di Palermo è di facile utilizzo. La sua applicazione a scopo diagnostico ha prodotto risultati coerenti con le ipotesi che è stato possibile formulare in base ai risultati del monitoraggio, alle misure e le informazioni sulla caratterizzazione radiologica dei campioni di terreno e dei materiali da costruzione, tenuto conto delle caratteristiche tipologiche e strutturali dell'edificio.

6. Bibliografia

1. Muratore A., (2000) *L'edilizia scolastica pubblica a Palermo nei primi decenni del secolo (1900- 1939)*, tesi di laurea, Università degli Studi di Palermo, Facoltà di Ingegneria.
2. Comune di Palermo, Servizio Edilizia Scolastica, (2000) *Relazione geologica sui terreni dei plessi scolastici Mancino e Bartolomeo per progetto d'adeguamento*, geologo: Dott. S. Bruno.
3. ARPA Sicilia, (2005) *Dati monitoraggio concentrazioni gas Radioattivo Radon in plesso scolastico "Mancino"*, Dipartimento ARPA Provinciale di Palermo.
4. Città di Palermo, Ufficio Autonomo Edilizia Scolastica, (2005) *Progetto esecutivo degli interventi di adeguamento alle norme di igiene, sicurezza, agibilità del plesso scolastico elementare statale Mancino. Concentrazione gas radioattivo radon.*
5. ARPA Sicilia, (2007) *Dati monitoraggio concentrazioni gas Radioattivo Radon in plesso scolastico "Mancino"*, Dipartimento ARPA Provinciale di Palermo.
6. SIAS (Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano), (2008) *Dati meteorologici, Stazione meteorologica di rilevamento di Palermo.*
7. Cocchioni C., Giretti A., (2006) *Indoor Air Quality. Inquinamento da Radon- Strumenti di diagnosi e validazione del progetto*, Alinea Editrice, Firenze.
8. De Grassi M., Naticchia B., Giretti A., Carbonari A., (2008) *Reti Bayesiane con applicazioni all'edilizia e alla gestione del territorio*, FrancoAngeli, Milano.
9. Conferenza permanente tra Stato, Regioni e Province Autonome di Trento e Bolzano, (2001) "Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati", Accordo del 27 settembre 2001.
10. EPA, (2003) *School Indoor Air Quality - Best Management Practices Manual*, U.S. Environmental Protection Agency and the United States Consumer Product Safety Commission, Office of Environmental Health and Safety Indoor Air Quality Program, Washington, DC 20460.