Zeitschrift: Bollettino della Società ticinese di scienze naturali

Herausgeber: Società ticinese di scienze naturali

Band: 81 (1993)

Heft: 2

Artikel: Radon : cenni di un problema d'aspetto scientifico e di sanità pubblica con particolare riferimento alla situazione ticinese

Autor: Medici, Fausto

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1003356

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Boll. Soc. Tic. Sci. Natur.(Lugano) - 81(2), 1993,pp 11-30 ISBN-88-85118-12-7

RADON
CENNI DI UN PROBLEMA D'ASPETTO SCIENTIFICO E DI SANITA' PUBBLICA CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLA SITUAZIONE TICINESE

FAUSTO MEDICI

Istituto di Geofisica del Politecnico Federale di Zurigo, ETH-Hönggerberg, 8093 Zurigo

RIASSUNTO

Il gas nobile radioattivo radon è responsabile di gran parte della dose totale d'irradiazione assorbita dalla popolazione. La concentrazione media di radon nelle abitazioni del canton Ticino è di ca. 100 Bq/m^3. Questo valore corrisponde a ca. 2.7 mSv di dose equivalente effettiva annuale. In alcune abitazioni però le concentrazioni di radon superano largamente i 1000 Bq/m^3. Queste concentrazioni vengono misurate in alcune regioni, come a Bosco Gurin, dove le particolarità geologiche locali favoriscono il trasporto di radon dal sottosuolo nelle abitazioni. La sorgente principale di radon è infatti il sottosuolo e la permeabilità è il fattore predominante che influenza il trasporto di questo gas.

ABSTRACT

The radioactive gas radon is responsible to a large extent for the total radiation dose absorbed by the population. The average indoor radon concentration in living rooms in the canton Ticino is about 100 Bq/m^3, this value correspond to a year dose of about 2.7 mSv, but values exceeding largely 1000 Bq/m^3 were also measured. These high concentrations are found in some regions, like in Bosco Gurin, where the local geology enhances the radon entry in homes. The ground directly underneath buildings is in fact the major radon source for indoor radon. The permeability is the major factor that influences the radon transport in soils.

INTRODUZIONE

Il radon (Rn) è un gas nobile radioattivo inodore e incolore, e quindi non percepibile dai nostri sensi. Esso viene generato in ogni roccia o suolo di origine naturale. Tre sono gli isotopi del radon presenti in natura: il ^{222}Rn, il ^{220}Rn e il ^{219}Rn. Questi tre isotopi sono prodotti intermediari rispettivamente delle famiglie di decadimento dell' ^{238}U (Fig. 1), del ^{232}Th e dell' ^{235}U. L'uranio e il torio sono presenti quasi ovunque nell'ambiente, ma in concentrazioni molto diverse; essi formano famiglie di elementi radioattivi che terminano con isotopi stabili del piombo. Tutti i nuclidi delle famiglie di decadimento, eccetto il radon, sono metalli pesanti e quindi relativamente poco mobili. Il radon, non interreagendo chimicamente con l'ambiente circostante essendo un gas nobile, ha la possibilità di abban-

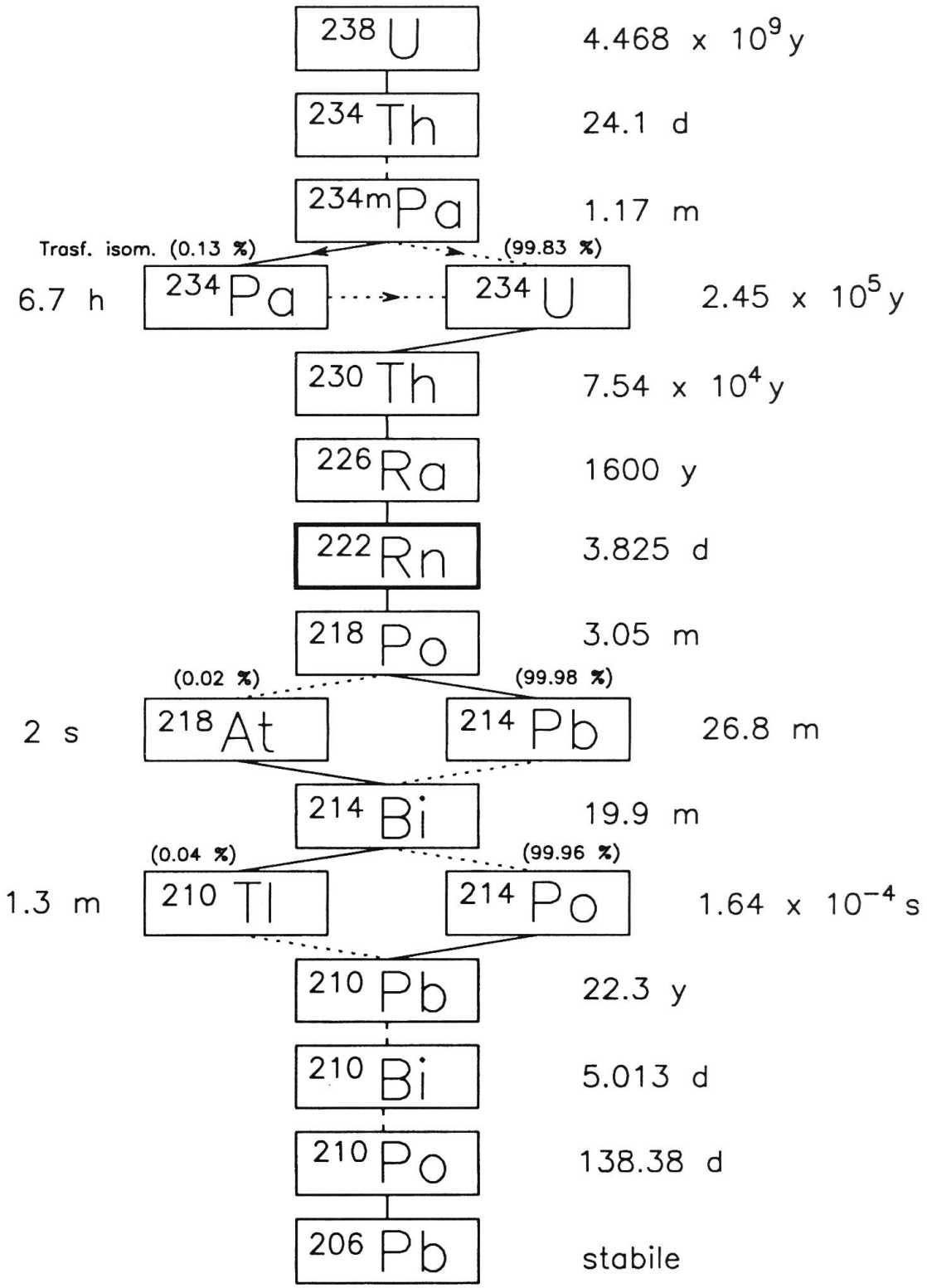

Fig. 1 Famiglia di decadimento dell' ^{238}U. Indicati sono il periodo di dimezzamento (s= secondi, m = minuti, h = ore, d= giorni, y = anni) e la percentuale di decadimento nel caso di ramificazione (———— , - - - - - - = decadimento alfa, beta, vedi ad es. ADAMS & GASPARINI 1970).

donare il suo luogo d'origine e può quindi percorrere grandi distanze e eventualmente penetrare nelle abitazioni prima del suo decadimento.
A causa del loro differente periodo di dimezzamento ($T_{1/2}$) questi tre isotopi del radon contribuiscono in modo ineguale alla dose d'irradiazione. Salvo rare eccezioni, il contributo principale è dovuto al ^{222}Rn ($T_{1/2}$ = 3.8 giorni) mentre il ^{220}Rn e il ^{219}Rn (con $T_{1/2}$ rispettivamente di 55 e 4 secondi) sono in questo contesto di secondaria e subordinata importanza. In Svizzera ed anche all'estero i programmi di ricerca si sono concentrati perciò nello studio del ^{222}Rn. Anche in questo articolo con radon si intende sempre l'isotopo ^{222}Rn. I prodotti di decadimento del radon (in particolare gli isotopi ^{218}Po e ^{214}Po, vedi Fig. 1) si depositano sul pulviscolo presente nell'aria. Durante la respirazione questo pulviscolo e con esso gli isotopi radioattivi possono rimanere intrappolati nei polmoni. Qui decadono emettendo particelle alfa altamente ionizzanti che possono modificare il DNA di cellule polmonari e a lungo termine indurre dei cancri (BURKART 1989, NAZAROFF & NERO 1988).

TABELLA I Unità di misura (SI)

Unità	Grandezza	Significato
Bq (Becquerel)	Attività	1 Bq = 1 Decadimento al secondo
Bq / m³	Attività nei gas	-
Bq / kg	Attività nei materiali solidi	-
Gy (Gray)	Dose assorbita	1 Gy = 1 J / kg
Sv (Sievert)	Dose equivalente	1 Sv = 1 J / kg

TABELLA II Fattori di conversione e limiti della dose d'irradiazione.

Calcolo della dose equivalente effettiva a partire dalla concentrazione di radon nei locali abitati: **1 Bq /m³ = 0.027 mSv all'anno**
Limite della dose d'irradiazione per la popolazione: **5 mSv all'anno**
Limite della dose d'irradiazione per lavoratori esposti professionalmente alle radiazioni (tecnici delle centrali nucleari, di istituti di ricerca, ecc.): **50 mSv all'anno**

In Svizzera la concentrazione media ponderata (tenendo conto i tipi d'abitazione e la densità della popolazione) di radon nei locali abitati si aggira intorno ai 60-70 Bq/m³ che equivalgono a una dose effettiva equivalente annuale di ca. 2.2 mSv (VÖLKLE 1992; per le unità di misura vedi Tabella 1).
Questi 2.2 mSv rapresentano ca. il 50 % della dose totale d'irradiazione (4.5 mSv) alla quale la popolazione è esposta (vedi Fig. 2). Nelle abitazioni nelle quali la concentrazione nei locali abitati supera largamente i 1000 Bq/m³, la quasi totalità della dose d'irradiazione è causata dal radon. In alcuni di questi casi essa supera anche il limite ammesso per lavoratori esposti professionalmente alle radiazioni (vedi Tabella 2). Di conseguenza è indispensabile conoscere la concentrazione media di radon nelle abitazioni nel nostro cantone e in Svizzera e soprattutto identificare regioni ad alto rischio radon. L'Ufficio Federale di Sanità Pubblica, resosi conto di ciò, intraprese e finanziò un programma di ricerca denominato RAPROS (*Ra*don *Pro*gramm *S*chweiz, (1987-1991) per inquadrare nel contesto svizzero alcuni aspetti del problema radon. Le ricerche svolte in questo ambito si dedicarono anche allo studio delle caratteristiche geologiche che influenzano la produzione e il trasporto di radon nel sottosuolo.

In questo articolo verranno prima discussi la produzione ed il trasporto di radon nell'ambiente in modo da permettere anche al profano di comprendere alcuni aspetti di questo problema. In seguito verrà presentata la situazione radon nel Ticino cui seguiranno considerazioni sulla radioprotezione e sulle conseguenze per la salute pubblica.

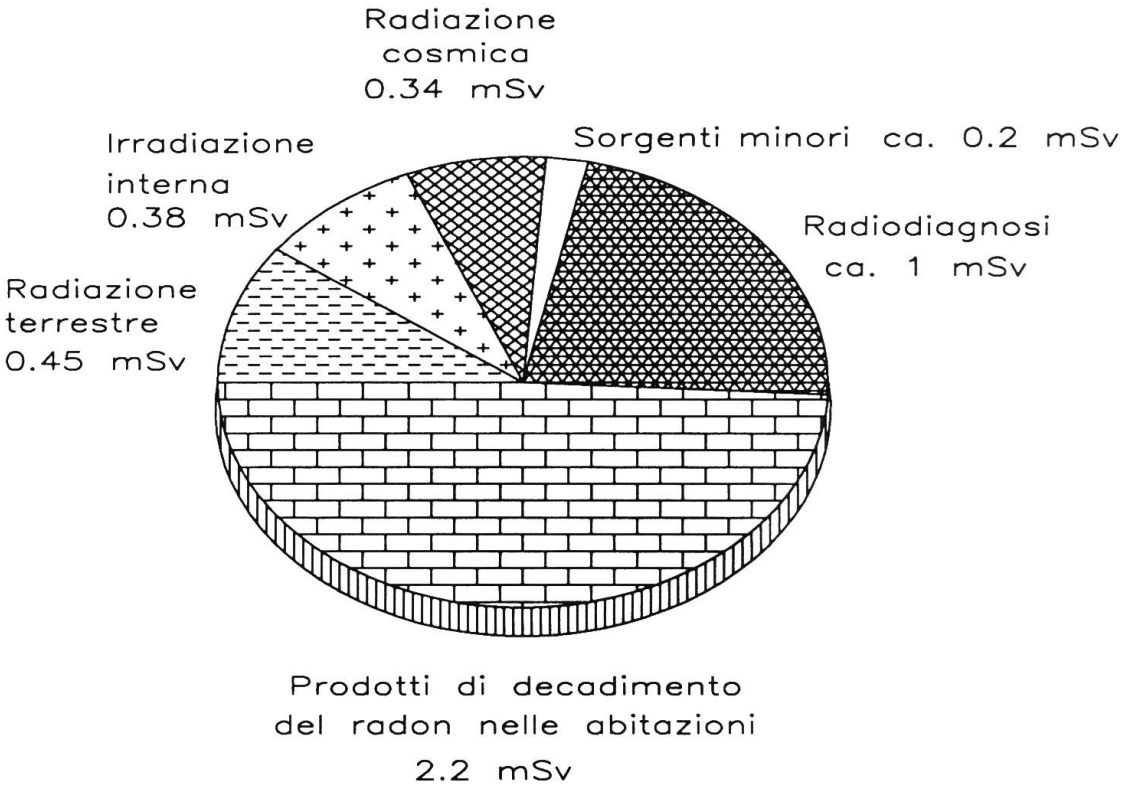

Fig. 2 Dose equivalente d'irradiazione assorbita dalla popolazione svizzera (KUeR Bericht 1991). L'irradiazione interna è dovuta soprattutto all'isotopo ^{40}K presente nei tessuti. Nelle sorgenti minori sono compresi anche i contributi dei nuclidi radioattivi provenienti dall'incidente di Cernobil.

PRODUZIONE E TRASPORTO DI RADON

La comprensione del problema radon necessita una conoscenza dei meccanismi della sua genesi e del suo trasporto nel sottosuolo. Il sottosuolo rappresenta infatti la sorgente primaria e predominante di radon, fatto dimostrato anche da numerose ricerche svolte all'estero in questo campo. Questi meccanismi verranno perciò discussi brevemente.

In questo articolo non verrà trattato l'influsso sulla concetrazione di radon nelle abitazioni dovuto ai materiali di costruzioni. Essi sono stati oggetto di studio da parte di un progetto del programma di ricerca "RAPROS" cha ha fornito risultati rassicuranti. I comuni materiali di costruzione utilizzati in Svizzera rappresentano una fonte trascurabile di radon (SCHULER et al. 1992).
Anche l'apporto di radon dall'esterno è di regola trascurabile. La concentrazione di radon nell'atmosfera si situa infatti tra 5 e 15 Bq/m^3 (NAZAROFF & NERO 1988:43).

Produzione

La produzione di radon nel suolo viene determinata da diverse grandezze fisiche. Poichè il progenitore del ^{222}Rn è il ^{226}Ra (vedi Fig. 1), la quantità di radon prodotta dipende in primo luogo dalla concentrazione di radio nel materiale preso in esame. Solamente una parte del radon prodotto riesce però a raggiungere lo spazio interstiziale (porosità). La frazione di radon che raggiunge questo spazio viene chiamata coefficiente di emanazione (emanatingcoefficient); esso è determinato dalla dimensione dei grani, dalla struttura del suolo o della roccia, e anche dalla saturazione d'acqua nello spazio interstiziale (NAZAROFF & NERO 1988). La concentrazione di radon nell'aria del sottosuolo dipende anche dalla porosità del terreno (TELFORD 1983). In Svizzera la concentrazione di ^{226}Ra nei suoli e nelle rocce varia tra 20 e 100 Bq/kg, ma valori fino a 800 Bq/kg sono stati misurati in terreni sciolti nel Giura (SURBECK & PILLER 1992). Pochi materiali sono stati analizzati nell'ambito di RAPROS per ottenere i loro coefficienti di emanazione. Ricerche in Europa e negli USA hanno mostrato che questo coefficiente vale nelle rocce qualche percento mentre nei terreni sciolti raggiunge valori più alti (TELFORD 1983). Terreni sciolti nell'Altopiano esibiscono valori intorno al 20 %, mentre nel Giura, in alcuni terreni ricchi in radio, fino al 70 % (SURBECK & PILLER 1992).

Queste considerazioni dimostrano come la concentrazione di radon nello spazio interstiziale dei terreni possa variare enormemente. Misurazioni effettuate in terreni sciolti nell'ambito di RAPROS hanno mostrato che questa concentrazione varia da alcune migliaia a qualche centinaia di migliaia di Bq/m^3 (SURBECK &PILLER 1992, MEDICI 1992).

Meccanismi di trasporto

E' l'estrema mobilità del radon nell'ambiente che ne fa di esso una minaccia per la salute. La conoscenza dei meccanismi di trasporto del radon può perciò aiutare nella pianificazione e nell'attuazione di provvedimenti atti a mitigare la sua migrazione verso le abitazioni riducendo così il rischio per la salute delle persone.

Due meccanismi ben distinti sono responsabili del trasporto di radon: la diffusione molecolare e il trasporto dovuto alla convezione dell'aria nel sottosuolo. La diffusione molecolare è dovuta alla presenza di gradienti di concentrazione tra due punti nello spazio. Essa può venire descritta matematicamente dalla legge di Fick (vedi ad es. TELFORD 1983). La grandezza fisica che determina il movimento molecolare è il coefficiente di diffusione. Quest'ultimo varia a seconda del tipo di suolo o roccia (NAZAROFF & NERO 1988, SOGAARD-HANSEN & DAMKJÆR 1987).

Il trasporto convettivo, quando esso è attivo, gioca un ruolo di gran lunga più importante della diffusione molecolare. Esso viene attivato da differenze di pressione (gradienti di pressione) esistenti tra due punti nello spazio e permette al radon di percorrere notevoli distanze prima del suo decadimento. Gradienti di pressione nel sottosuolo o tra il sottosuolo e la superficie si instaurano a causa di differenze di temperatura o a causa del vento. Quando un edificio poggia sul terreno la differenza di temperatura tra il suo interno e l'esterno induce un gradiente di pressione tra la casa e il sottosuolo. Questo gradiente produce flussi d'aria dal sottosuolo verso l'abitazione (nel caso di una depressione all'interno dell'edificio, altrimenti in senso contrario). L'intensità di questo flusso d'aria, ricco in radon, dipende sia dalla differenza assoluta di pressione sia dalla permeabilità del sottosuolo. La prima vale al massimo alcuni Pascal mentre la seconda può variare di parecchi ordini di grandezza (NAZAROFF & NERO 1988, CRAMERI et al. 1992).

La descrizione matematica del trasporto di radon dal sottosuolo alle abitazioni necessita la risoluzione di equazioni differenziali possibile solamente con metodi numerici e computers. Il numero di programmi sviluppati a questo scopo è limitato. Uno di questi venne realizzato durante la metà degli anni ottanta da LOUREIRO (1987). Un nuovo programma più flessibile e completo, che permette anche simulazioni complesse e transienti (il programma di LOUREIRO è in grado di descrivere solo situazioni stazionarie), è stato scritto da KOHL (1992) all'Istituto di Geofisica del Politecnico Federale di Zurigo. Esso è stato utilizzato con successo per modellare alcuni tipi di edifici (MEDICI 1992). Queste simulazioni forniscono soprattutto dei risultati qualitativi; esse non devono essere utilizzate per prevedere ad esempio la concentrazione di radon in situazioni reali, ma possono essere d'enorme aiuto durante la progettazione di sistemi atti a mitigare l'entrata del radon nelle abitazioni.

METODOLOGIE E TECNICHE

Misure di radon nelle abitazioni

Le concentrazione di radon nelle abitazioni varia notevolmente nel tempo. Ciò è dovuto soprattutto a fattori meteorologici (temperatura, pressione atmosferica, vento, precipitazioni) che determinano le differenze di pressione tra edifici e sottosuolo, e influenzano anche la permeabilità del terreno. Fluttuazioni di frequenza giornaliera e stagionale di grande ampiezza sono state osservate durante le varie campagne di misurazioni in Svizzera.

Per quantificare la dose d'irradiazione subita dagli abitanti di un edificio è necessario eseguire misurazioni che integrino la concentrazione di radon per un periodo di alcuni mesi. Solamente in questo modo è possibile ottenere un valore medio attendibile e utilizzabile per stabilire una dose d'irradiazione. A questo scopo vengono utilizzati generalmente dei dosimetri passivi. Essi consistono in un contenitore di materia plastica con all'interno una pellicola sensibile alle particelle alfa emesse dal radon e dai suoi prodotti di decadimento. Il numero di tracce di particelle alfa registrato dalla pellicola è proporzionale alla concentrazione di radon (per dettagli vedi URBAN & PIESCH 1981). In Svizzera sono state utilizzati per queste misure a lungo termine due tipi di dosimetro: il tipo Karlsruhe ed il tipo Terradex (vedi MEDICI 1992).

Misure di radon nel sottosuolo

La misurazione della concentrazione di radon nel sottosuolo fornisce una prima indicazione sulla quantità di radon trasportabile prodotto in un terreno. Una stima del rischio radon dovuto a un tipo di suolo viene fornita soprattutto dalla misurazione della permeabil-

ità del terreno. Essa determina infatti la capacità di migrazione del radon e solo considerandola assieme alla concentrazione di radon si può quantificare il rischio radon per le abitazioni. Durante RAPROS venne introdotto a questo scopo un indice di disponibilità radon (RAV = radon avalaibility index, MEDICI 1992) definito come segue:

RAV [Bq/m] = Conc. di radon nel suolo [Bq/m^3] x permeabilità del suolo [m^2]

Il diagramma in Fig. 3 mostra in che modo questo indice può aiutare a delimitare o a identificare aree a differente rischio radon. Un'apparecchiatura ideata per questo tipo di misurazioni è stata realizzata a Friborgo da H. Surbeck (SURBECK 1987). Essa permette nei terreni sciolti la determinazione della concentrazione di radon e della permeabilità. Questa tecnica ha permesso di caratterizzare in Svizzera alcune zone a differente rischio radon (MEDICI 1992, SURBECK & PILLER 1992).

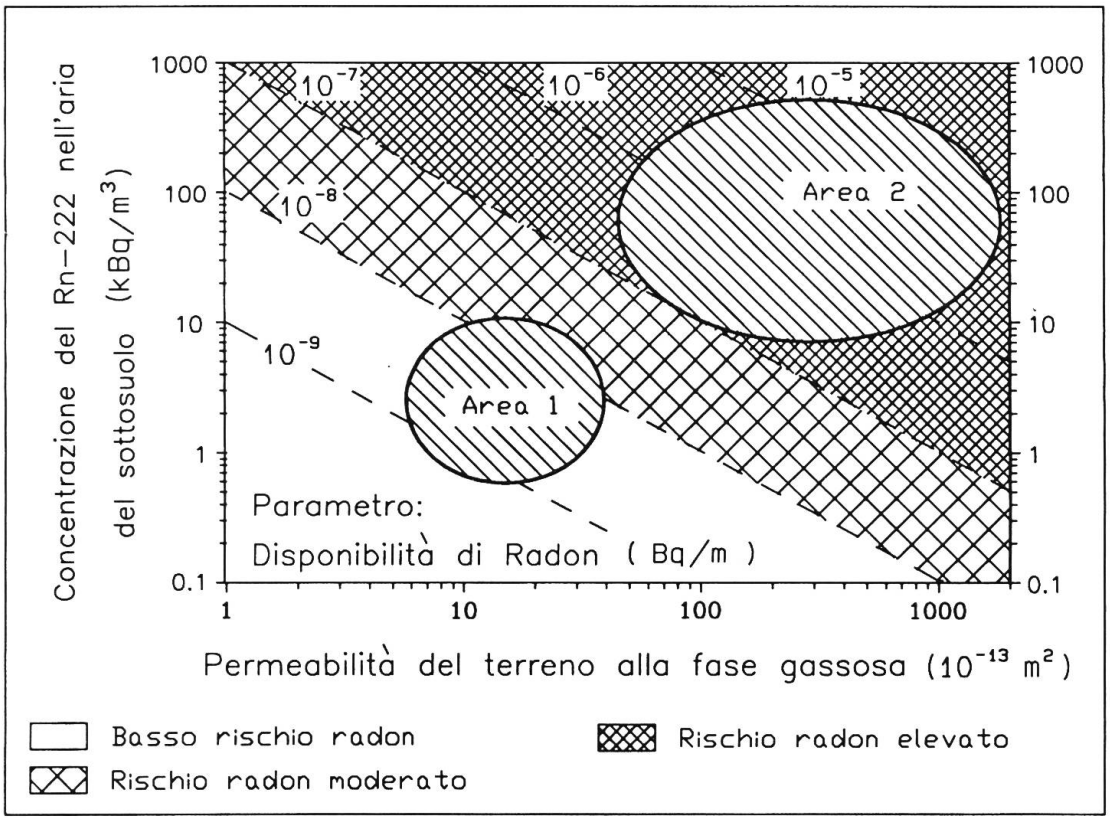

Fig. 3 Metodologia per identificare aree a rischio radon. In base alla posizione dei dati nel grafico una zona può essere caratterizzata a seconda del rischio radon. I limiti delle zone a differente rischio radon non sono demarcazioni nette, ma piuttosto zone di transizione graduale.

LA SITUAZIONE IN TICINO

Cronologicamente si possono identificare tre fasi distinte della raccolta dati sul radon nel canton Ticino. La prima fase, conclusasi nel 1989, permise di determinare un primo quadro generale sui livelli di radon nelle abitazioni. In seguito il cantone decise di intraprendere un'ampia campagna di rilevamenti condiversi traguardi. La terza fase, tuttora in corso, comprende vari studi dettagliati che avevano e hanno l'intento di studiare a

fondo aree limitate. Ciò permette di avere indicazioni sulla distribuzione dei valori della concentrazione di radon a piccolo scala e di identificare i meccanismi locali che influiscono sul trasporto di radon dal sottosuolo alle abitazioni.

Situazione nel 1989

Fino al 1989 erano stati misurati 154 edifici nel canton Ticino, di cui 75 abitazioni monofamiliari, 48 abitazioni plurifamiliari e 28 edifici di vario genere (fattorie, hotel, scuole, ecc.). La Fig. 4 mostra la distribuzione statistica dei valori della concentrazione di radon nei locali abitati (un dato per edificio). La media aritmetica dei dati fornisce una concentrazione di radon di 95 Bq/m³ e valori superiori ai 1000 Bq/m³ non furono registrati. Una diversità fu notata tra abitazioni mono- e plurifamiliari; in queste ultime si registra una concentrazione di un terzo inferiore rispetto alla prima categoria di edifici. Inoltre, come anche in altre zone svizzere, la concentrazione di radon nei locali diminuisce al crescere del piano d'abitazione. Nelle cantine e al pianterreno si riscontrano valori superiori rispetto ai locali abitati e in alcuni casi anche concentrazioni superiori ai 1000 Bq/m³. In generale si poteva comunque affermare che i dati mostravano una distribuzione statistica abbastanza omogenea con valori che non si discostavano troppo da quelli registrati nell'Altipiano (dati per questo capitolo da VÖLKLE et al. 1989). Tuttavia il numero limitato di dati non poteva fornire ancora un quadro di assoluto valore della situazione radon in Ticino. Anche la scelta degli edifici per le misurazione avvenne in modo piuttosto casuale e senza nessun criterio di tipo statistico, demografico o geologico.

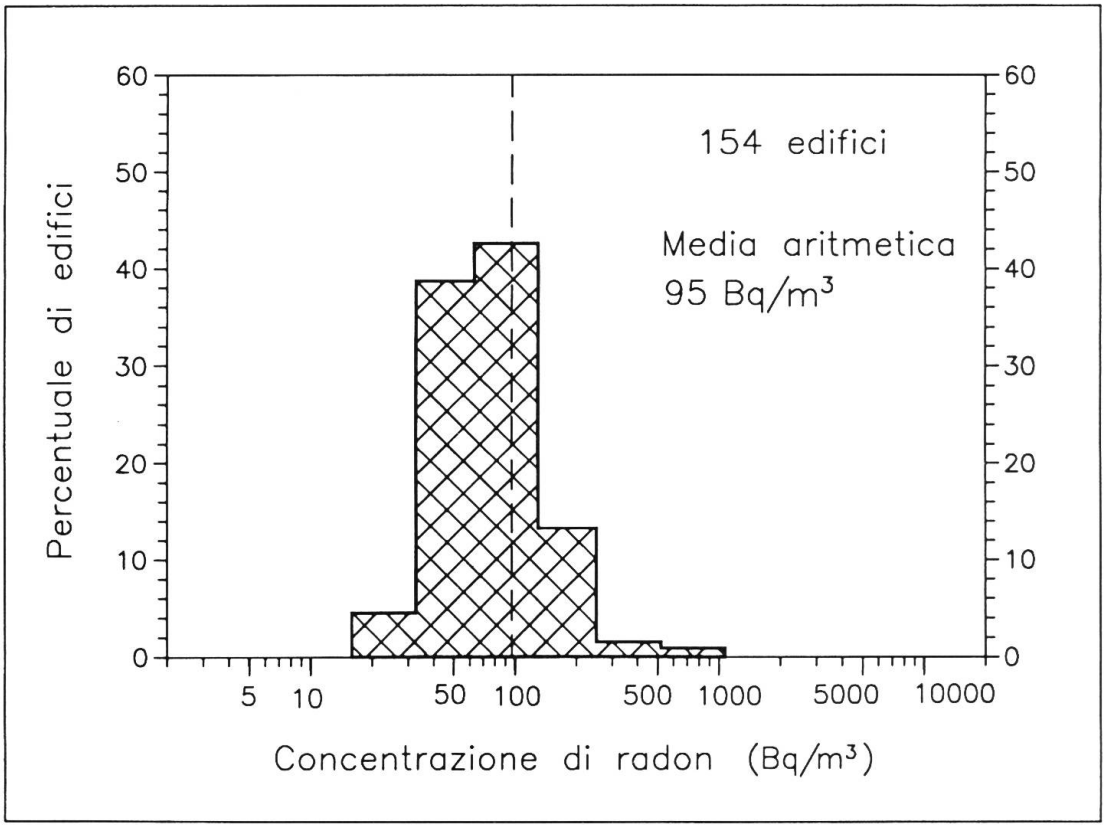

Fig. 4 Distribuzione statistica dei valori della concentrazione di radon nei locali abitati in Ticino (154 dati da altrettanti edifici). Dati aggiornati al 1989.

Campagna cantonale 89/90

Nel 1989 per ovviare alle ancora scarse conoscenze della situazione radon nel cantone, il dipartimento dell'ambiente in collaborazione con la SUeR (laboratorio a Friborgo dell'Ufficio Federale di Sanità Pubblica) decise di intraprendere una campagna di rilevamenti. Vennero ottenuti dati da 234 abitazioni disseminate in quasi tutto il territorio cantonale (Fig. 5). Questa campagna aveva due finalità: l'ottenimento di un valore medio della concentrazione di radon nei locali abitati statisticamente rappresentativo per l'intero cantone in relazione alla densità della popolazione a al tipo d'abitazione. Si pose quindi un accento sulle agglomerazioni di Lugano, Bellinzona, Locarno e Mendrisio che assieme totalizzarono il 36 % dei dati raccolti. Il secondo obiettivo fu di delimitare zone a elevato rischio radon in modo da identificare e quantificare i parametri fisici che influenzano il trasporto di radon in queste aree. Ciò avvenne con la scelta in base a criteri geologici di comuni da investigare.

I dati di questa campagna assieme a quelli già a disposizione precedentemente forniscono un quadro abbastanza rappresentativo della situazione radon nel cantone. La media aritmetica della concentrazione di radon nei locali abitati è di 104 Bq/m^3, che è lievemente superiore a quella che si ottiene utilizzando solamente i dati antecedenti a questa campagna (confronta le Figg. 4 e 7). Sebbene la distribuzione statistica delle concentrazioni di radon non sia cambiata di molto, gli estremi della stessa si sono allargati. Sono aumentate infatti sia le percentuali di abitazioni con basse concentrazioni di radon sia quelle con concentrazioni elevate. Confrontando case mono e plurifamiliari si nota la stessa situazione già discussa precedentemente. Bisogna sottolineare però che solitamente le case plurifamiliari posseggono più piani d'abitazione rispetto a quelle monofamiliari. Siccome la concentrazione di radon diminuisce all'aumentare del piano è normale che nelle case monofamiliari il valore medio è più elevato. I valori registrati nelle cantine mostrano chiaramente che il radon proviene dal sottosuolo. Qui si registrano infatti le concentrazioni più alte rispetto agli altri locali (Fig.8). Bisogna ricordare tuttavia che nelle
cantine la ventilazione è ridotta e quindi anche il ricambio con aria povera di radon proveniente dall'esterno.

E' interessante a questo punto confrontare la situazione ticinese con quella svizzera (Figg. 7 e 9). Nel grafico raffigurante la distribuzione dei valori della concentrazione di radon in Svizzera sono inclusi i dati ticinesi aggiornati al 1989, quindi senza quelli relativi alla campagna 89/90. Nelle figure fino ad ora mostrate (eccetto le Figg. 5 e 6) non sono compresi i dati relativi a Bosco Gurin che rappresenta un'anomalia unica (in Ticino, ma non in Svizzera) che verrà discussa in seguito. In Ticino la media aritmetica dei valori della concentrazione di radon nei locali abitati è lievemente superiore a quella svizzera. Altre piccole differenze sono le seguenti: mentre in Svizzera nel 3 % delle abitazioni la concentrazione di radon supera i 250 Bq/m^3 in Ticino la percentuale è del 6 %. Se osserviamo i valori superiori ai 500 Bq/m^3 le percentuali sono del 1.2 % in Svizzera e del 1.7 % in Ticino.

Il secondo obiettivo prefissato in questa campagna, l'identificazione di aree a elevato rischio radon, non potè essere raggiunto. Ciò fu dovuto ai dati ottenuti che non permisero alcuna considerazione definitiva.
I risultati dai comuni scelti in base a criteri geologici, in regioni cioè dove si sospettavano concentrazioni elevate di radon nelle abitazioni, delusero le aspettative. E' pur vero che valori elevati di radon vennero rilevati in alcuni edifici ticinesi, ma si trattò di casi isolati (vedi Figg. 5 e 6). Non poterono quindi essere identificate aree in cui buona parte delle abitazioni mostrasse una concentrazione di radon nettamente superiore alla media (dati per questo capitolo da VÖLKLE et al. 1990).

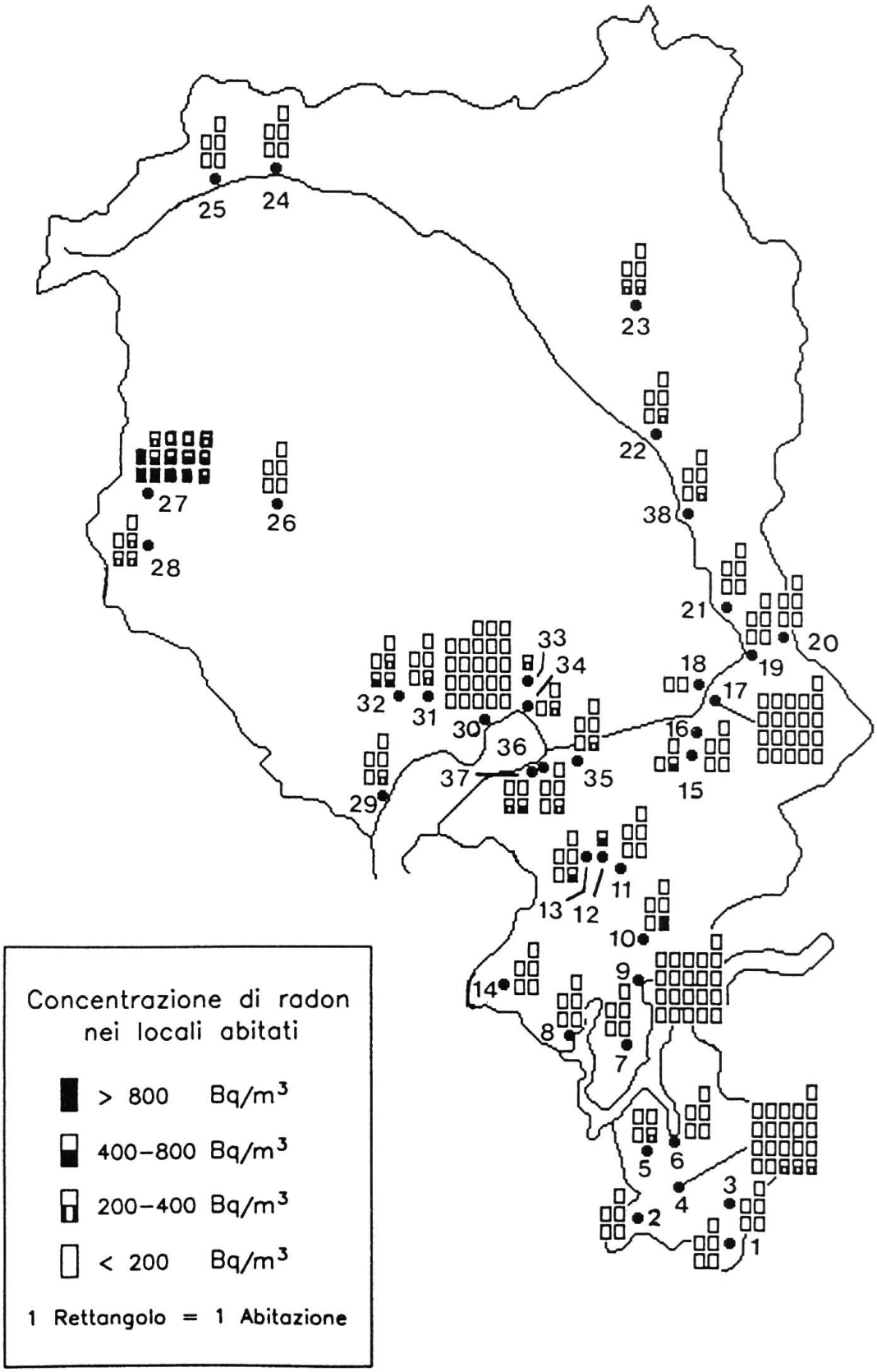

Fig. 5 Risultati della campagna cantonale ticinese 89/90. Concentrazione di radon nei locali abitati. Le cifre identificano le località nelle quali si sono effettuate delle misurazioni (vedi Tabella 3).

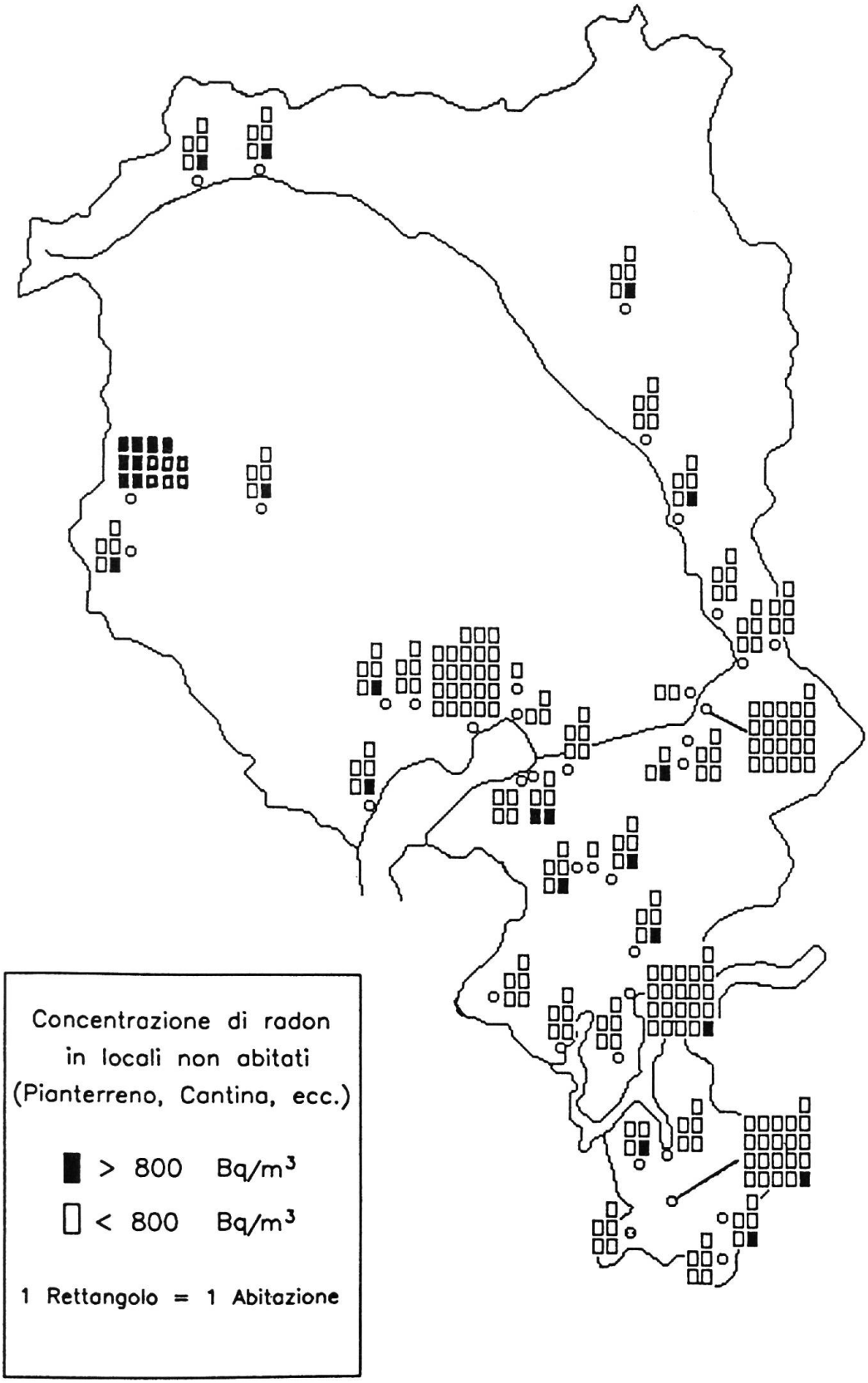

Fig. 6 Risultati della campagna cantonale ticinese 89/90. Concentrazione di radon nei locali non abitati.

TABELLA III Elenco dei comuni presi in considerazione dalla campagna cantonale 89/90 (vedi Fig. 5).

1	Balerna	11	Tesserete	21	Claro	30	Locarno
2	Stabio	12	Taverne	22	Biasca	31	Verscio/Tegna
3	Morbio Superiore	13	Torricella	23	Acquarossa	32	Cavigliano
4	Mendrisio	14	Sessa	24	Airolo	33	Contra
5	Tremona	15	Camorino	25	Villa Bedretto	34	Tenero
6	Capolago	16	Giubiasco	26	Cevio	35	Quartino
7	Carona	17	Bellinzona	27	Bosco Gurin	36	Magadino
8	Caslano	18	Carasso	28	Campo Vallemaggia	37	Vira
9	Lugano	19	Arbedo			38	Osogna
10	Canobbio	20	Lumino	29	Brissago		

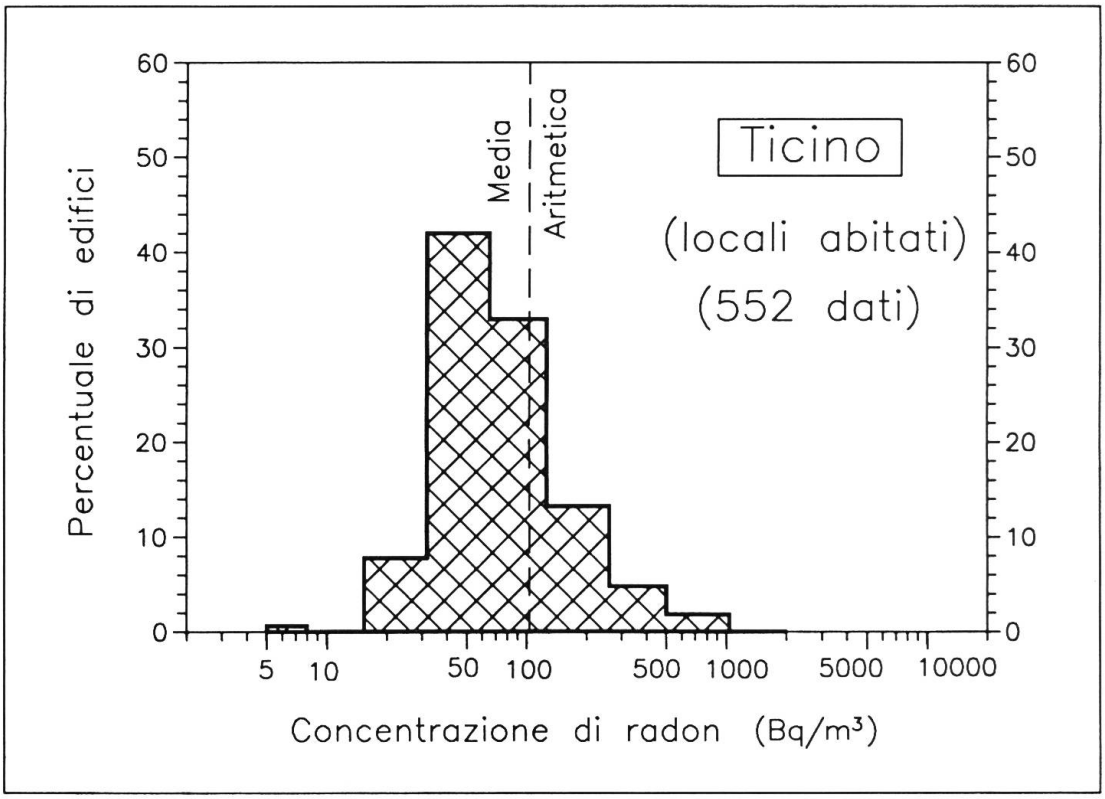

Fig. 7 Distribuzione statistica dei valori della concentrazione di radon nei locali abitati in Ticino (552 dati la cui media aritmetica è 101 Bq/m³). In 6 % degli edifici la concentrazione supera i 250 Bq/m³, mentre nell'1.7 % i 500 Bq/m³. Dati aggiornati al 1990 (Bosco Gurin escluso).

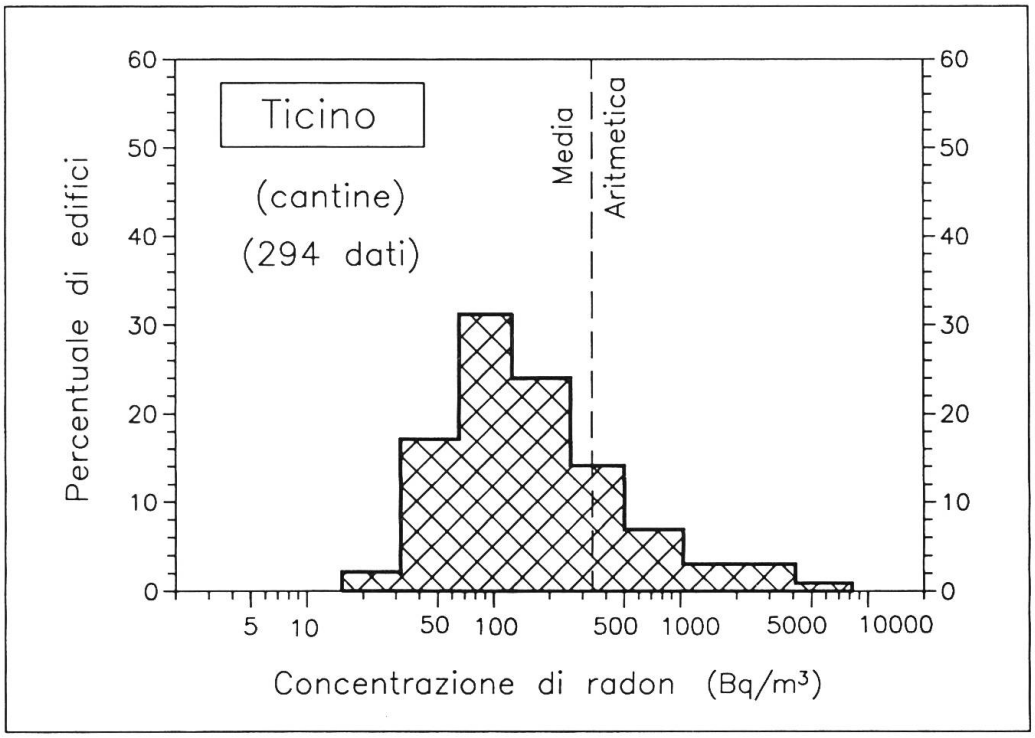

Fig. 8 Distribuzione statistica dei valori della concentrazione di radon negli scantinati in Ticino (294 dati la cui media aritmetica è 328 Bq/m³). Dati aggiornati al 1989 (Bosco Gurin escluso).

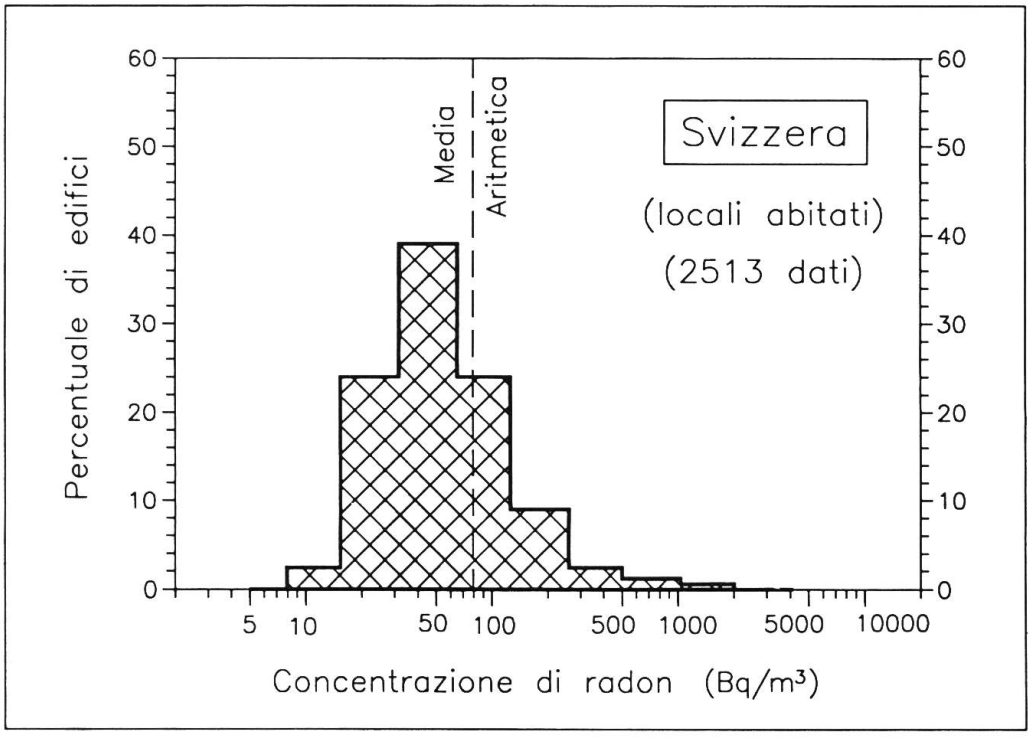

Fig. 9 Distribuzione statistica dei valori della concentrazione di radon nei locali abitati in Svizzera (2513 dati la cui media aritmetica è 81 Bq/m³). In 3 % degli edifici la concentrazione supera i 250 Bq/m³, mentre nell'1.2 % i 500 Bq/m³. Dati aggiornati al 1989 esclusi quelli della campagna cantonale ticinese 89/90.

Studi dettagliati

Una campagna di rilevamenti cantonale fornisce un quadro statistico della distribuzione dei valori della concentrazione di radon nelle abitazioni. Essa non permette tuttavia di spiegare la ragione dei valori misurati. Sia il tipo di costruzione che la geologia locale influenzano infatti la concentrazione di radon negli edifici. Per identificare e quantificare questi fattori vennero intrapresi nel 1991 degli studi dettagliati (finanziati in parte dall'Ufficio di Sanità Pubblica e in parte dal cantone) che investigarono a fondo solo alcuni comuni, già considerati nella campagna cantonale. Quest'ultima, come già riferito precedentemente, non potè delimitare aree a diverso rischio radon. A dispetto di ciò le conclusioni di questi studi dettagliati sono di gran interesse e alcune di esse meritano di essere menzionate.
Negli edifici i cui piani di abitazione comunicano internamente (ad es. per mezzo di scale) il radon si distribuisce omogeneamente in tutti i locali. L'assenza invece di comunicazioni interne ha come effetto di impedire al radon di raggiungere i piani superiori. Qui la concentrazione di radon è solitamente molto bassa. L'esistenza di un vespaio, spazio vuoto tra il terreno e lo spazio abitativo, sembra favorire per un qualche non ancora ben definito maccanismo fisico l'afflusso di radon dal sottosuolo all'interno. Questo per quanto riguarda gli elementi strutturali degli edifici. Analizzando invece le caratteristiche geologiche si è notato che quasi tutti le case con livelli elevati di radon sono costruite su terreni quaternari costituenti vecchi terrazzi di ghiaia (ad es. Cadro, Canobbio e Cavigliano), terrazzi morenici e/o detriti di falda sui fianchi delle vallate (ad es. Vigana a Camorino e Orgnana a Magadino). Per contro abitazioni situate su coni di deiezione depositatisi sopra pianure alluvionali (ad es. Claro, Lumino, Arbedo e Torricella) presentano bassi livelli di radon. Lo stesso vale per case edificate su pianure alluvionali. Vi sono inoltre indizi che fanno presupporre un legame tra concentrazioni elevate di radon e fuoriuscite di gas naturale nelle vicinanze di edifici (es. piano di Magadino). Discontinuità tettoniche, come la Linea insubrica, sembrano non favorire particolarmente il trasporto di radon da strati geologici più profondi (dati per questo capitolo da WENGER & SCHENKER 1991).

L'ultimo atto, per ora, delle ricerche radon in Ticino ebbe inizio nell'inverno 92/93. Un'operazione congiunta di autorità cantonali e comunali, della SUeR e del medico di circondario ha permesso di distribuire dosimetri radon in quasi tutte le abitazioni di Cadro. Questa nuova campagna, nuova nel suo genere in Svizzera, permetterà di conoscere la situazione radon a piccola scala in un intero comune. I risultati saranno noti nel corso del 1993.

Bosco Gurin

Nell'ambito del mio lavoro di dottorato sono state svolte delle misurazioni radon a Bosco Gurin perché in quest'area sono presenti particolarità geologiche che favoriscono il trasporto di radon nel sottosuolo. Come si può notare dalla Fig. 11 le concentrazioni di radon nelle abitazioni a Bosco Gurin sono piuttosto elevate rispetto al resto del Ticino e della Svizzera. La media aritmetica dei valori della concentrazione di radon nei locali abitati è di ca. 1000 Bq/m^3 (confronta Figg. 7 e 11), mentre nelle cantine di ca. 2000 Bq/m^3 (confronta Figg. 8 e 11). Queste medie sono notevolmente superiori a quelle ticinesi. Vi sono però delle notevoli differenze tra le varie abitazioni. Alcuni cenni della situazione abitativa in questo comune aiuterà a comprendere la ragione di queste concentrazioni elevate. Quasi tutte le abitazioni prese in considerazione a Bosco Gurin hanno in comune le seguenti caratteristiche:

- sono costruite su di un pendio, perciò spesso a valle le cantine si trovano a livello del suolo, mentre a monte sono interrate
- il pavimento in cantina è costituito da suolo naturale, non vi sono platee di fondazione in calcestruzzo
- il materiale di costruzione è composto da pietre locali e/o mattoni cementati.

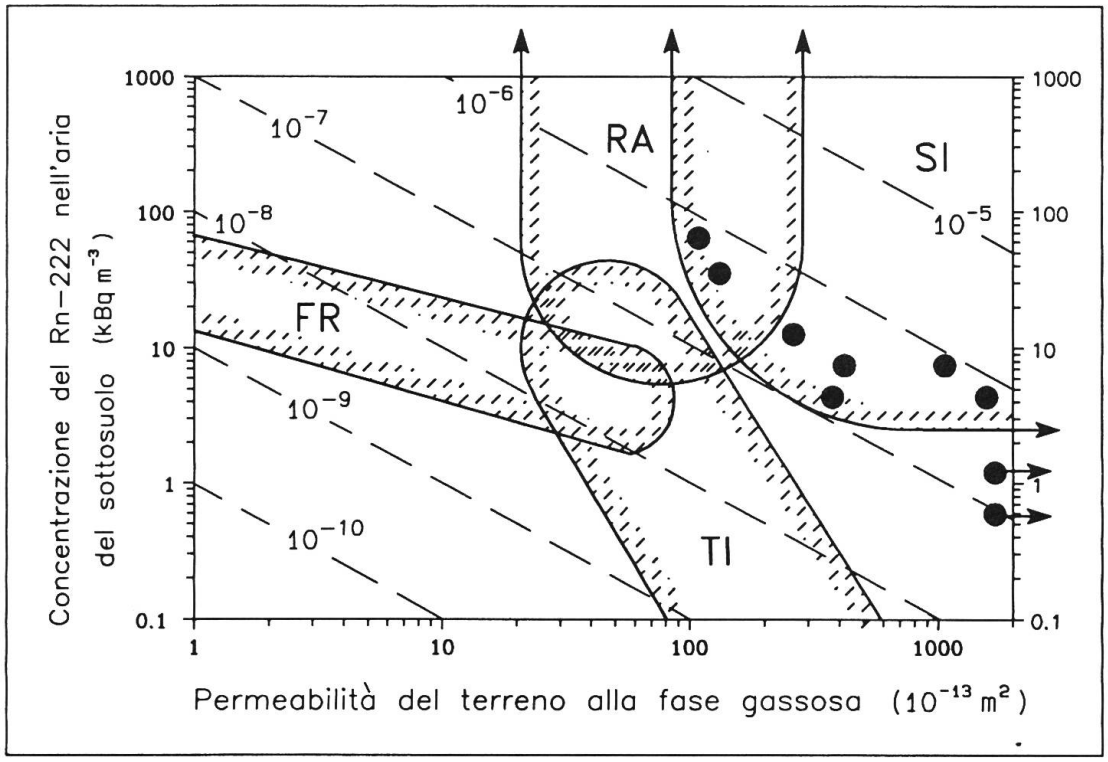

Fig. 10 Disponibilità di radon in diverse zone della Svizzera. I punti designano le misure svolte nell'ambito degli studi dettagliati (vedi testo). FR: cantone di Friborgo, RA: ateliers di radio (La Chaud-de-Fonds), SI: Siat (GR), TI: cantone Ticino (altre zone).

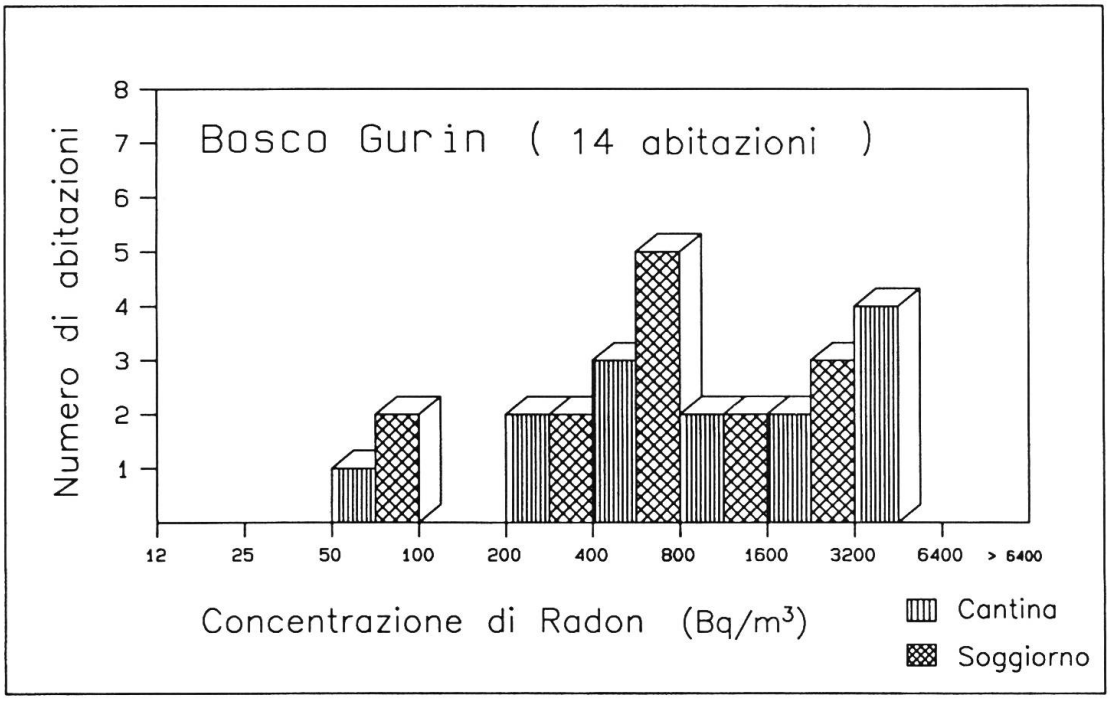

Fig. 11 Distribuzione statistica dei valori della concentrazione di radon in 14 abitazioni a Bosco Gurin.

Essendo omogenee le caratteristiche di costruzione degli edifici, le grandi differenze dei livelli di radon nelle cantine possono essere solamente causate dalla inomogeneità delle proprietà del suolo. I meccanismi che favoriscono il trasporto di radon in quest'area sono causati dalla situazione geologica locale. Il villaggio di Bosco Gurin è situato su di un dosso costituito da materiale di frana. Il punto chiave in questo contesto è che, trattandosi di materiale non ben addensato costituito in gran parte da componenti rocciose anche di notevoli dimensioni (fino a alcuni metri), la permeabilità del suolo è estremamente elevata. Ciò è confermato dall'esistenza di particolari fessure e buchi nel terreno che sono conosciuti dalla popolazione locale. Da essi fuoriesce ininterrottamente una leggera corrente d'aria. A detta di alcuni abitanti del villaggio alcune case furono costruite direttamente al di sopra di queste fessure. Queste particolarità portarono a formulare l'ipotesi che l'aria uscente queste fessure potesse avere un legame con le elevate concentrazioni di radon nelle abitazioni. Ciò significherebbe che alcune potenti sorgenti di radon sono circoscritte e non distribuite uniformemente su tutto il terreno e spiegherebbe così le grandi differenze tra le diverse abitazioni. Una parziale conferma di questa ipotesi potè essere fornita da misurazioni effettuate in una cantina. In alcuni locali (comunicanti tra loro) di questo scantinato le concentrazioni di radon variavano notevolmente anche a piccolo scala (alcuni metri). Sia misure a lungo che a breve termine hanno mostrato le stesse caratteristiche. Tutto ciò non fa che confermare la teoria della presenza di potenti sorgenti di radon circoscritte nel terreno (MEDICI 1992). Il caso Bosco Gurin la cui unicità in Ticino, secondo l'autore, è dovuta solamente alla scarsità di dati a disposizione, è un tipico esempio che dimostra l'importanza primaria della permeabilità del terreno per il trasporto di radon. L'assenza di una platea di fondazione in calcestruzzo nelle cantine non fa che favorire ulteriormente la migrazione del radon dal sottosuolo nelle abitazioni.

RADON E RADIOPROTEZIONE

Fattori che favoriscono l'accumulo e il trasporto di radon nelle abitazioni

I fattori principali che determinano la concentrazione di radon nelle abitazioni sono i seguenti:

- la ventilazione; più essa è efficiente meno radon sarà presente nei locali. Infatti come già riferito la concentrazione di radon dell'aria esterna è solitamente trascurabile. La ventilazione non è comunque una misura veramente efficace in quanto non risolve il problema alla base e in alcuni casi la riduzione del livello di radon è trascurabile (vedi ad esempio FURRER 1991, NAZAROFF & NERO 1989:102).

- la permeabilità del terreno; è il fattore primario che regola il trasporto di radon nel sottosuolo e non può venire influenzata a meno di sconvolgere il terreno circostante.

- la differenza di temperatura tra l'esterno e l'interno. Più questa differenza è elevata maggiori saranno i gradienti di pressione che si istaureranno tra sottosuolo ed edificio e di conseguenza anche i flussi di radon. Per questa ragione i comuni di montagna sono soggetti a un rischio radon più elevato essendo maggiori le escursione termiche ambientali.

- la presenza di una barriera tra il sottosuolo e l'edificio. L'esistenza di una platea di fondazione in calcestruzzo in cantina riduce il flusso di radon dal sottosuolo. Anche piccole crepe o la sua non perfetta realizzazione possono renderla però quasi del tutto inefficace come barriera. Le cantine con pavimento in suolo naturale sono ancora più a rischio. Varie sono le soluzioni conosciute per diminuire l'apporto di radon negli edifici: barriere tra sottosuolo e cantina (platee), isolazione tra cantina e piani abitativi superiori, ventilazione forzata negli scantinati, ecc.. Nell'ambito di RAPROS sono state applicate alcune di questi

tecniche in abitazioni che presentavano livelli elevati di radon. I risultati di questi studi pilota per ridurre la concentrazione di radon nei locali abitati si trovano in ROSERENS et al. 1992.

Radioprotezione

Soprattutto in seguito all'incidente alla centrale nucleare di Cernobil e alla susseguente dispersione di radionuclidi, il tema radioattività nell'ambiente è diventato (e giustamente) di scottante importanza. Per la dose fornita alla popolazione le fonti naturali di radiazioni sono (per ora) più importanti di quelle di origine umana (centrali nucleari, esperimenti atomici, laboratori di ricerca, ecc., vedi Fig. 2). A titolo di confronto nel 1986 la dose subita dalla popolazione Svizzera in seguito all'incidente di Cernobil è stata in media 10 volte inferiore a quella provocata dal radon. Dal punto di vista fisico non vi è differenza tra radiazione prodotta da un nuclide naturale o artificiale. Sia isotopi naturali che artificiali producono diversi tipi di radiazione (particelle alfa o beta e raggi gamma) con differenti energie di emissione (da alcune centinaia di keV a parecchi MeV). La diversità degli effetti provocati è dovuta alle proprietà chimiche di ciascun elemento. Le radiazioni danneggiano le cellule scindendo molecole e formando dei radicali molto reattivi che pregiudicano il metabolismo delle stesse. Ancora più gravi sono le conseguenze se viene alterato il DNA; ciò può portare alla formazione di tumori.
La dose d'irradiazione subita dalle persone quantifica i possibili danni alla salute umana. Essa è una grandezza non misurabile per mezzo di apparecchi; viene ottenuta infatti moltiplicando per alcuni fattori di conversione la concentrazione di radon osservata nelle abitazioni (vedi Tab. 2). Questi fattori di conversione sono dei valori medi poichè dipendono dalle abitudini abitative e dall'età delle persone, da modelli della struttura delle vie respiratorie, dai meccanismi di deposizione dei nuclidi radioattivi nei polmoni, ecc. Tutte le conoscenze dirette sugli effetti nocivi del radon provengono da studi epidemiologici effettuati su minatori in diverse nazioni. I dati acquisiti da queste categorie di individui vengono quindi estrapolate per la popolazione in genere, la quale però è soggetta a dosi d'irradiazione notevolmente inferiori. Queste estrapolazioni sono affette da grandi incertezze ed è difficile stabilire un valore soglia per la concentrazione di radon al di sopra del quale gli effetti nocivi sulla salute sono comprovati. Anche per questa ragione non vi sono dei valori limite accettati internazionalmente per la concentrazione massima di radon ammessa nelle abitazioni. Associazioni internazionali di scienziati che si occupano di radioprotezione (ad es. l'ICRP, International Commission on Radiological Protection) pubblicano regolarmente nuove raccomandazioni in materia. Ogni nazione è comunque libera di stabilire le proprie norme in questo campo.Negli USA, ad esempio, la concentrazione massima di radon ammessa nei locali abitati è di 150 Bq/m^3; mentre nella CEE è di 400 Bq/m^3 per gli edifici esistenti è di 200 Bq/m^3 per le abitazioni future. La nuova ordinanza svizzera sulla radioprotezione emanerà delle raccomandazioni che probabilmente si allineranno a quelle della CEE.

L'entrata in vigore e la stretta osservanza di questi limiti comporta però dei risvolti economici non trascurabili. Il risanamento radon di un'abitazione può costare a dipendenza del tipo di costruzione parecchie migliaia di franchi. L'applicazione di misure per prevenire l'entrata del radon in casa durante la costruzione è economicamente meno onerosa che in edifici già esistenti.

Due fatti importanti sono da ricordare in questo contesto: in primo luogo la difficoltà di quantificare con precisione una dose d'irradiazione data una concentrazione di radon. Questa dose si basa infatti su studi su categorie di individui particolarmente a rischio e non sulla popolazione in generale. In secondo luogo l'entrata in vigore e l'osservanza di limiti comportano risvolti economici non trascurabili.

CONCLUSIONI

Il canton Ticino, rispetto al resto dei cantoni, è all'avanguardia per quanto concerne la conoscenza della situazione radon sul suo territorio. Non solo è uno di quelli col maggiore numero di misure rispetto alla densità di popolazione, ma è anche uno dove le autorità pubbliche si sono mostrate interessate e coinvolte già a partire dalle prime fasi di ricerca. Tutto ciò ha permesso di ottenere un quadro rappresentativo della situazione radon in Ticino e di approfondire le conoscenze delle particolarità geologiche che favoriscono il trasporto di radon dal sottosuolo nelle abitazioni. La concentrazione media nei locali abitati è di ca. 100 Bq/m^3, leggermente superiore a quella Svizzera. Ciò è rassicurante e dimostra che per gran parte della popolazione ticinese il radon non costituisce un problema importante. In alcuni casi però, negli edifici nei quali la concentrazione di radon supera i 1000 Bq/m^3, si dovrebbe intervenire per ridurre drasticamente questo livello. Come già discusso questo comporta la non semplice soluzione di problemi di ordine giuridico e finanziario.

L'autore spera con questo articolo di aver esposto il più chiaramente ed obiettivamente possibile alcuni aspetti generali e regionali del problema radon. Un'informazione chiara ed obiettiva su problemi che concernono la salute pubblica è infatti indispensabile. Problemi di questo genere devono essere valutati onestamente, non sottovalutandoli né ingigantendoli a seconda degli scopi che si vogliono perseguire.

LETTURE D'APPROFONDIMENTO

Per chi desiderasse approfondire il tema radon consiglio il libro di NAZAROFF & NERO (1988) che tratta dettagliatamente tutti gli aspetti che riguardano questo gas nobile. Chi fosse interessato invece alle ricerche svolte in Svizzera può ottenere presso l'Ufficio Federale di Sanità Pubblica il rapporto finale del programma RAPROS (Radonprogramm Schweiz "RAPROS" 1992). Infine il mio lavoro di dottorato (MEDICI 1992) si occupa soprattutto delle correlazioni esistenti tra concentrazione di radon nelle abitazioni e la geologia locale in alcune zone della Svizzera. Non sono purtroppo a conoscenza di pubblicazioni di carattere generale sul radon in lingua italiana.

RINGRAZIAMENTI

Voglio ringraziare in particolare l'Ufficio Federale della Sanità Pubblica (BAG, Berna) per il finanziamento del progetto RAPROS 4.1.2 Radon e Geologia/Acqua, il Prof. H.H. Loosli (Università di Berna) per i suoi suggerimenti e le osservazioni critiche, il Dr.H. Surbeck (SUeR, Friborgo) per le fruttuose discussioni e l'aiuto tecnico, I. Sartori per le misurazioni a Bosco Gurin, e soprattutto il Prof. L. Rybach (ETH Zurigo) per il sostegno morale e materiale durante il mio lavoro di dottorato. Infine vorrei accomunare in un sincero ringraziamento tutte le persone che hanno fornito un contributo alla mia ricerca, non potendole elencare tutte in questa sede.

BIBLIOGRAFIA

A.A.V.V., 1992 - Radonprogram Schweiz "RAPROS". Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991 - Berna, Ufficio federale della sanità pubblica. ISBN 3-905235-00-5.

ADAMS J.A.S. & GASPARINI, P., 1970 - Gamma-ray Spectrometry of Rocks.- Elsevier Publishing Company, Amsterdam, London, New York.

BURKART W., 1989 - Die Strahlenbiologie der Lunge. - In: Radon und Strahlenbiologie der Lunge, Würenlingen, PSI-Bericht Nr. 22, p. 63-79.

CRAMERI R., FURRER D. & BURKART W., 1992 - Ausbreitung des radons. - In. Radonprogramm Schweiz "RAPROS", Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991, Berna, Ufficio federale della sanità pubblica. ISBN 3-905235-00-5.

FURRER D., 1991. - Building characteristics, inhabitant's behaviour and subsoil geology as main parameters determining the indoor radon concentration. -Zurigo, Diss. Phil.II dell'università di Zurigo, ADAG AG.

KOHL T., 1992 - Modellsimulation gekoppelter Vorgänge beim Wärmeentzug aus heissem Tiefengestein. - Diss. ETH Zürich Nr. 9803.

KUeR, 1991 - 30. Bericht der eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität für die Jahre 1987-1988 zuhanden des Bundesrates.- Berna. Eidgenössische Drucksachen- und Materialzentrale.

ICRP 50 Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters. Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Frankfurt; 1986.

LOUREIRO C. DE O., 1987 - Simulation of the steady-state Transport of Radon, from Soil into Houses with Basement under Constant Negative Pressure. - Ph.D. Thesis, Lawrence Barkeley Laboratory, LBL-24378, Berkeley CA, USA.

MEDICI F., 1992. - Zusammenhänge zwischen lokaler Geologie und Radon-Konzentration in Wohnhäusern. Erste Ergebnisse aus der Schweiz - Diss. ETH Zürich Nr. 9931.

NAZAROFF W.W. & NERO A. V., 1988. - Radon and its Decay Products in Indoor air. - New York, John Wiley & Sons. ISBN 0-471-62810-7.

ROSERENS G.-A., GFELLER W. & ZELLER W., 1992 - Pilotprojekte zur Sanierung von Häusern mit erhöhten Radonkonzentrationen. Radonprogramm Schweiz "RAPROS", Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991, Berna, Ufficio federale della sanità pubblica. ISBN 3-905235-00-5.

SCHULER Ch., CRAMERI R. & BURKART W., 1992 - Der Beitrag aus Baumaterialien zum Innenluft-Radonpegel in schweizerischen Häusern. - In. Radonprogramm Schweiz "RAPROS", Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991, Berna, Ufficio federale della sanità pubblica. ISBN 3-905235-00-5.

SØGAARD-HANSEN J. & DAMKJÆR A., 1987 - Determining ^{222}Rn Diffusion Lengths in Soils and Sediments. - Health Physics, Vol. 53, No. 5, p. 445-459, Pergamon Press Ldt.

SURBECK H., 1987 - The Search for Radon Sources, a Multidisciplinary Task. - Presented at the Fourth International Symposium on the Natural Radiation Environment (NRE IV), Lisbona, Portogallo, Dicembre 7-11.

SURBECK H. & PILLER G., 1992 - Die Suche nach der Ursache erhöhter Radonkonzentrationen in Wohnräumen der Region La Chaux-de-Fonds. - In: Radonprogramm Schweiz "RAPROS", Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991, Berna, Ufficio federale della sanità pubblica. ISBN 3-905235-00-5.

TELFORD W.M., 1983 - Radon Mapping in the Search for Uranium. - In: Developments in Geophysical Exploration Methods. Fitch, A. A. Editor, Vol. 4 Applied Science Publishers Ltd. Barking, Essex, Inghilterra. ISBN 0-85334-174-5.

URBAN M. & PIESCH E., 1981 - Low Level Environmental Radon Dosimetry with a Passive Track Etch Detector Device. - Radiation Protection Dosimetry, Nuclear Technology Publishing, Vol. 1, No. 2, p. 97-109.

VÖLKLE H., SURBECK H., TERCIER P.-A. & TRUFFER R., 1989 - Radon in Schweizer Wohnhäusern. - RAPROS-Teilprojekt 4.1.1, Jahresbericht 1989. Rapporto interno RAPROS, Friborgo.

VÖLKLE H., SURBECK H., TERCIER P.-A. & TRUFFER R., 1990 - Radon in Schweizer Wohnhäusern. - RAPROS-Teilprojekt 4.1.1, Jahresbericht 1990. Rapporto interno RAPROS, Friborgo.

VÖLKLE H., STURNY B., STEFFES F., TERCIER P.-A., TRUFFER R., SCHNYDER M. & JOHNER Ch., 1992 - Radon-Messungen in Schweizer Wohnhäusern. - In: Radonprogramm Schweiz "RAPROS", Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991, Berna, Ufficio federale della sanità pubblica. ISBN 3-905235-00-5.

WENGER Ch. & SCHENKER F., 1992 - Radon. Studi dettagliati nel canton Ticino. - Zurigo, Rapporto interno all'attenzione della Sezione Energia e Protezione dell'Aria, Dipartimento dell'Ambiente della Repubblica e Cantone del Ticino.

Manoscritto ricevuto il: 26.5.1993
Utime bozze restituite il: 15.10.1993