

Radioattività naturale nelle abitazioni

Risultati dell'indagine
sull'esposizione
in Emilia-Romagna

Indagine proposta e coordinata a livello
nazionale da Enea/Disp e
Istituto Superiore di Sanità

La Collana *Dossier* è pubblicata a cura di:

Sedi (Settore documentazione e informazione su rischi e danni in ambienti di vita e di lavoro) - Pmp - Usl 28 Bologna/ via Triachini, 17 - tel. 051/392436-392575

Regione Emilia-Romagna, Servizi sanitari di prevenzione Bologna, via Aldo Moro, 30 - tel. 051/283182-283152

Copia del volume può essere richiesta al Sedi

Redazione: Rossella Salmaso, Sedi Stampa: Regione Emilia-Romagna, Bologna, Luglio 1991

La nostra Regione è impegnata, fin dal 1978, in estesi interventi di controllo della radioattività ambientale.

Inizialmente tale attività era essenzialmente connessa alla presenza, sul territorio regionale, della Centrale Elettronucleare di Caorso e dell'impianto nucleare sperimentale del Brasimene. A partire da tali problematiche è stato attuato un proficuo rapporto di collaborazione con i due Istituti centrali operanti nel settore: l'Istituto Superiore di Sanità e l'Enea/Disp; con il loro apporto è stato possibile accrescere, nel personale operante a livello locale, una cultura protezionistica con specifica preparazione in materia di controllo della radioattività ambientale.

In particolare nel Presidio multizonale di prevenzione di Piacenza, sulla base di una precisa scelta programmatica assunta a livello regionale, si sono così sviluppate capacità tecnico-operative tali da permettere alla nostra realtà regionale, anche in occasione dell'inquinamento diffuso causato dall'incidente di Chernobyl, di effettuare, costantemente e correttamente, le necessarie indagini sulla radioattività, stabilire le azioni di intervento protezionistico e diffondere le informazioni necessarie per la tutela della salute della popolazione.

Si è promossa, a questo proposito, la più ampia partecipazione dei cittadini, nella consapevolezza del rilievo che assume la loro collaborazione alle iniziative dei servizi di prevenzione a livello territoriale per la soluzione delle problematiche igienico-sanitarie ed ambientali emergenti.

In questo contesto si colloca l'avvio dell'indagine sulla esposizione alla radioattività naturale nelle abitazioni, promossa dall'Enea/Disp e dall'Istituto Superiore di Sanità.

La radioattività naturale negli ambienti chiusi rappresenta la principale fonte di esposizione degli esseri umani alle radiazioni ionizzanti. Il radon (gas radioattivo) e i suoi prodotti di decadimento contribuiscono a questa esposizione per oltre il 50%.

L'Enea/Disp e l'Istituto Superiore di Sanità hanno promosso, in collaborazione con gli Assessorati Regionali alla Sanità, un'indagine campione volta a valutare l'esposizione della popolazione italiana alla radioattività naturale nelle abitazioni. Il tipo di campionamento adottato permette di ottenere le distribuzioni e i valori medi rappresentativi delle situazioni esistenti nelle singole regioni e a livello nazionale.

Nel presente rapporto vengono presentati i risultati ottenuti nella Regione Emila-Romagna, attraverso l'esame di un campione di 371 abitazioni. La piena collaborazione ottenuta dalle famiglie interpellate ha permesso la raccolta di informazioni che costituiscono parte integrante del quadro consuntivo acquisito e consentono una corretta interpretazione e valutazione dei risultati ottenuti.

A questo riguardo va sinteticamente considerato che, da una prima analisi dei dati risultanti dall'indagine, è possibile valutare che la Regione Emilia-Romagna è caratterizzata da livelli relativamente bassi di radioattività naturale nelle abitazioni, confrontabili con i valori medi misurati nei Paesi industrializzati.

Infatti il valore medio regionale della concentrazione di radon è pari a 43 Bq/m³. Il valore medio dell'intensità di dose assorbita in aria, relativa alla radiazione gamma e cosmica, è pari a 80 nGy/h.

Va ricordato a questo proposito che la concentrazione media nazionale di radon nelle abitazioni dei Paesi industrializzati viene stimata intorno a 55 Bq/m³, con una variabilità molto ampia - da qualche Bq/m³ a 10.000 Bq/m³. Per la radiazione gamma i valori medi misurati sono attorno a 100 nGy/h, con una variabilità molto minore che non per il radon.

Dalla conoscenza della concentrazione del radon e della dose assorbita dovuta alla radiazione gamma e cosmica, si valuta (sulla base di alcune ipotesi relative ai tempi di permanenza in ambienti chiusi, ai fattori fisiologici, ai modelli dosimetrici, ecc.) l'equivalente di dose efficace, che è un indice per valutare gli effetti biologici delle radiazioni ionizzanti.

Nella parte finale del presente rapporto vengono discusse brevemente le stime di rischio associate all'esposizione alle radiazioni e gli eventuali provvedimenti da prendere in esame per abbassare la concentrazione del radon nelle abitazioni.

Un glossario aiuta a comprendere il significato dei principali termini tecnici usati.

*L'ASSESSORE ALLA SANITÀ
(Giuliano Barbolini)*

HANNO COORDINATO L'INDAGINE in EMILIA - ROMAGNA

per l'Enea/Disp:

Silvana Piermattei, Sergio Mancioffi, Luigi Tommasino,
Giancarlo Torri.

per l'Istituto Superiore di Sanità:

Gloria Campos Venuti, Francesco Bochicchio, Gino Parchi,
Serena Risica.

per il Pmp di Piacenza:

Sandro Fabbri, Laura Gaidolfi, Roberto Sogni.

per la Regione:

Paolo Tori, Maurizia Zanini.

HANNO PARTECIPATO al COORDINAMENTO delle MISURE GAMMA

per l'Enea Area Ambiente:

Luciano Lembo e Giorgio Scarpa.

HANNO COLLABORATO all'INDAGINE

per l'Enea/Disp:

Sergio Benassai, Massimo Notaro, Michele Riccardi, Renzo Tommasi,
Trin Van Giap.

per l'Istituto Superiore di Sanità:

Riccardo Capocaccia, Fabio Felici, Alvaro Grisanti, Giulio Grisanti,
Sergio Mariotti.

HANNO CONDOTTO L'INDAGINE nelle USL TERRITORIALMENTE
INTERESSATE ai CAMPIONAMENTI

Giuseppe Addabbo, Barbara Grilli - Usl di Castel S. Giovanni

Carolina Tamburoni - Usl di Piacenza

Francesca Garbarmi, Daniela Ricco, Enrica Ubaldi - Usl di Parma

Marilena Bucchi, Antonella Cattani, Marco Gentili, Giovanni Rinaldi Usl
di Reggio Emilia
Alessandra Barchi - Usl di Modena

Alberto Amadei - Usl di Pavullo

Maela Gambini - Usl di Casalecchio

Monica Gamberini, Bruno Gitti - Usl di Bologna

Delves Fozzato, Rita Settimo - Usl di Ferrara

Urbano Leoni, Maura Minguzzi - Usl di Ravenna

Massimiliano Gardelli, Cristina Mariotti - Usl di Forlì

Gloria Calegari, Gisberto Maltoni - Usl di Cesena

Fabiana Ottaviani, Cornelia Tagliavini - Usl di Rimini

HANNO COLLABORATO alla PREPARAZIONE e alla LETTURA dei
DOSIMETRI

per il Pmp di Piacenza:

Luca Blocchi, Anna Callegari, Carlo Cavalieri, Lucia Gallanti,
Antonio Lotrecchiano, Claudio Tagliaferri, Silvia Violanti.

INDICE

1. Introduzione	pag. 3
2. Presentazione dei risultati	pag. 5
3. Commento ai risultati ottenuti	pag. 7
4. Stima della dose	
4.1 Equivalente di dose efficace annuo da radon	pag. 9
4.2 Equivalente di dose efficace annuo da radiazione gamma	pag.10
4.3 Equivalente di dose efficace totale annuo	pag.10
5. Il rischio	pag.13
6. Azioni future	pag.15
Riferimenti bibliografici	pag.17
Glossario	pag.19
Appendice: La storia e la cronaca dell'indagine in Emilia-Romagna	pag.21
Considerazioni sui risultati	pag.25

1. INTRODUZIONE (*)

Come è noto, ogni persona è esposta alle radiazioni di origine cosmica e a quelle emesse dalle sostanze radioattive presenti nel suolo, nell'aria e nelle acque, sin dalla nascita della Terra. Il livello di radioattività naturale può variare grandemente da un sito all'altro. A Città del Messico, situata a circa 2.000 m di altezza, la radiazione cosmica è circa il doppio di quella misurata in una città posta a livello del mare. Nel Kerala (India) la radiazione gamma emessa dal terreno è circa 20 volte quella esistente, per esempio, in media nella pianura Padana.

A livello mondiale si stima (1) che circa il 50% della dose efficace che in media ogni persona riceve nell'esposizione a sorgenti naturali di radiazioni sia dovuta ai prodotti di decadimento del radon, gas radioattivo presente nel terreno, nelle rocce e nei materiali da costruzione. All'aperto il radon viene rapidamente disperso nell'atmosfera, mentre tende a concentrarsi negli ambienti chiusi.

Va in proposito ricordato che la qualità dell'aria nell'interno degli edifici rappresenta oggi un problema di sanità pubblica di notevole rilevanza, cui numerosi organismi internazionali stanno dedicando attenzione crescente. La popolazione dei Paesi industrializzati trascorre infatti circa l'80% del suo tempo in ambienti chiusi, siano essi abitazioni, edifici pubblici o luoghi di lavoro e viene esposta a una miriade di contaminanti, per alcuni dei quali la concentrazione è spesso maggiore nell'aria interna rispetto a quella esterna.

L'evoluzione subita nei secoli dalle tipologie edilizie, i nuovi materiali impiegati per costruire e per arredare, i prodotti sempre più numerosi utilizzati per uso domestico, il migliorato isolamento degli ambienti, la diminuzione dei ricambi di aria legata anche ai progetti di risparmio energetico, hanno sicuramente influito sulla qualità dell'aria nell'interno delle case. I contaminanti chimici e fisici presenti possono essere di origine artificiale (quali i prodotti di combustione, i composti organici volatili, il fumo di sigaretta, l'asbesto, ecc.) o di origine naturale (quale il radon).

(*) Il presente rapporto è stato elaborato a livello nazionale per una omogenea diffusione in sede regionale dei risultati dell'indagine.

Le conoscenze sugli effetti dei diversi inquinanti sono spesso incomplete; essi possono essere assai diversi: effetti sul sistema respiratorio, su quello nervoso, tumori, reazioni allergiche, ecc. E' importante, comunque, al fine di programmare campagne per prevenire o limitare i rischi ad essi assodati, individuare i contaminanti ed effettuare la misura secondo metodologie corrette e usando le migliori tecniche esistenti.

In relazione alla radioattività naturale, l'Enea/Disp e l'Istituto Superiore di Sanità hanno deciso congiuntamente di progettare (2 e 3) una indagine per valutare l'esposizione media nazionale e regionale della popolazione italiana nelle abitazioni. Si tratta di misurare nell'interno di 5.000 case (poste in 200 comuni) sia la concentrazione di radon nell'aria che la quantità di radiazione gamma emessa dalle pareti.

Data la dimensione e la complessità del programma da attuare e l'esigenza di impostare un rapporto diretto con le famiglie da coinvolgere, è stato proposto agli Assessorati alla Sanità delle 19 Regioni e delle 2 Province Autonome del nostro Paese di promuovere localmente l'indagine realizzandola tramite le strutture del Servizio Sanitario Nazionale. In relazione alla sensibilità esistente sul problema, molte Regioni ed Enti locali hanno aderito alla proposta: si è andata così creando una metodologia di lavoro comune fra Istituti centrali e strutture regionali che non ha precedenti né in Italia né all'estero.

In questo ambito è stata effettuata l'indagine campione nella Regione Emilia-Romagna della quale sono riportati i risultati nel presente Rapporto. In essa sono state coinvolte 371 famiglie, estratte in modo da costituire un campione statisticamente rappresentativo sia a livello regionale, sia come parte del campione nazionale.

Va sottolineato che in indagini di questo tipo è di primaria importanza scegliere un campione che possa riprodurre la situazione esistente. Nel caso specifico il campione è stato estratto in modo tale che la distribuzione della concentrazione del radon misurata nelle 5.000 case selezionate possa rappresentare quella esistente in tutte le abitazioni italiane. Analogo criterio è stato seguito per ottenere la rappresentatività a livello regionale.

Alle famiglie del campione che hanno aderito sono stati consegnati gli appositi strumenti di misura (dosimetri), affinché fossero esposti per un periodo di 6 mesi (per la misura della radiazione gamma(**)) e per due periodi consecutivi di 6 mesi (per la misura della concentrazione del radon). Nel caso del radon, è necessario tenere infatti conto delle variazioni stagionali di alcuni parametri, quali la temperatura, l'umidità, la pressione, che possono influire, insieme alla ventilazione dei locali, sulla sua concentrazione.

() Va tenuto presente che i dosimetri di questo tipo sono sensibili sia alla radiazione gamma emessa dalle pareti che alle radiazioni di origine cosmica, le quali vengono parzialmente schermate dall'edificio stesso.**

2. PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

I risultati delle misure effettuate nel campione di abitazioni selezionato nella Regione Emilia-Romagna sono riportati nelle Figure 1 e 2. La Figura 1 è relativa al radon, la Figura 2 alla radiazione gamma e a quella cosmica.

I valori di concentrazione di radon (espressi in Bq/m^3) vengono suddivisi in intervalli. Nella Figura 1 per ogni intervallo si riporta in ordinata il numero di abitazioni il cui valore di concentrazione cade in detto intervallo. Come si vede il maggior numero di abitazioni, che rappresenta il 78% del totale, si trova nell'intervallo fra 10 e 50 Bq/m^3 .

La media aritmetica regionale (ottenuta dividendo la somma delle concentrazioni di radon misurate nel campione di abitazioni per il numero di abitazioni) è pari a 43 Bq/m^3 . Nella stessa figura viene evidenziato il valore di 400 Bq/m^3 indicato nella Raccomandazione della Comunità Europea (4) del febbraio scorso (***), come valore al di sopra del quale viene suggerito di esaminare la fattibilità di interventi volti alla riduzione della concentrazione di radon nelle abitazioni.

Va ricordato che l'esposizione della popolazione alla radioattività naturale nelle abitazioni non rientra nelle attività disciplinate dalla legislazione nucleare operante nel nostro Paese (DPR 185/1964 e decreti applicativi) e inoltre viene esplicitamente esclusa dalle Direttive Comunitarie del 1980 e 1984 (5,6,7) che fissano le norme fondamentali relative alla protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti.

(***) Va tenuto presente che, mentre le Direttive del Consiglio delle Comunità Europee debbono essere obbligatoriamente recepite nelle legislazioni dei Paesi membri, le Raccomandazioni della Commissione rappresentano suggerimenti tendenti ad assicurare una armonizzazione delle norme vigenti nei diversi Paesi.

Il valore di 400 Bq/m^3 è quindi un valore guida e non un limite legislativo. È inoltre opportuno osservare che il radon è un gas naturale sempre presente nell'aria che si respira per cui sarebbe privo di significato fissare un livello di riferimento per la concentrazione pari a zero.

Come risulta dalla Figura 1, in tutte le abitazioni la concentrazione di radon risulta inferiore a 400 Bq/m^3 .

Per quanto riguarda i risultati delle misure di dose assorbita in aria dovuta alla presenza della radiazione gamma e cosmica (cfr. Glossario), essi sono illustrati in Figura 2, in cui si riportano, come per il radon, il numero di abitazioni nelle quali il valore di intensità di dose assorbita in aria, espresso in nGy/h , è compreso in determinati intervalli. Il valore medio regionale risulta pari a 80 nGy/h .

Va tenuto presente che una valutazione complessiva dei risultati verrà effettuata solo al termine dell'indagine nazionale, quando si potrà stabilire se i risultati ottenuti nella Regione Emilia-Romagna siano allineati con quelli medi nazionali o se invece evidenzino particolarità proprie della Regione stessa.

Bisogna infine sottolineare che questi risultati sono affetti da un margine di incertezza legato alla misura (come si sa ogni misura sperimentale è caratterizzata da una indeterminazione propria della tecnica usata) e da un margine di incertezza dovuto al fatto che le misure sono state eseguite in un campione di abitazioni e non sulla totalità delle abitazioni italiane. Questo secondo è maggiore nelle medie regionali e minore in quelle nazionali.

3. COMMENTO AI RISULTATI OTTENUTI

Fermo restando quanto detto nel paragrafo precedente, può essere utile confrontare i valori medi, sia per quanto riguarda la concentrazione del radon che la dose assorbita gamma in aria, con quelli misurati in altri Paesi. Va tenuto presente che i risultati ottenuti nello svolgimento delle diverse indagini non sono sempre confrontabili tra di loro e con quelli ricavati in Italia. Talvolta le misure sono state eseguite per tempi brevi (dell'ordine del mese), spesso il campionamento delle abitazioni non è rappresentativo e quindi non rispecchia la situazione nazionale.

Per quanto riguarda la concentrazione del radon nelle abitazioni, il valor medio aritmetico nei Paesi industrializzati viene valutato intorno a 55 Bq/m^3 , con grande variabilità da un sito all'altro (da pochi Bq/m^3 a più di 10.000 Bq/m^3) (cfr., per esempio, 8 e 9). Ad esempio, in Gran Bretagna, dove la concentrazione media nazionale è di 20 Bq/m^3 , sono stati misurati valori medi pari a 300 Bq/m^3 in vaste aree del Devon e della Cornovaglia (10).

Per quanto riguarda la radiazione gamma, le variazioni sono assai meno accentuate e i valori medi della intensità di dose assorbita in aria, nei Paesi Europei, si aggirano intorno a 100 nGy/h .

Come già accennato nel primo paragrafo, i livelli di concentrazione di radon nelle case dipendono da molte caratteristiche dell'ambiente esterno ed interno, quali: la struttura del terreno, le tecniche costruttive e i materiali utilizzati negli edifici. Essi possono anche essere legati alle abitudini e alle condizioni di vita ed economiche di coloro che abitano le case (che influenzano la ventilazione degli ambienti e lo stato degli infissi).

Nel corso dell'indagine, sono state raccolte informazioni su molte delle caratteristiche sopra menzionate e su altre ancora, con l'obiettivo di verificare se sia possibile trovare correlazioni fra esse e la concentrazione di radon che viene misurata.

Lo studio relativo, che riguarderà l'intero territorio nazionale, è appena iniziato ed è prevedibile non possa concludersi in tempi brevi. Le conclusioni sull'intera indagine, una volta terminata, saranno pubblicate a cura degli Istituti centrali.

4. STIMA DELLA DOSE

Per la valutazione delle esposizioni alle radiazioni ionizzanti si fa in genere riferimento ad una grandezza, l'equivalente di dose efficace, che costituisce un indice che permette la valutazione degli effetti biologici delle radiazioni stesse sull'organismo umano, e che viene espresso in sievert (Sv) (vedi glossario).

Per questo si è provveduto a stimare il valore di tale grandezza in relazione sia alla concentrazione del radon che all'esposizione alla radiazione gamma e cosmica misurata nelle abitazioni (cfr. Tabella 1).

4.1 Equivalente di dose efficace annuo da radon

Per quanto riguarda l'equivalente di dose efficace associato alla concentrazione del radon sono stati valutati i contributi derivanti sia dalla permanenza nelle abitazioni che dalla permanenza in altri luoghi chiusi.

Il primo contributo è stato calcolato, in prima approssimazione, a partire dalla media aritmetica regionale delle concentrazioni di radon misurate (definita nel paragrafo 2) e dal numero medio di ore trascorse in un anno nelle abitazioni del campione (ottenuto sommando le ore che ogni persona ha dichiarato di trascorrervi, e dividendo per il numero totale di persone). Moltiplicando questi due valori medi si ottiene una valutazione dell'esposizione media cumulata annualmente, espressa in $(\text{Bq}/\text{m}^3\text{h})$. Utilizzando quindi un apposito fattore di conversione, ricavato dall'analisi di studi internazionali (1) (11) (12), che tengono conto dei valori medi del ritmo respiratorio e delle quantità di gas e particolato inalati che determinano l'irradiazione dei bronchi e dei polmoni, è stato infine valutato l'equivalente di dose efficace annuale dovuto all'esposizione al radon nelle abitazioni.

Il secondo contributo è stato calcolato con una procedura analoga, assumendo che la concentrazione di radon in altri luoghi chiusi (uffici, scuole, negozi, ecc.) sia pari alla media regionale delle concentrazioni misurate nelle abitazioni e utilizzando, per la valutazione delle ore trascorse in tali luoghi chiusi, i valori contenuti nelle schede e indicati dalle famiglie. In assenza di dati specifici sulla radioattività presente in tali luoghi, si è infatti ritenuto plausibile che le concentrazioni del radon non siano mediamente dissimili da quelle che caratterizzano le abitazioni, dal momento che le caratteristiche costruttive sono spesso simili e che sovente gli stessi edifici ospitano sia abitazioni che ambienti di lavoro (****).

4.2 Equivalente di dose efficace annuo da radiazione gamma

Anche per quanto riguarda l'esposizione alla radiazione gamma sono stati valutati i contributi derivanti sia dalla permanenza nelle abitazioni che dalla permanenza in altri luoghi chiusi. I criteri generali seguiti sono gli stessi già descritti in relazione alla concentrazione del radon. Utilizzando un apposito fattore di conversione (1) si è poi trasformata la dose assorbita in aria, dovuta all'esposizione alla radiazione gamma e a quella cosmica, nell'equivalente di dose efficace annuo.

4.3 Equivalente di dose efficace totale annuo

A seguito di queste valutazioni è stato dunque stimato il valore medio regionale dell'equivalente di dose efficace annuo dovuto all'esposizione alla radioattività naturale in ambienti chiusi. Esso è riportato nella Tabella 1.

(****) Non si tiene conto in questa valutazione di luoghi di lavoro con caratteristiche particolari in cui l'esposizione alle radiazioni di origine naturale possono essere più elevate, quali le miniere sotterranee, le industrie di manipolazione di sabbie zirconifere, ecc.

TABELLA 1

Stime dell'equivalente di dose efficace medio annuo regionale

Equivalente di dose efficace medio annuo(mSv/a)			
	Nelle abitazioni	In altri luoghi chiusi	Totale
Esposizione al radon e ai suoi prodotti di decadimento	1,7	0,6	2,3
Esposizione alla radiazione gamma e cosmica	0,3	0,1	0,4
Totale	2,0	0,7	2,7

E' opportuno tenere presente che tali stime sono affette da notevoli incertezze, peraltro non eliminabili, legate da un lato alle misure e ai dati raccolti e dall'altro alle ipotesi ed ai modelli utilizzati nel ricavare i fattori di conversione che permettono di passare dalla concentrazione di radon e dalla esposizione alla radiazione gamma all'equivalente di dose efficace.

Con tale avvertenza è comunque interessante confrontare il valore medio regionale dell'equivalente di dose efficace con le stime più significative disponibili in materia di esposizione alle radiazioni ionizzanti.

Un primo termine di confronto può essere costituito dalle conseguenze radiologiche della ricaduta radioattiva causata dall'incidente di Chernobyl: nel primo anno dall'incidente il valore medio italiano dell'equivalente di dose efficace è stato valutato pari a circa 0,5 mSv.

Un altro termine di confronto può essere costituito dalle stime del Comitato Scientifico delle Nazioni Unite (1) sulle dosi a livello mondiale, dovute a diverse sorgenti di radiazioni, mostrate nella Tabella 2.

TABELLA 2

Stima degli equivalenti di dose efficace individuali dovuti alle diverse sorgenti di radiazioni ionizzanti

	Valore medio annuo sulla popolazione mondiale	Intervallo di valori medi annui nei Paesi industrializzati
Radioattività naturale di cui dovuta al radon	2,4 mSv 1,2 mSv	1 - 5mSv
Diagnostica medica (raggi X, medicina nucleare)	0,4 -1 mSv	0,1- 10mSv
Attività lavorative con radiazioni	0,002 mSv	0,5 - 5 mSv
Produzione di energia nucleare (esclusi incidenti)	0,0002 mSv	0,001 - 0,1 mSv

Nella prima colonna sono riportati i valori medi per ogni individuo della popolazione terrestre: essi sono ottenuti valutando una dose efficace collettiva e poi dividendola per il numero di abitanti del pianeta. In realtà questi valori saranno molto variabili da individuo a individuo e da regione a regione, **specialmente** per quanto riguarda le esposizioni per diagnostica medica, che sono ovviamente strettamente legate al numero ed al tipo di esami ai quali ci si sottopone, ed alle tecniche utilizzate. Per questo motivo in Tabella 2 viene riportato, nel caso di dosi associate a trattamenti medici, un intervallo di valori medi per la popolazione mondiale invece di un unico valore.

Nella seconda colonna sono riportati gli intervalli di valori medi annui per le persone dei Paesi industrializzati. Come è immediato osservare, ad esempio, gli individui esposti per attività lavorative ricevono, in media, una dose efficace compresa tra 0,5 e 5 mSv l'anno, rispetto ad una dose efficace assai più piccola ricevuta in media da ogni abitante del pianeta. Così come l'esposizione media alle radiazioni ionizzanti in diagnostica medica è compresa entro un intervallo più ampio che non nella prima colonna.

5. IL RISCHIO

Come è noto, all'esposizione alle radiazioni ionizzanti si associa, con l'introduzione di un opportuno coefficiente di rischio, la probabilità di insorgenza di effetti sanitari gravi, quali tumori e leucemie.

E' importante tener presente che i coefficienti di rischio derivano dall'analisi di dati epidemiologie! su gruppi di persone sottoposte, generalmente per brevi intervalli di tempo, ad esposizioni elevate - sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki, pazienti che hanno subito trattamenti terapeutici con radiazioni, ecc. - e sono a tutt'oggi oggetto di continue analisi e valutazioni a livello internazionale (1).

Per quanto riguarda le stime del rischio associato al radon, esse si basano soprattutto su dati epidemiologici ottenuti dall'esame di gruppi di minatori esposti in miniere sotterranee. Esistono obiettive difficoltà nell'estrapolare i dati relativi all'aumentata incidenza di tumori polmonari dalle condizioni ambientali tipiche delle miniere e dal gruppo di lavoratori in esame (maschi in età adulta, in buone condizioni di salute, sottoposti ad un lavoro faticoso) alle situazione tipiche delle abitazioni (dove vivono individui di tutte le età e in condizioni di salute variabili, svolgendo generalmente attività meno impegnative fisicamente).

Per questi motivi negli ultimissimi anni sono stati intrapresi studi epidemiologici su gruppi di popolazioni esposte ad alte concentrazioni di radon. Questi studi sono coordinati dalla Comunità Europea e dal Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti e vi prendono parte importanti istituzioni scientifiche (13).

Le attuali stime di rischio, connesso ad una esposizione al radon cumulata per un determinato periodo di tempo, (ad es. una intera vita) sono state elaborate da diversi organismi internazionali (11,12). Queste stime, pur essendo ottenute partendo da considerazioni diverse, concordano nell'attribuire ad una esposizione di radon pari a quella media riscontrata nei paesi industrializzati (circa 55 Bq/m^3), un

contributo di alcune unità di tumori polmonari letali rispetto al numero osservato su 100.000 persone esposte.

Per quanto concerne il rischio connesso all'inalazione di radon all'esterno degli edifici, va rilevato che/ analogamente alla concentrazione misurata ed al corrispondente equivalente di dose efficace, esso risulta mediamente inferiore di circa un fattore 10.

Si tratta in tutti i casi di valori medi, ottenuti nell'ipotesi che qualunque dose, anche molto piccola, possa produrre effetti ad essa proporzionali (ipotesi di linearità senza soglia). Questi dati debbono essere confrontati con il numero dei tumori polmonari letali che è variabile con il sesso, generalmente maggiore per gli uomini che per le donne, e con le abitudini di vita (in particolare ha un ruolo importante l'abitudine al fumo). Nel nostro Paese il tasso standardizzato di morte per tumore polmonare nell'anno 1987 è pari a 81,7 su 100.000 per i maschi e 12,4 su 100.000 per le femmine (14).

Infine, il rischio connesso all'esposizione alla ' radiazione gamma, sia in luoghi chiusi che aperti, è considerato generalmente piccolo se raffrontato ai tassi standardizzati di tumore e leucemia per la popolazione del nostro Paese.

6. AZIONI FUTURE

Non si ritiene al momento di poter indicare provvedimenti generali da adottare per ridurre l'esposizione al radon nelle abitazioni, in particolare ove sia stata riscontrata una concentrazione più elevata.

Un accorgimento di semplice attuazione è quello di aumentare il ricambio di aria nelle stanze dove si vive (per esempio, aprendo opportunamente le finestre): ove ciò può essere fatto senza che esistano controindicazioni (legate, per esempio, alla temperatura esterna) esso si dimostra spesso efficace.

Per quanto riguarda le abitazioni future, bisognerà studiare accorgimenti preventivi utilizzando opportune specifiche nella fase di progetto e in quella di costruzione per limitare maggiormente i valori di concentrazione di radon all'interno. Ciò viene esplicitamente suggerito nella Raccomandazione Comunitaria già citata.

Analogamente, per quanto riguarda la dose assorbita gamma in aria, per la quale non esistono Raccomandazioni Comunitarie, potranno essere studiati opportunamente i materiali da costruzione da utilizzare per ridurre i valori, ove fosse necessario.

Le tecniche che possono essere adottate per diminuire le concentrazioni di radon nelle case esistenti sono assai diverse, in relazione alle sorgenti che maggiormente contribuiscono all'ingresso del radon. Esse consistono:

- nell'allontanare il radon prima che esso penetri nelle zone abitate (per esempio, con sistemi di aspirazione a livello delle fondamenta e dispersione all'esterno del radon);
- nel disporre idonee barriere tra la sorgente e gli spazi abitativi (sigillando fori o fessure con collanti particolari);
- nell'allontanare il radon dalle stanze con sistemi vari (di cui l'areazione è sicuramente il più ovvio).

Alcuni di questi accorgimenti possono essere utili ad altri scopi, per esempio, a diminuire l'umidità nelle abitazioni.

Le strutture tecniche regionali, d'intesa con le Istituzioni centrali sono disponibili per un esame delle situazioni particolari che possano essere evidenziate e per elaborare eventuali suggerimenti.

Va comunque osservato che azioni di rimedio messe in atto o attualmente allo studio in altri Paesi, non possono essere applicate al nostro in modo automatico viste le differenze esistenti nelle tecniche di progettazione e di realizzazione degli edifici.

E' infine necessario tener conto dei costi che i diversi provvedimenti tecnici potrebbero comportare, per cui andrebbe studiata l'opportunità di affrontare il problema nel quadro più generale della qualità dell'aria nei luoghi chiusi, anche al fine di programmare la migliore utilizzazione delle risorse scientifiche, tecniche ed **economiche**. Tali decisioni ricadono ovviamente nell'ambito delle scelte di politica ambientale e quindi dovrebbero essere assunte non tanto in sede tecnica quanto in sede politica.

Il completamento dell'indagine a livello nazionale (che non si prevede possa avvenire prima della fine del 1991) permetterà di valutare in una corretta prospettiva i dati relativi ad ogni singola Regione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- 1) U.N., Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly, U.N/ N.Y. (1988).
- 2) Autori vari - Indagine Nazionale sull'esposizione della popolazione alla radioattività naturale nelle abitazioni. Notiziario dell'ISS, vol. 2, n.3 (1989).
- 3) Benassai S., Bochicchio F., Campos-Venuti G., Parchi G./ Mancioffi S., Mariotti S., Piermattei S., Risica S., Tommasino L., Torri G.C., Indagine nazionale sull'esposizione alla radioattività nelle abitazioni: impostazione generale. Atti del Congresso AIRP, Verona, 13 - 15 Settembre 1989 (serie Simposi, pag. 107).
- 4) Comunità Europea - Raccomandazione della Commissione del 21/2/90 sulla protezione della popolazione al radon negli edifici. Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee, L80 (1990).
- 5) Comunità Europea - Direttiva del Consiglio del 15 luglio 1980 che modifica le direttive che fissano le norme fondamentali relative alla protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti. Gazzetta ufficiale delle Comunità Europee, L246, (1980).
- 6) Comunità Europea - Direttiva del Consiglio del 3 settembre 1984 che modifica le direttive 80/836/Euratom per quanto concerne le norme fondamentali relative alla protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti. Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee, L265, (1984).
- 7) Comunità Europea - Comunicazione della Commissione in ordine alle direttive del Consiglio 30/836/Euratom del 15 luglio 1980 che modifica le direttive che fissano le norme fondamentali relative alla protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti e 84/464/Euratom che modifica la direttiva 80/836/Euratom per quanto concerne le norme fondamentali relative alla protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti. Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee, C347, (1985).
- 8) Campos Venuti G., Grisanti A., Grisanti G., Risica S., Simula S., Borio R. An Indoor Radon Study to Test the Methodology for a National Survey. Rad.Prot.Dosim.24, 379-382, (1987).

- 9) Comunità Europea - Radiation Protection Committee, Exposures to natural radiation in dwellings of the European Communities. Report of a group of experts. Luxembourg (1987).
- 10) Wrixon A.D., Green B.M.R., Limas P.R., Wiles J.C.H., Cliff K.D., Francis E.A., Driscoll C.M.H., O'Riordan M.C., National radiation exposure in U.K. dwellings. NRPB - R-190, (1988).
- 11) ICRP, Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters, ICRP Publication n.50, (1986).
- 12) Health Risks of Radon and Internally deposited alpha-emitters. BEIR IV, National Academy of Science, Academic Press, Washington D.C. (1988).
- 13) U.S. Department of Energy and Commission of European Communities, International Workshop on Residential Radon, USDOE (1989).
- 14) Capocaccia R., Farchi G., Mariotti S., Verdecchia A., Angeli A., Scipione R., Feola G., Morganti P., La mortalità in Italia nel 1987, Rapporti Istisan 90/18,1990.

GLOSSARIO

Grandezze

ATTIVITÀ: numero di disintegrazioni spontanee che avvengono in un secondo in una data quantità di sostanza radioattiva.

L'unità di misura è il becquerel (Bq).

CONCENTRAZIONE DI RADON IN ARIA: numero di disintegrazioni dovute al radon che avvengono in un secondo in un m³ di aria.

L'unità di misura è il Bq/m³.

DOSE ASSORBITA: rapporto tra l'energia ceduta dalla radiazione in una determinata massa di sostanza e la massa stessa.

L'unità di misura è il gray (Gy).

Se la materia irraggiata è l'aria si ha la dose assorbita in aria.

EQUIVALENTE DI DOSE (indicato anche con **DOSE**): dose assorbita (calcolata) tenendo conto opportunamente dei diversi tipi di radiazione e della loro energia. L'unità di misura è il sievert (Sv).

EQUIVALENTE DI DOSE EFFICACE (indicato anche con **DOSE EFFICACE**): equivalente di dose (calcolato) in modo da tener conto della diversa sensibilità alle radiazioni ionizzanti e di diversi organi e tessuti del corpo umano.

L'unità di misura è, anche in questo caso, il sievert.

INTENSITÀ DI DOSE ASSORBITA: dose assorbita nell'unità di tempo.
L'unità di misura utilizzata è il nGy/h.

Unità di misura

BECQUEREL (Bq): unità di misura dell'attività.
1 becquerel è uguale ad una disintegrazione al secondo.

GRAY (Gy): unità di misura della dose assorbita.
1 Gy = 1 J/kg.
1 mGy = un millesimo di Gy.
1 MGy = un milionesimo di Gy.
1 nGy = un miliardesimo di Gy.

SIEVERT (Sv): unità di misura dell'equivalente di dose e dell'equivalente di dose efficace.
1 Sv = 1J/kg.
1 mSv = un millesimo di Sv.
1 MSv = un milionesimo di Sv.

APPENDICE

LA STORIA E LA CRONACA DELL'INDAGINE IN EMILIA-ROMAGNA

L'indagine nazionale è stata proposta da Enea/Disp e Istituto Superiore di Sanità agli Assessorati regionali alla Sanità; nel 1988 hanno risposto positivamente le regioni Friuli Venezia Giulia, Emilia-Romagna e Lombardia.

Fin dall'inizio sono stati coinvolti operatori delle Regioni e dei Laboratori per la misura della radioattività ambientale facenti parte della rete nazionale quali laboratori regionali di riferimento.

Gli ultimi mesi dell'anno '88 sono stati dedicati:

- alla definizione delle modalità di esecuzione dell'indagine;
- al trasferimento delle tecniche per le misure del radon al personale dei laboratori regionali, tramite un corso di addestramento organizzato presso l'Enea/Disp;
- all'elaborazione di un protocollo di riferimento-guida per le operazioni legate alle misure con i rivelatori per il radon e per la radiazione gamma;
- alla preparazione di una scheda per la raccolta di informazioni sulle famiglie e sulle abitazioni del campione selezionato;
- all'addestramento del personale dei servizi di prevenzione della USL che avrebbe dovuto contattare le famiglie, posizionare i dosimetri e compilare le schede;
- alla stesura e alla stampa di materiale informativo destinato alle famiglie e ai servizi.

I diversi documenti elaborati hanno subito modifiche e perfezionamenti nel corso del tempo, grazie anche all'esperienza maturata dai partecipanti durante lo svolgimento dell'indagine.

Sin dall'inizio erano stati definiti dagli Istituti centrali i criteri statistici di base per lo studio, schematicamente riassunti come segue:

- scelta del tipo di indagine a campione, con riferimento ad un numero di 5.000 famiglie che rappresenta 1:4000 delle famiglie italiane censite nel 1981 (circa 20 milioni);
- suddivisione delle famiglie da campionare in 200 comuni (su un totale di circa 8.000);
- stratificazione dei comuni secondo la regione di appartenenza e due livelli di ampiezza demografica, il primo contiene i comuni con un numero di abitanti residenti maggiore di 100.000, il secondo quelli con numero inferiore a 100.000;
- inserimento dei 50 comuni con più di 100.000 abitanti nel campione; i restanti 150 comuni sono stati estratti casualmente, proporzionalmente al rimanente numero di quelli appartenenti alla regione;
- la proporzione di campionamento delle famiglie è costante per tutti i comuni appartenenti allo stesso strato.

Sulla base di questo schema di riferimento, nella Regione Emilia-Romagna il numero di famiglie appartenente al campione nazionale è risultato essere 371, suddivisi in 15 comuni.

Essendo 9 i comuni con popolazione maggiore di 100.000 abitanti (dove vive il 39% della popolazione regionale), i rimanenti 6 (più altrettanti di riserva) sono stati estratti a livello centrale fra i 332 con popolazione inferiore a 100.000 abitanti.

Il campione di abitazioni così scelte consente di valutare, a livello regionale, il valor medio della concentrazione di radon e della dose dovuta alla radiazione gamma e cosmica.

* * * * *

Completato dunque il quadro organizzativo generale, nella nostra regione l'indagine è stata ufficialmente avviata nel gennaio 1989. Risale infatti ad allora il primo incontro, presso la sede della Regione a Bologna, tra i coordinatori dell'indagine a livello locale e gli operatori dei Settori fisico ambientali dei Presidi multizonali di prevenzione e dei Servizi di igiene pubblica delle Usi coinvolte, operatori che avrebbero svolto il delicatissimo compito di interlocutori fra il laboratorio di riferimento e le famiglie campione. In tale occasione fu illustrata, secondo i criteri e le modalità che vengono di seguito delineati, la campagna, le sue motivazioni e i termini di esecuzione in sede nazionale e regionale:

- l'indagine ha carattere principalmente conoscitivo ed è tesa ad individuare i livelli di concentrazione del gas radon e della radiazione gamma nell'interno delle abitazioni presenti nella regione. Quindi è necessaria la scelta casuale delle famiglie campione. Per questo scopo è stato preparato un elenco di numeri casuali, con base di estrazione corrispondente ai dati ISTAT, relativi all'ultimo censimento riferito al numero di famiglie residenti in ogni singolo comune interessato all'indagine; a tali numeri occorre associare una famiglia in base agli elenchi forniti dalle Anagrafe comunali;

- l'indagine deve essere presentata ai Sindaci dei Comuni coinvolti;

- è opportuno inviare una lettera informativa insieme ad un opuscolo illustrativo alle famiglie campione;

- la scheda di raccolta dei dati assume particolare rilevanza: per ogni sua sezione sono state illustrate le possibili modalità di compilazione, registrando le eventuali osservazioni e difficoltà di interpretazione;

- l'opportunità di organizzare una giornata di studio e dibattito (realizzata nel febbraio 1989) con la partecipazione di tutti gli operatori coinvolti nell'indagine.

* * * * *

Successivamente è stata avviata la ricerca delle famiglie campione.

Le diverse organizzazioni degli Uffici anagrafici hanno evidenziato situazioni in cui:

- negli elenchi risultano solamente le famiglie effettivamente residenti;

- negli elenchi risultano sia le famiglie residenti che quelle estinte o trasferite.

Nel primo caso ricadono i comuni di: S. Mauro Pascoli, Castel S. Giovanni, Piacenza, Parma, Campogalliano, Modena, Montecreto, Forlì, Bazzano. Per questi comuni è stato sufficiente individuare le famiglie abbinandole all'elenco di numeri casuali già in possesso degli operatori.

Nel secondo caso, ricadono i comuni di Ferrara, Ravenna, Albinea, Bologna, Reggio Emilia e Rimini. Per i comuni di Ferrara e Ravenna, è stato sufficiente effettuare una nuova estrazione, ponendo come base alla stessa il numero totale di famiglie appartenenti agli elenchi delle Anagrafi.

Nei comuni di Albinea, Bologna, Reggio Emilia e Rimini, l'applicazione dei numeri casuali di prima estrazione ha messo in evidenza un elevato numero di nuclei familiari non più residenti.

La situazione più delicata è stata quella di Bologna, ove esiste un grosso divario fra il numero di famiglie iscritte e quelle esistenti; per raggiungere il numero di famiglie necessario all'indagine in questo comune (47), si sono allora rese necessarie 3 successive estrazioni di numeri casuali.

Il contatto con le famiglie è avvenuto generalmente in maniera proficua: la maggior parte dei rifiuti a collaborare è dovuta alla estrazione di nuclei formati da persone anziane o malate, oppure di famiglie con traslochi programmati entro breve periodo di tempo.

Mentre gli operatori dei Servizi di igiene pubblica procedevano in questi delicati compiti, i tecnici presso il laboratorio di riferimento regionale hanno provveduto alle operazioni relative alla preparazione dei dosimetri per le misure di radon, utilizzando il materiale fornito dall'Enea/Disp. Tali operazioni sono consistite in:

- preparazione e montaggio dei dosimetri e loro suddivisione secondo due gruppi standardizzati (il tipo L - 2 rivelatori LR 115 - e tipo C - 1 rivelatore LR 115 e i rivelatori OR 39 -);

classificazione di ogni coppia di dosimetri (1 di tipo L e 1 di tipo C) mediante un numero progressivo per identificare le località di distribuzione dei dosimetri e il loro tipo. Tale codice, riportato poi dagli operatori sulle schede al momento del posizionamento del dosimetro, servirà per associare i risultati delle misure all'abitazione campionato.

* * * * *

Il posizionamento dei dosimetri nelle abitazioni è avvenuto nei tempi prefissati. Complessivamente, l'intervallo di tempo richiesto per questa operazione, per il primo semestre di esposizione, è risultato di 23 giorni, dal 28/2/89 al 21/3/89.

Durante il posizionamento, gli operatori hanno raccolto anche le notizie necessarie per compilare la scheda informativa relativa a ciascuna abitazione. Le difficoltà e discordanze incontrate durante questa fase, nella nostra e nelle altre regioni, sono state utili per apportare miglioramenti e semplificazioni alle schede originali; la versione definitiva è stata ridistribuita prima dell'inizio della seconda fase dell'indagine, avvenuto nel mese di settembre.

Durante lo stesso periodo, è stata avviata la preparazione dei dosimetri a termoluminescenza (TLD) per la misura della radiazione gamma e cosmica e sono state effettuate le prove per le letture dei rivelatori per gas radon. Seguendo il protocollo predisposto da ricercatori dell'Area Ambiente dell'Enea, la preparazione dei TLD ha comportato:

- la verifica delle condizioni dei forni utilizzati per trattamenti termici di azzeramento e prelettura;
- due irraggiamenti all'unità di telecobaltoterapia dell'Ospedale di Piacenza per l'*inizializzazione* dei rivelatori;
- la codifica di ogni rivelatore;
- l'irraggiamento dei rivelatori presso l'Enea di Bologna per stabilire i fattori di sensibilità intrinseca relativa; sono state stabilite contemporaneamente le più idonee condizioni di lettura: determinazione della *glow-curve*, velocità di riscaldamento, tempo totale di lettura;
- la preparazione dei dosimetri per il loro posizionamento nelle abitazioni e il loro stoccaggio in un pozzetto a basso fondo.

Seguendo il protocollo preparato dagli Istituti centrali per le misure dei rivelatori di gas radon, sono state predisposte ed effettuate:

- le verifiche delle condizioni per l'attacco chimico (temperatura della soluzione e durata dell'attacco stesso);
- la verifica del corretto funzionamento della strumentazione per rilevare le tracce nucleari formate nel nitrato di cellulosa (LR 115), relativamente sia ai parametri di lettura, tensione applicata e tempo di conteggio, sia alla riproducibilità nel tempo dei risultati ottenuti dalle misure;
- la determinazione delle rette di correzione per il fondo e per lo spessore residuo;
- la preparazione e spedizione all'Enea/Disp dei dosimetri utilizzati per interconfronto;
- la preparazione dei nuovi dosimetri per la loro sostituzione per il secondo periodo di esposizione.

* * * * *

Nell'agosto 1989 si sono riuniti gli operatori dei Servizi di igiene pubblica, per ritirare la nuova copia della scheda informativa e le buste contenenti i dosimetri per il radon e i TLD. Per questi ultimi è stata evidenziata la necessità di mantenere i dosimetri in un luogo a basso fondo opportunamente schermati fino al momento del loro posizionamento nelle abitazioni. Ove ciò non fosse stato possibile, nel calcolo della dose finale, deve essere tenuto conto del contributo dovuto sia al trasporto che al tempo di attesa. Analoghe considerazioni

sono state fatte per il successivo ritiro dalle abitazioni e la consegna dei dosimetri al laboratorio di riferimento.

Ogni operatore ha correttamente segnalato la "storia" dei TLD utilizzati.

E' iniziata così la seconda fase della campagna con la raccolta dei dosimetri per la misura del radon precedentemente posizionati, la loro sostituzione con i nuovi, la consegna dei TLD e la compilazione delle nuove schede (gli operatori hanno diligentemente ricompilato le nuove schede e non solo le parti che avevano subito modifiche).

Questa parte dell'indagine è stata effettuata nel periodo 30/8/89 - 25/9/89 e in alcuni comuni sono state verificate le seguenti situazioni:

- la perdita di uno o entrambi i dosimetri in una o più abitazione;
- l'impossibilità di recupero e sostituzione dei dosimetri per trasferimento o difficoltà sopraggiunte nel rapporto con la famiglia;

il recupero dei vecchi dosimetri, ma non la loro sostituzione a causa del trasferimento imminente della famiglia e la conseguente chiusura dell'abitazione per un tempo indefinito.

E' iniziata quindi la lettura dei rivelatori esposti mentre continuavano le procedure per completare le specifiche dosimetriche dei rivelatori a termoluminescenza ed in particolare:

- presso la sezione di Fisica sanitaria della Centrale elettronucleare di Caorso (che qui si ringrazia) sono state effettuate prove di riproducibilità di misura del sistema dosimetrico;
- sono stati inviati, presso i laboratori prestabiliti, i rivelatori utilizzati per le prove di interconfronto;

- sono stati inviati, presso il laboratorio dell'Enea Casaccia, i rivelatori utilizzati per la verifica della linearità del sistema dosimetrico e la determinazione del *fading*;

- sono stati predisposti, presso il Servizio di Taratura dell'Enea di Bologna, gli irraggiamenti dei dosimetri per il controllo della taratura.

Nel frattempo è continuato il confronto con gli Istituti centrali per stabilire le modalità di diffusione delle informazioni relative all'indagine.

Gli accordi raggiunti hanno portato a stabilire una linea operativa, valida per tutte le regioni, opportuna per una corretta gestione dell'informazione.

Si è convenuto di inviare una lettera a ciascuna famiglia coinvolta, con l'indicazione dei risultati ottenuti espressi in una fascia di valori.

Inoltre si è previsto di elaborare a livello centrale, un rapporto finale da allegare alla lettera, che possa permettere una valutazione del significato dei dati ricevuti. In tale rapporto oltre ad una introduzione descrittiva sulla radioattività naturale, vengono illustrati i dati ottenuti sul territorio regionale. E' possibile quindi osservare la collocazione della singola abitazione rispetto sia all'ambito regionale che al valore di riferimento per la concentrazione di radon indoor nelle abitazioni esistenti suggerito nelle Raccomandazioni della Comunità Europea (400Bq/m^3 , cfr. rif.4).

* * * * *

Queste indicazioni sono state illustrate in una riunione con gli operatori, tenutasi nel febbraio '90, prima che iniziasse la raccolta degli ultimi dosimetri posizionati. E stata presentata anche una panoramica generale dei risultati riscontrati nei primi sei mesi di esposizione, in maniera tale che al ritiro dei dosimetri potesse essere fornita alle famiglie una prima informazione generale.

La raccolta conclusiva dei dosimetri è stata effettuata nel periodo 1-31/3/90.

Tutti i dosimetri per il radon posizionati nella seconda fase sono stati raccolti, mentre 2 dosimetri TL sono andati persi.

Insieme ai rivelatori termoluminescenti posizionati nelle abitazioni sono stati letti quelli utilizzati per la verifica della linearità e per gli inter-confronti. Al termine della campagna, poi, al Servizio di Taratura dell'Enea di Bologna si è ripetuto l'irraggiamento e la lettura dei rivelatori per la determinazione dei fattori di sensibilità intrinseca. Queste operazioni hanno richiesto il periodo di tempo compreso fra aprile e luglio '90; successivamente sono iniziate le misure sui rivelatori per il radon, concluse nell'ottobre '90.

Nella tabella seguente è riportato il numero delle abitazioni suddivise per comune nelle quali sono state effettuate le misure di radon e di radiazione nei due semestri.

COMUNI	N. Abitazioni estratte	N. Misure Radon I semestre	N. Misure Radon II semestre	N. Misure Radon annuale	N. Misure Gamma
Castel S. Giovanni (PC)	74	73	72	72	72
Piacenza	11	11	11	11	11
Parma	16	16	16	16	16
Albinea (RÈ)	35	35	34	34	34
Reggio Emilia	13	13	13	13	13
Campogalliano (MO)	32	32	32	32	32
Modena	18	17	17	17	17
Montecreto (MO)	7	7	7	7	7
Bazzano (BO)	31	31	31	31	31
Bologna	47	47	46	46	46
Ferrara	14	14	13	13	13
Ravenna	13	12	13	12	12
Forlì	11	11	11	11	11
S. Mauro Pascoli (FO)	38	38	37	37	37
Rimini (FO)	11	11	11	11	10
TOTALE	371	368	364	363	362

CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI

Come è possibile rilevare nel paragrafo 2 del rapporto ed in particolare nel grafico riportato in fig. 1, nel corso dell'indagine appena conclusa nelle abitazioni della Regione Emilia Romagna, i valori medi annuali rilevati della concentrazione di gas radon non hanno evidenziato situazioni comportanti il superamento del livello di riferimento (400 Bq/m^3) suggerito dalla CEE e il quadro generale che ne deriva è tranquillizzante.

Possono essere sottolineati, infatti, alcuni aspetti importanti:

- il valore della media aritmetica regionale risulta essere 43 Bq/m^3 ;
- nel 78% delle abitazioni risultano livelli inferiori a 50 Bq/m^3 , nel 96% inferiori a 100 Bq/m^3 , nel 99,5% inferiori a 200 Bq/m^3 .

Le concentrazioni medie rilevate aumentano passando dal semestre "estivo" (marzo '89 - settembre '89) al semestre "invernale" (settembre '89 - marzo '90); infatti, il valore medio regionale varia da 32 Bq/m^3 a 54 Bq/m^3 , con un aumento in percentuale pari al 68,8%, questo aumento è principalmente imputabile ad una minore frequenza di ricambi di aria nelle abitazioni durante i mesi invernali, con un conseguente maggior accumulo di radon nell'ambiente.

Per quanto concerne le misure di intensità di dose assorbita in aria, i valori rilevati, come mostrato in fig. 2, sono concentrati in un intervallo molto più ristretto, 20-130 nGy/h, con un valore medio regionale di 80 nGy/h.

Si può osservare che il 94% delle abitazioni presenta livelli compresi fra 50 e 100 nGy/h. Un'analisi preliminare delle informazioni rilevate dalle schede permette di definire alcune caratteristiche del campione estratto, illustrate nella figura 3:

- il 75% degli edifici è di tipo plurifamiliare (es. condominio), mentre il rimanente 25% è di tipo monofamiliare, comprensivo sia di villette a schiera che di abitazioni isolate;
- il 46% è costruito direttamente sul terreno, mentre il 36% ed il 17% possiede rispettivamente o seminterrato o sotterraneo;
- il 61% è di recente costruzione (dopo il 1960) ed il 51,5% è stato costruito con materiale diverso dal cemento.

Nella figura 4a si può osservare la distribuzione della posizione del locale dosimetro rispetto al piano degli edifici indagati. Nel 40% dei casi il locale dell'abitazione dove è stato esposto il dosimetro è situato al primo piano rispetto al terreno. Il piano terra è stato ulteriormente suddiviso a seconda che fosse direttamente a contatto del terreno oppure in presenza di un sotterraneo o seminterrato. La figura 4b mostra i valori medi annuali di concentrazione di radon relativamente alla posizione del locale dosimetro.

Si può osservare che la concentrazione di radon diminuisce passando da locali seminterrati o sotterranei a quelli posti al primo e secondo piano, per poi mantenersi costante nei piani successivi.

Queste indicazioni portano a rilevare come nella nostra regione il gas radon provenga principalmente dal terreno. Si può anche osservare che dall'indagine non sono state evidenziate zone con livelli significativi costantemente superiori alla media.

Va comunque ricordato che le analisi dei risultati sono appena all'inizio e sono tutt'ora in corso ulteriori approfondimenti per valutare possibili correlazioni fra le concentrazioni di radon ed altre caratteristiche dell'abitazione; particolarmente indicativi in tal senso potranno essere i risultati e le elaborazioni condotte sul campione nazionale.

FIG. 1 DISTRIBUZIONE DELLA CONCENTRAZIONE
MEDIA ANNUALE GAS RADON - EMILIA ROMAGNA

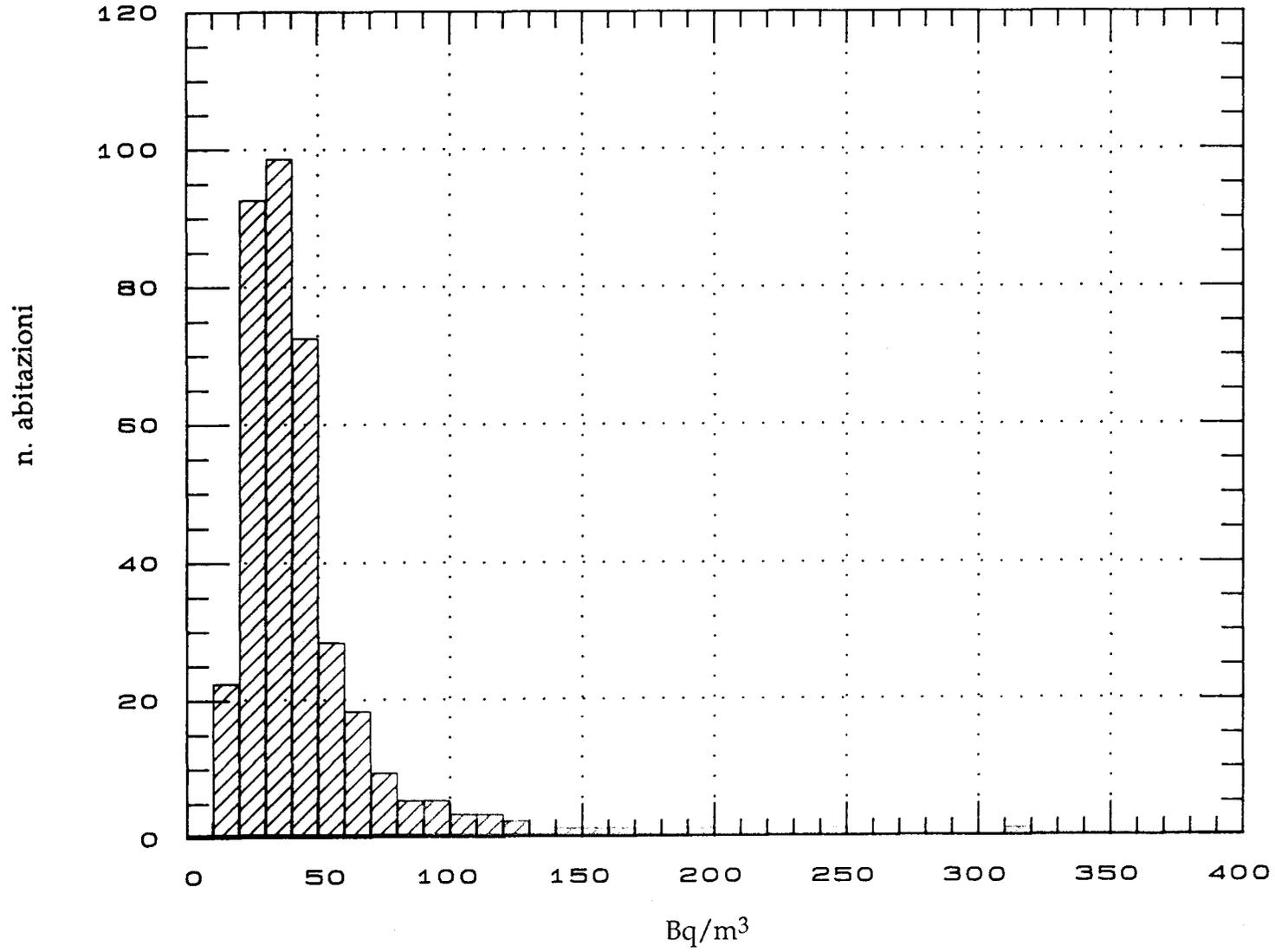


FIG. 2 RADIAZIONE GAMMA E COSMICA
DISTRIBUZIONE DELL'INTENSITA' DI DOSE

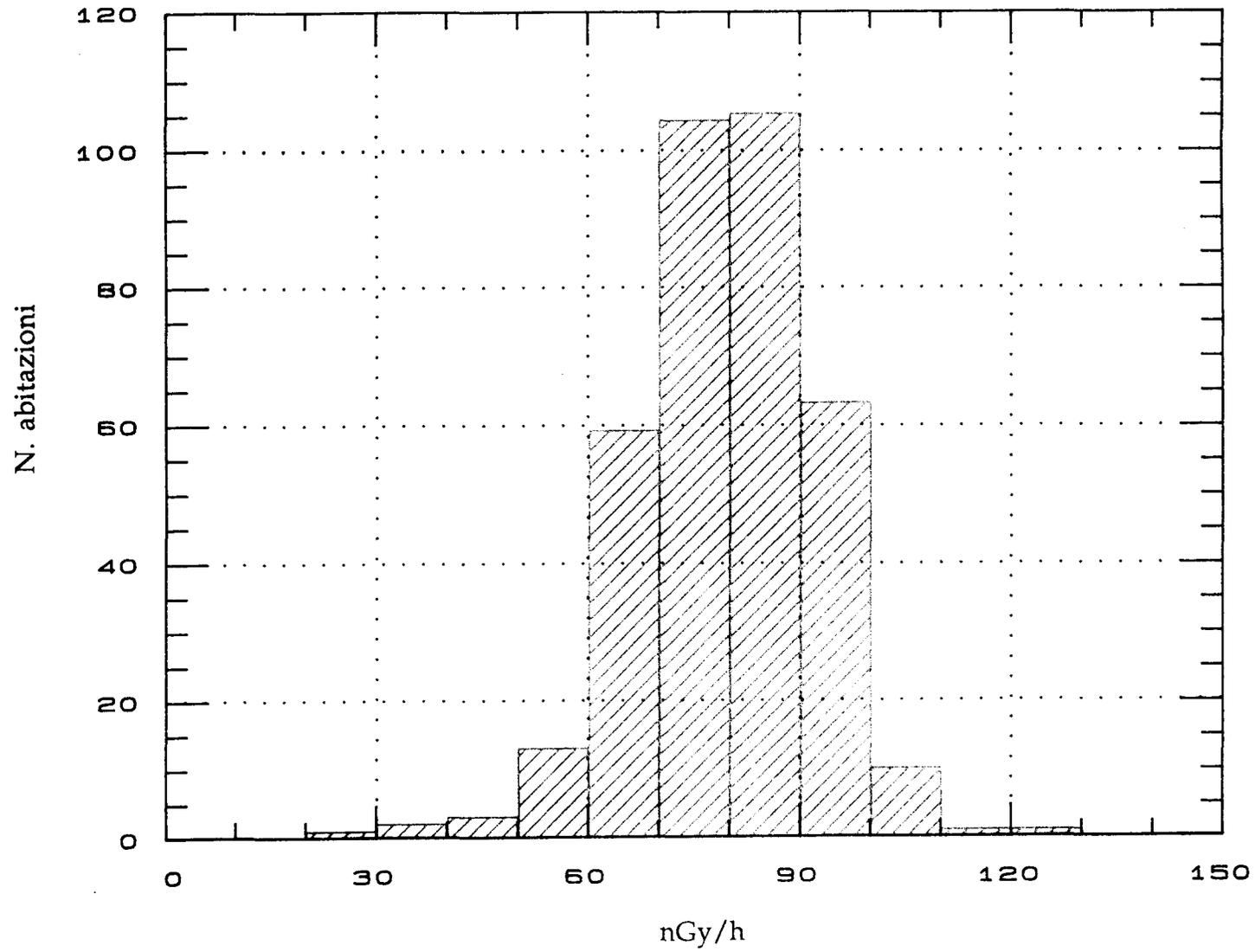
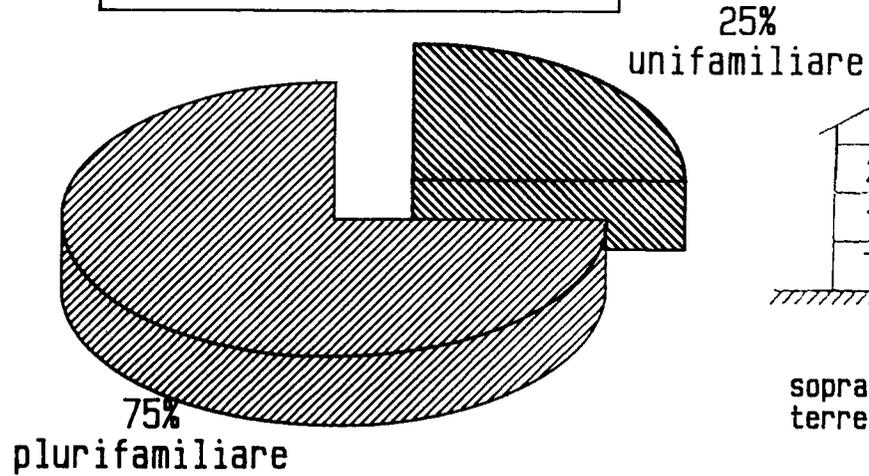
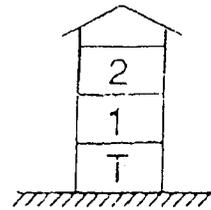


FIG. 3 CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DEGLI EDIFICI CAMPIONATI (N. TOTALE 369)

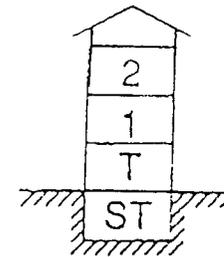
TIPOLOGIA EDIFICIO



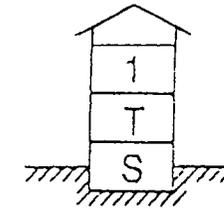
POSIZIONE DEL PIANO PIU' BASSO RISPETTO AL TERRENO



sopra il terreno : 46%



con sotterraneo : 17%

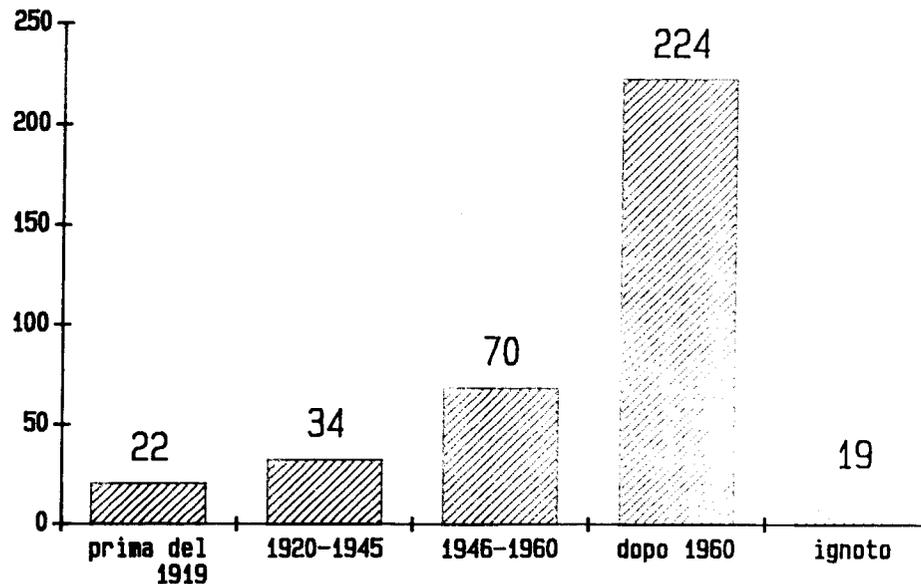


con seminterrato : 36%

altro: 1%

ANNO DI COSTRUZIONE

abitazioni



MATERIALE DI COSTRUZIONE

51.5%
altro

48.5%
cemento

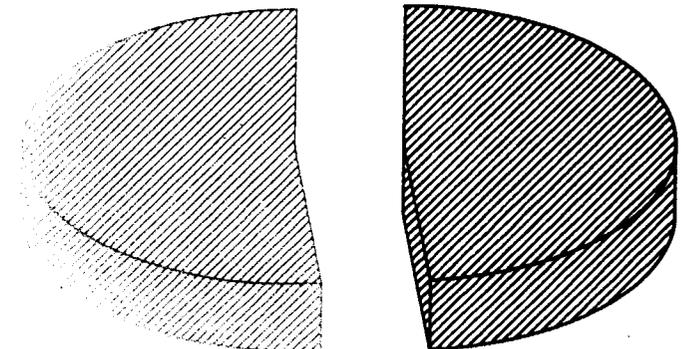


FIG. 2 RADIAZIONE GAMMA E COSMICA
DISTRIBUZIONE DELL'INTENSITA' DI DOSE

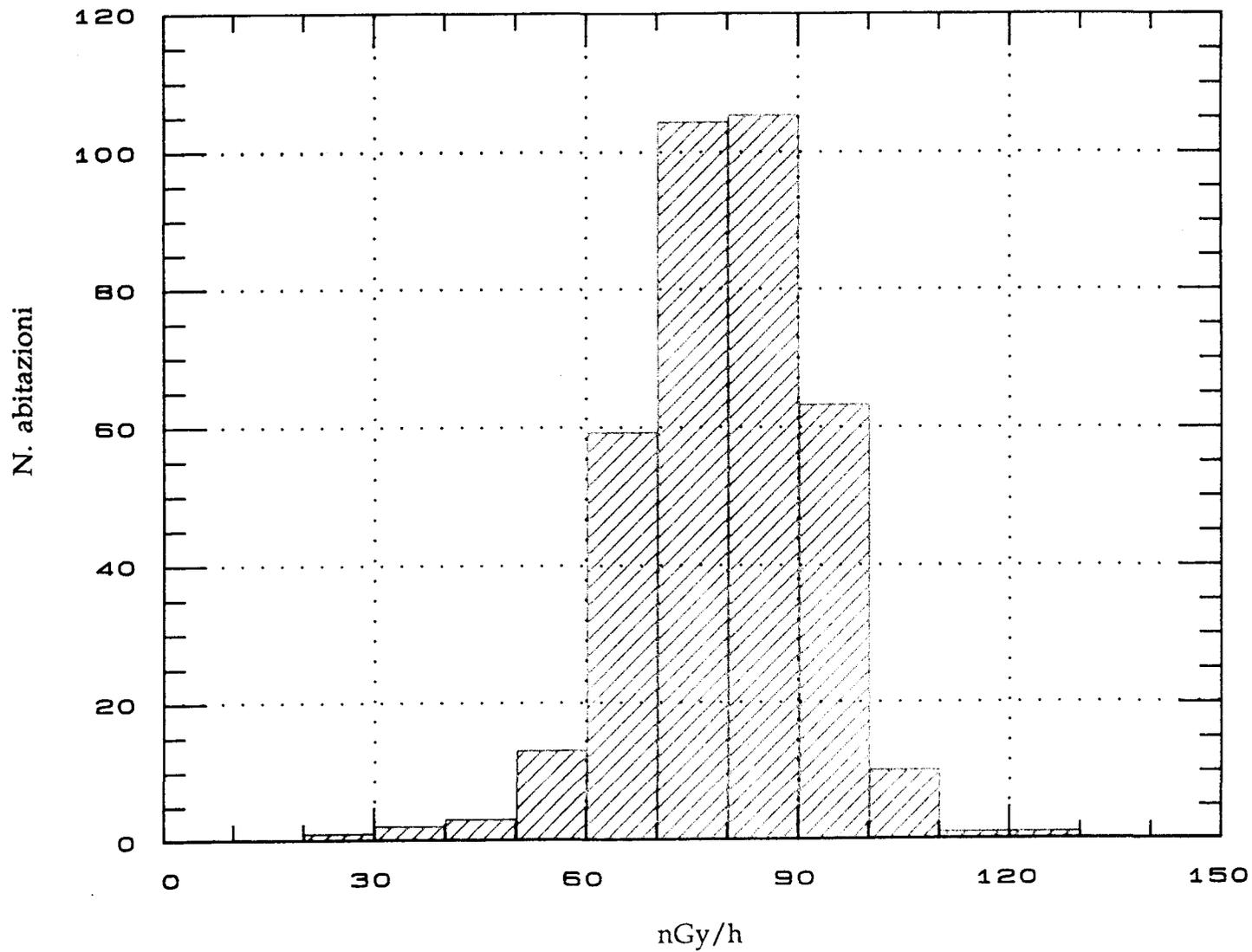
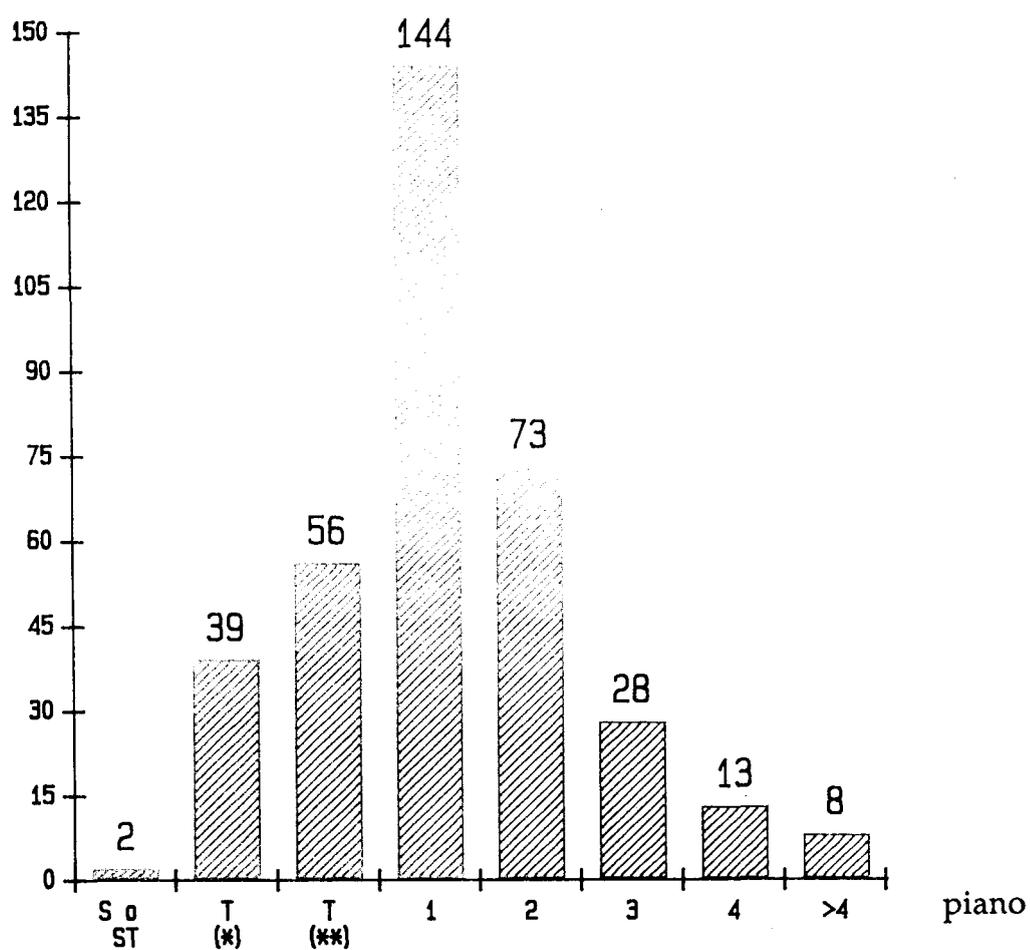


FIG. 4a POSIZIONE DEL LOCALE DOSIMETRO
NELLE ABITAZIONI CAMPIONATE

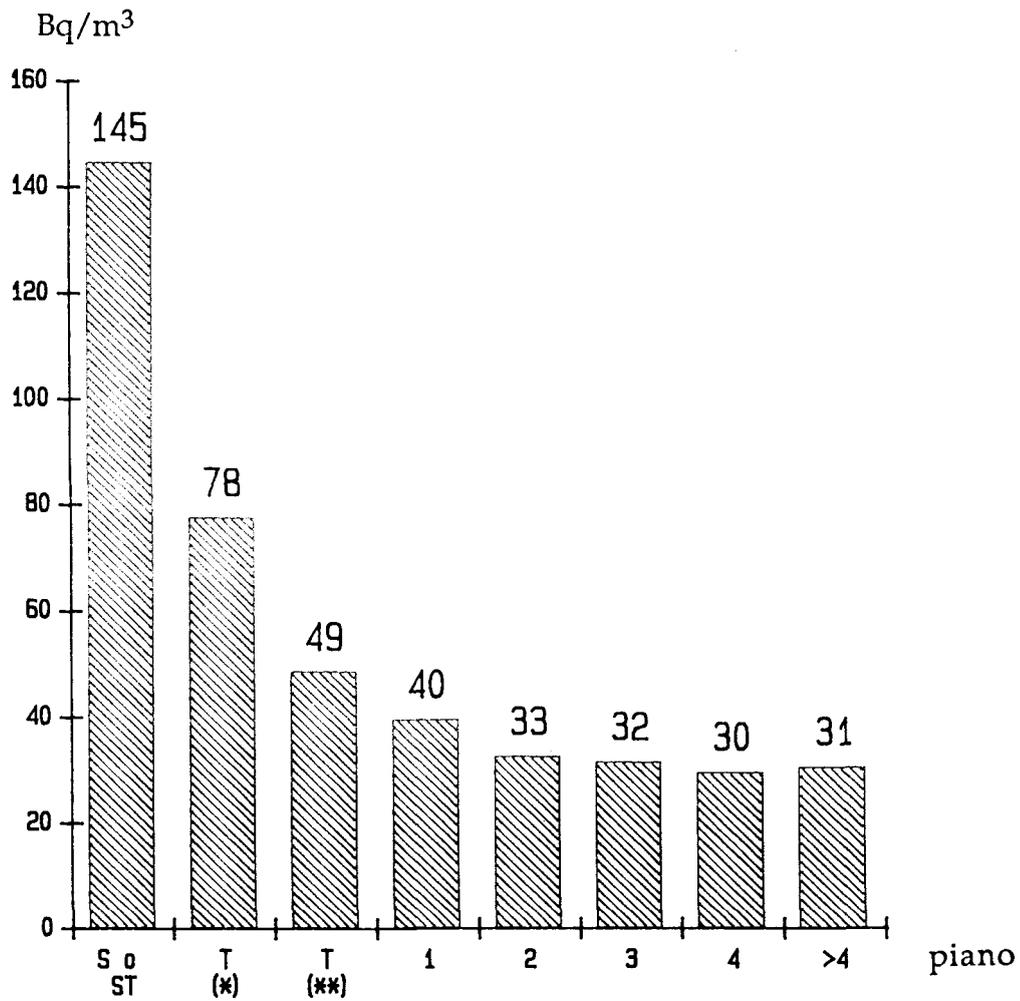
n. abitazioni



(*) piano terra senza seminterrato (S)
o sotterraneo (ST)

(**) piano terra con seminterrato (S)
o sotterraneo (ST)

FIG. 4 b DISTRIBUZIONE DEI VALORI ANNUALI RILEVATI DI RADON RELATIVA ALLA POSIZIONE DEL LOCALE DOSIMETRO



(*) piano terra senza seminterrato (S)
o sotterraneo (ST)

(**) piano terra con seminterrato (S)
o sotterraneo (ST)