

# 10. Radiazioni



“Aumentano le stazioni radio base e quelle radio televisive, mentre restano attivi sistemi di monitoraggio tanto dei campi elettromagnetici quanto del radon”

a cura di:

Stefano Pegoretti – Settore Laboratorio APPA

Laura Toniutti – Servizio Autorizzazioni e Valutazioni Ambientali

Renzo Petrolli – Servizio Autorizzazioni e Valutazioni Ambientali

con la collaborazione di:

Jacopo Mantoan – Settore tecnico per la tutela dell'ambiente APPA

impaginazione e grafica:

Isabella Barozzi - Direzione APPA

## Contenuti

### 10. Radiazioni

10.1 Le radiazioni non ionizzanti .....	6
10.1.1 Stazioni Radio Base .....	8
10.1.2 Impianti Radio Televisivi .....	10
10.1.3 Le reti di distribuzione dell'energia elettrica .....	11
10.1.4 Monitoraggio dei livelli di campo elettromagnetico .....	12
10.2 Le radiazioni ionizzanti – il gas radon .....	12
10.2.1 Radon e salute .....	13
10.2.2 La normativa di riferimento .....	14
10.2.3 I livelli di concentrazione di radon all'interno degli edifici in Trentino	14



## RADIAZIONI - AGGIORNAMENTO 2016

Con il termine "radiazioni" si indicano generalmente quei fenomeni fisici che si caratterizzano per il trasporto di energia nello spazio. Questa energia viene poi ceduta alla materia in vari modi; un esempio tipico di questi fenomeni è il calore.

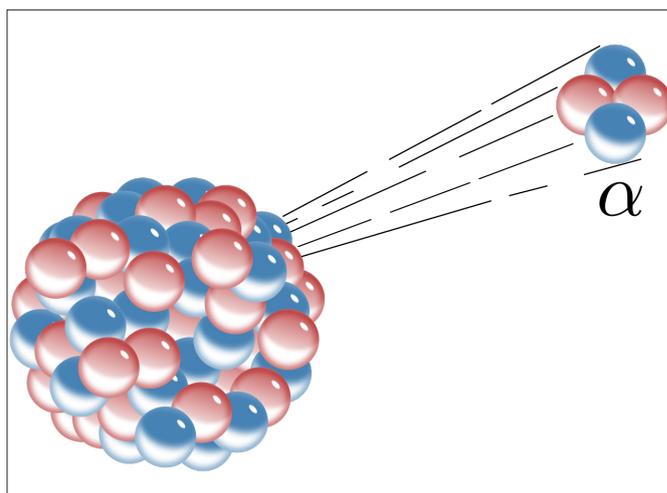
In questo capitolo verranno prese in considerazione due principali forme di radiazioni:

- radiazioni "non ionizzanti", che non possiedono energia sufficiente per ionizzare la materia, cioè per "strappare" elettroni da atomi o molecole;
- radiazioni "ionizzanti", che possiedono invece energia sufficiente per ionizzare la materia e sono quindi potenzialmente in grado di modificarne le caratteristiche alterando, ad esempio, la struttura del DNA cellulare.

Un particolare tipo di radiazione è quello costituito dalle "onde elettromagnetiche"; in figura 10.1 è riportato lo "spettro elettromagnetico", che rappresenta graficamente l'insieme di tutte le possibili frequenze che la radiazione elettromagnetica può assumere; come si può notare, al variare della frequenza (e quindi dell'energia che trasportano), le radiazioni elettromagnetiche possono essere classificate sia come "non ionizzanti" (ad esempio le onde emesse/ricevute dalle antenne ed ampiamente utilizzate per le telecomunicazioni, la luce infrarossa e quella visibile), sia come "ionizzanti" (i raggi UV, i raggi X, impiegati ad esempio in diagnostica medica, e i raggi  $\gamma$ ).

Anche alcuni tipi di particelle, quali ad esempio elettroni, protoni e neutroni, possono muoversi con un'energia sufficiente per essere classificati come radiazioni ionizzanti; in questa famiglia troviamo ad esempio le radiazioni emesse da particolari atomi instabili, i cosiddetti isotopi radioattivi.

È da sottolineare che il progresso tecnologico ha introdotto nell'ambiente il contributo di nuove radiazioni elettromagnetiche, che si sovrappongono al campo elettromagnetico naturale (il cosiddetto "fondo naturale"), non legato all'attività antropica. Il "fondo naturale"

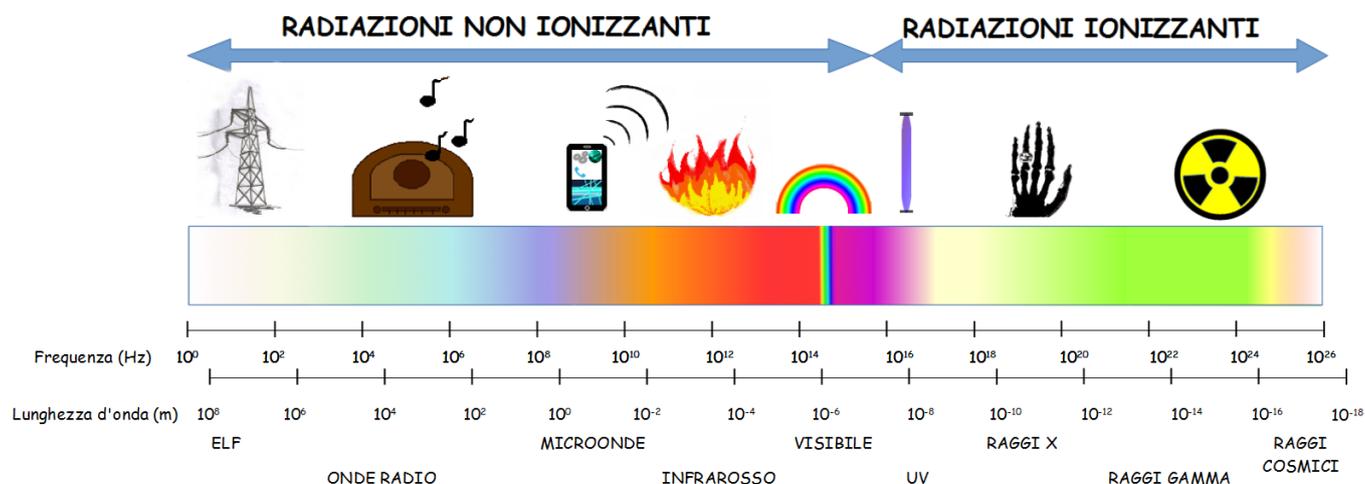


comprende sia le radiazioni non ionizzanti sia quelle ionizzanti.

Le prime sono prodotte da fenomeni che avvengono nell'atmosfera (ad es. le scariche prodotte dai fulmini), sulla superficie terrestre e nel sottosuolo, o generate da sorgenti cosmiche, come il Sole; le seconde possono essere di origine sia terrestre (elementi radioattivi naturalmente presenti nella crosta terrestre) che extraterrestre (raggi cosmici).

Anche il corpo umano è una sorgente di radiazioni, sia non ionizzanti (qualsiasi corpo "caldo" emette onde elettromagnetiche) che ionizzanti (legate ad esempio alla presenza del potassio: il corpo di un adulto ne contiene mediamente circa 0.25 kg, di cui circa 30 mg sono del suo isotopo radioattivo  $^{40}\text{K}$ ).

Figura 10.1: rappresentazione schematica dello spettro elettromagnetico



Fonte: Servizio Autorizzazioni e valutazioni ambientali PAT

## 10.1 LE RADIAZIONI NON IONIZZANTI

Le radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti (indicate spesso con l'acronimo CEM, Campi ElectroMagnetici) che verranno prese in considerazione sono:

- campi elettrici e magnetici a frequenze estremamente basse (ELF), nel nostro caso, quelli a 50 Hz;
- radiofrequenze (RF), con frequenze fino a 3 GHz;
- microonde (MO), con frequenze da 3 GHz a 300 GHz.

Rispetto all'immissione nell'ambiente di radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti, un contributo sostanziale è da attribuire al progresso tecnologico e allo sviluppo industriale degli ultimi 50 anni, con l'uso sempre più diffuso di energia elettrica e la conseguente crescita della rete di distribuzione (elettrodotti) e con la realizzazione di impianti per la diffusione radiofonica e televisiva (impianti RTV) e di impianti per la telefonia mobile (Stazioni Radio Base, SRB). A tal proposito, vale la pena ricordare, come riportato nelle norme tecniche di settore (CEI 211-6), che "in alcune parti dello spettro di frequenza, quali quelle utilizzate per la distribuzione dell'energia elettrica e per la radiodiffusione, i campi elettromagnetici prodotti dall'uomo sono molte migliaia di volte superiori a quelli naturali prodotti dal Sole o dalla Terra".

Gli elettrodotti, le sottostazioni elettriche e le cabine di trasformazione producono radiazioni elettromagnetiche ELF, principalmente alla frequenza di rete di 50 Hz. Gli impianti RTV operano, e quindi producono, radiazioni

elettromagnetiche RF nell'intervallo di frequenza che va da 9 kHz a 800 MHz. La telefonia mobile opera invece con diverse soluzioni tecnologiche in ben precisi intervalli di frequenza assegnati a ciascun gestore dal Ministero dello Sviluppo Economico: tali frequenze vanno dagli 800 MHz fino ai 2700 MHz.

Negli ultimi decenni i possibili effetti nocivi sulla salute umana dell'esposizione ai campi elettromagnetici hanno costituito un'importante area di ricerca; gli studi condotti finora hanno trovato però poche evidenze di effetti sulla fauna e sulla vegetazione da parte dei CEM.

Nonostante questo, da anni l'Unione Europea, in base al principio di precauzione, incentra la propria azione sulla protezione dei cittadini dai possibili rischi causati dall'esposizione ai CEM.

Nel giugno 2001, un gruppo di lavoro della IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro, che fa parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità), formato da scienziati esperti nel settore, ha esaminato gli studi relativi alla cancerogenicità di campi elettrici e magnetici statici ed ELF. Usando la classificazione standardizzata della IARC, che prevede 4 gruppi distinti e che soppesa i dati di studi sull'uomo, sull'animale e di laboratorio, i campi magnetici ELF sono stati classificati come "possibilmente cancerogeni per l'uomo" (gruppo 2B), sulla base degli studi epidemiologici relativi alla leucemia infantile. Le evidenze scientifiche relative a tutti gli altri tipi di tumori nei bambini e negli adulti, nonché quelle relative ad altri

tipi di esposizione (cioè a campi statici ed a campi elettrici ELF) sono stati considerati non classificabili, perché le informazioni scientifiche erano insufficienti o incoerenti.

“Possibilmente cancerogeno per l'uomo” è una classificazione usata per connotare un agente per il quale vi sia una limitata evidenza di cancerogenicità nell'uomo e un'evidenza meno che sufficiente negli animali da laboratorio. Ad oggi sono stati classificati in questo gruppo 290 agenti, tra cui il caffè, i gas di scarico dei motori a benzina, i fumi di saldatura, le verdure in salamoia, i liquidi per la pulitura a secco.

Successivamente, nel 2011 un nuovo gruppo IARC costituito da 31 esperti di 14 Paesi si è riunito per valutare la cancerogenicità dei campi elettromagnetici RF (da 30 kHz a 300 GHz) e a due anni di distanza è stata pubblicata la monografia n. 102, che riporta la classificazione dei campi elettromagnetici a radiofrequenza come “possibili cancerogeni per l'uomo”, e quindi anch'essi inseriti nel gruppo 2B.

L'esposizione umana ai campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza preso in esame dal gruppo IARC è essenzialmente dovuta all'uso di dispositivi di comunicazione personali (come ad esempio telefoni cellulari, cordless, Bluetooth e apparecchi per radioamatori...), da sorgenti industriali sul luogo di lavoro (es. riscaldatori dielettrici ad alta frequenza e a induzione, utilizzati per esempio nell'incollaggio delle plastiche) e da sorgenti in ambiente esterno (come ad esempio le Stazioni Radio Base, i ripetitori radio televisivi e gli apparati per applicazioni medicali). Per quanto riguarda l'esposizione della popolazione (e quindi tralasciando i lavoratori esposti in base a particolari tipologie di lavoro e/o macchinari), è da sottolineare che la classificazione è stata effettuata sulla base di una correlazione fra esposizione a RF da telefoni senza fili e aumento di insorgenza di glioma e di neurinoma acustico.

A livello europeo, è in vigore la Raccomandazione

1999/519/EC, relativa alla “limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz”, che raccomanda agli stati membri di adottare un quadro di limiti fondamentali e di livelli di riferimento in linea con quanto riportato nell'allegato I.B della Raccomandazione stessa. La Direttiva 2013/35/EU stabilisce invece le prescrizioni minime di sicurezza e di salute per la protezione dei lavoratori dai rischi connessi all'esposizione a campi elettromagnetici.

A livello nazionale, la legge quadro n. 36 del 22 febbraio 2001, “sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”, introduce la definizione di:

- “limite di esposizione”: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in nessuna condizione di esposizione;
- “valore di attenzione”: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate; esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine;
- “obiettivi di qualità”: sono sia criteri localizzativi, standard urbanistici e prescrizioni o incentivazioni per l'uso delle migliori tecnologie disponibili, sia i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico definiti dallo Stato ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi medesimi.

Queste definizioni si sono concretizzate nel 2003, con la pubblicazione di due D.P.C.M. - 8 luglio 2003, uno relativo alle frequenze di rete (50 Hz) pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 200 del 29 agosto 2003 e uno relativo all'intervallo di frequenze da 100 kHz a 300 GHz, pubblicato in G.U. n.199 del 28 agosto 2003. Nella tabella 10.1 si riportano i limiti di riferimento.

Tabella 10.1: limiti di esposizione, valori di attenzione, obiettivi di qualità

	limite di esposizione	valore di attenzione	obiettivo di qualità
D.P.C.M. 8 luglio 2003, G.U. n. 199: campi elettromagnetici a radiofrequenza (100 kHz - 300 GHz) [V/m]	20 <sup>1</sup>	6	6
Raccomandazione 1999/519/EC [V/m]	da 50 a 61 <sup>2</sup>	-	-
D.P.C.M. 8 luglio 2003, G.U. n. 200: campi elettrici a frequenza di rete (50 Hz) [V/m]	5000	-	-
Raccomandazione 1999/519/EC [V/m]	5000	-	-
D.P.C.M. 8 luglio 2003, G.U. n. 200: campo di induzione magnetica a frequenza di rete (50 Hz) [μT]	100	10	3
Raccomandazione 1999/519/EC [μT]	100	-	-

Fonte: G.U. n.199 del 28 agosto 2003

<sup>1</sup> per le frequenze riservate alla telefonia mobile, alle trasmissioni radio e tv.

<sup>2</sup> la Raccomandazione prevede valori che variano al variare delle frequenze

Il controllo ambientale del rispetto di tali limiti è un complesso sistema di attività, di responsabilità e di funzioni che, per essere svolto al meglio, richiede la collaborazione e l'integrazione di personale con diverse e specifiche competenze.

La normativa di settore a livello provinciale attribuisce:

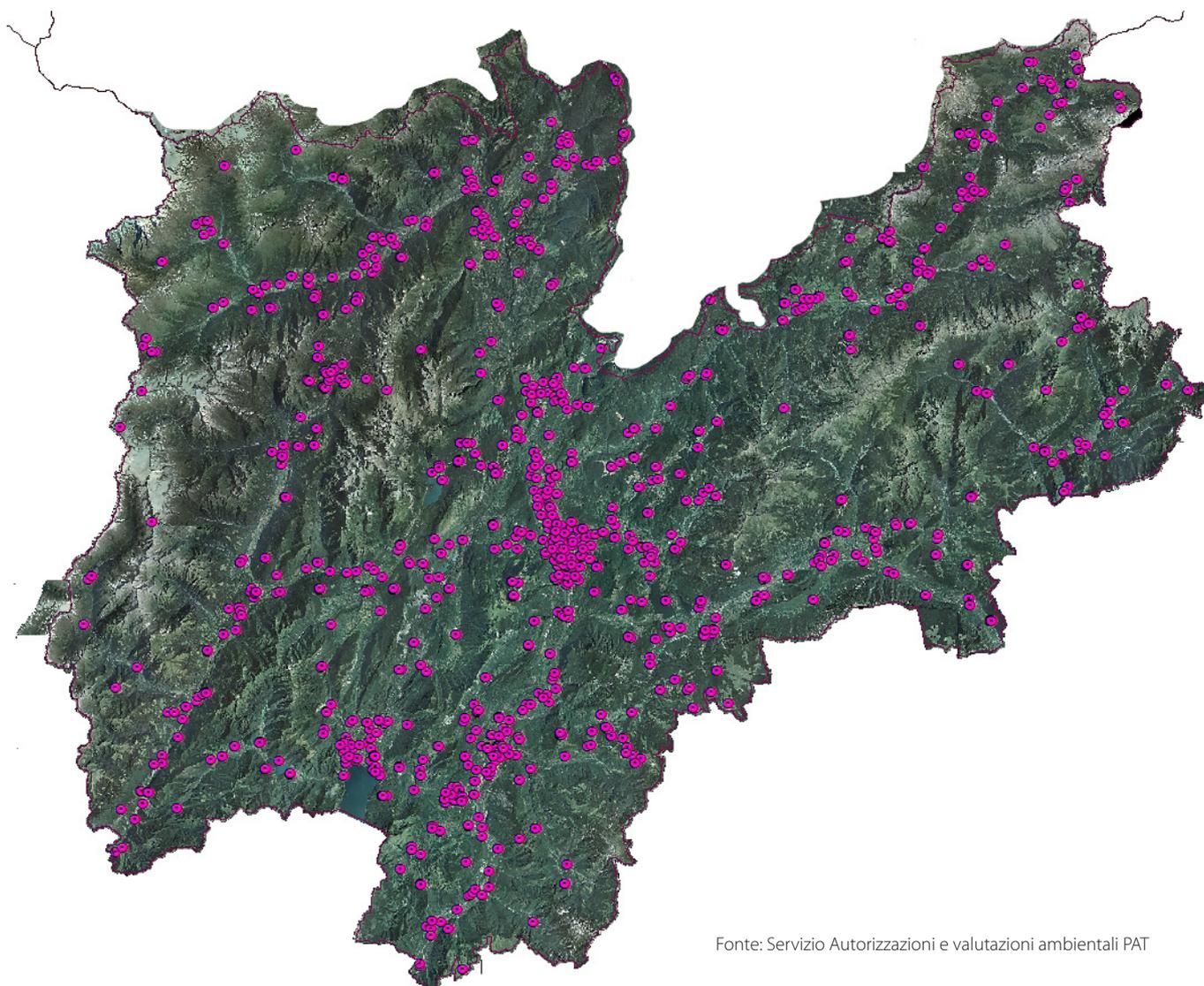
- il controllo sulle emissioni generate dagli impianti esistenti all'Agenzia Provinciale Protezione Ambiente (APPA);
- la valutazione preventiva delle emissioni prodotte da nuovi impianti e l'eventuale successiva autorizzazione alla realizzazione al Servizio Autorizzazioni e Valutazioni Ambientali (SAVA).

In provincia di Trento la realizzazione e la modifica

d'impianti fissi di telecomunicazione e radiodiffusione sonora e televisiva è disciplinata dal D.P.P. 20 dicembre 2012, n. 25-100/Leg "Disposizioni regolamentari concernenti la protezione dall'esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz ". L'autorizzazione è attualmente rilasciata dal SAVA, a seguito dell'acquisizione dei necessari pareri e valutazioni tecniche nell'ambito di una Conferenza di Servizi. In particolare, in sede di Conferenza vengono valutati: il rispetto dei limiti di campo elettromagnetico stabiliti dalla normativa nazionale, gli aspetti di carattere paesaggistico/ambientale e la compatibilità con la rete provinciale di emergenza. Il SAVA si occupa inoltre di mantenere costantemente aggiornato il catasto provinciale delle sorgenti elettromagnetiche.

### 10.1.1 Stazioni Radio Base (SRB)

Figura 10.2: distribuzione delle Stazioni Radio Base sul territorio provinciale



Fonte: Servizio Autorizzazioni e valutazioni ambientali PAT

La telefonia cellulare utilizza onde radio a frequenza compresa fra gli 800 MHz e i 2700 MHz e impiega una rete di impianti basata sulla suddivisione del territorio in porzioni di dimensioni limitate, denominate celle.

Una Stazione Radio Base ha il compito di "comunicare" con i singoli utenti che si trovano all'interno di una determinata area del territorio.

In particolare, il sistema TACS<sup>3</sup>, analogico, ha rappresentato la prima generazione di telefonia cellulare diffusasi all'inizio degli anni Ottanta e non più attiva dal 1 gennaio 2006, seguito dai sistemi digitali GSM<sup>4</sup> (seconda generazione, a partire dagli anni '90) e UMTS<sup>5</sup> (terza generazione, intorno all'anno 2000).

Il sistema GSM opera attualmente su due diverse bande di frequenza, a 900 MHz e 1800 MHz (dette rispettivamente GSM 900 e DCS 1800), mentre il sistema UMTS, inizialmente autorizzato sulla sola banda di frequenza a 2100 MHz, opera dal 2011 su tre diverse bande: a 900 MHz, 1800 MHz e 2100 MHz.

Infine, a partire dal 1 gennaio 2013 sono stati attivati gli impianti di quarta generazione, basati sulla tecnologia LTE, che trasmette su tre diverse bande, assegnate dal Ministero dello Sviluppo Economico ai quattro gestori di telefonia mobile: 800 MHz (occupando una banda che, fino al passaggio al digitale terrestre, era assegnata ad emittenti televisive), 1800 MHz e 2600 MHz.

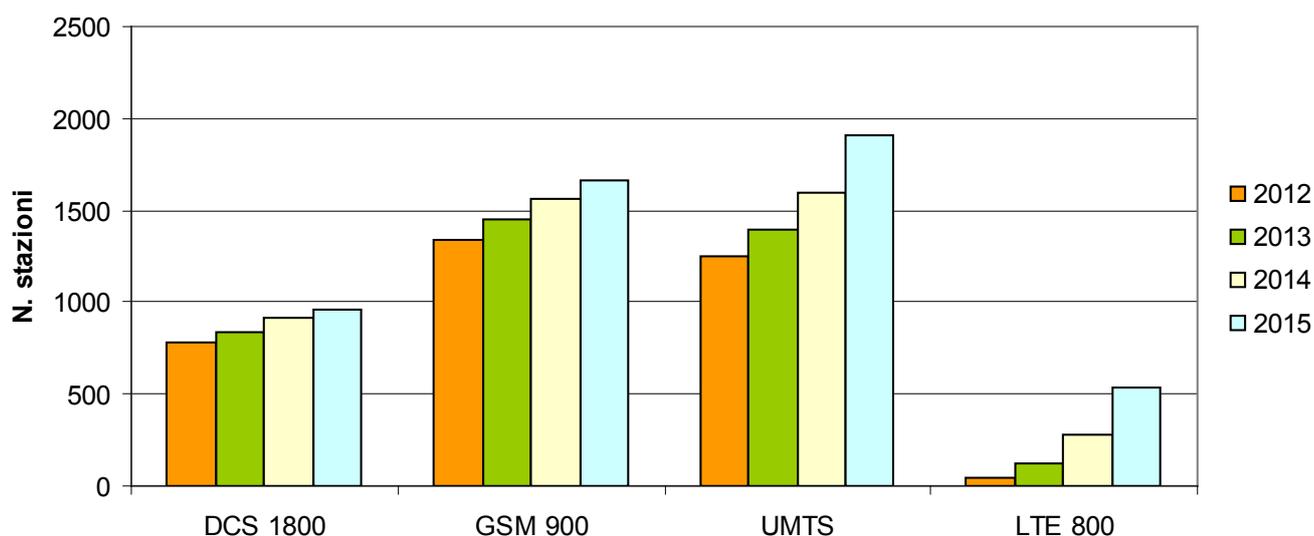
Gli impianti di collegamento, o ponti radio, collegano tra loro due punti distanti e visibili tra loro, senza ostacoli interposti. Tali impianti non determinano impatti significativi dal punto di vista dell'esposizione della popolazione in quanto l'energia del segnale è concentrata lungo la linea immaginaria che collega i due ponti radio, a differenza di quanto avviene per i sistemi di comunicazione diffusivi, quali la telefonia e gli impianti radio e televisivi, dove il segnale è distribuito su una data area di copertura.

Le frequenze maggiormente impiegate per i ponti radio sono dell'ordine dei GHz o decine di GHz.

A causa del forte sviluppo delle telecomunicazioni, la diffusione di SRB, soprattutto in ambiente urbano, è diventata sempre più capillare, sia per far fronte ad un numero di utenti sempre crescente, sia per garantire servizi aggiuntivi a quello iniziale di telefonia, come ad esempio l'accesso ad internet.

Per quanto riguarda le SRB (stazioni radio base) presenti sul territorio provinciale, ad esclusione dei ponti radio, il numero di autorizzazioni complessivamente rilasciate fino al 2015 è pari a 7.945, mentre gli impianti attivi, considerando tutti i gestori di telefonia, sono 1.117. Nel grafico 10.1 si mette in evidenza l'andamento del numero di stazioni radio base autorizzate e suddivise per tipologia nell'arco temporale 2012-2015.

Grafico 10.1: andamento del numero di stazioni radio base autorizzate suddivise per tipologia (2012 - 2015)



Fonte: Servizio Autorizzazioni e valutazioni ambientali PAT

<sup>3</sup> Total Access Communication System (TACS), "sistema di comunicazione ad accesso totale". Sistema di telefonia cellulare di prima generazione antecedente il GSM.

<sup>4</sup> Global System for Mobile Communications (GSM).

<sup>5</sup> Universal Mobile Telecommunications System (UMTS).

INDICATORE	TEMATICA	TIPOLOGIA	DISPONIBILITÀ	SITUAZIONE	TREND	DISPONIBILITÀ SPAZIALE	DISPONIBILITÀ TEMPORALE
10.1 Presenza di stazioni radiobase (SRB)	Radiazioni	P	D	☹️	↘	P	2012-2015

## 10.1.2 Impianti Radio Televisivi

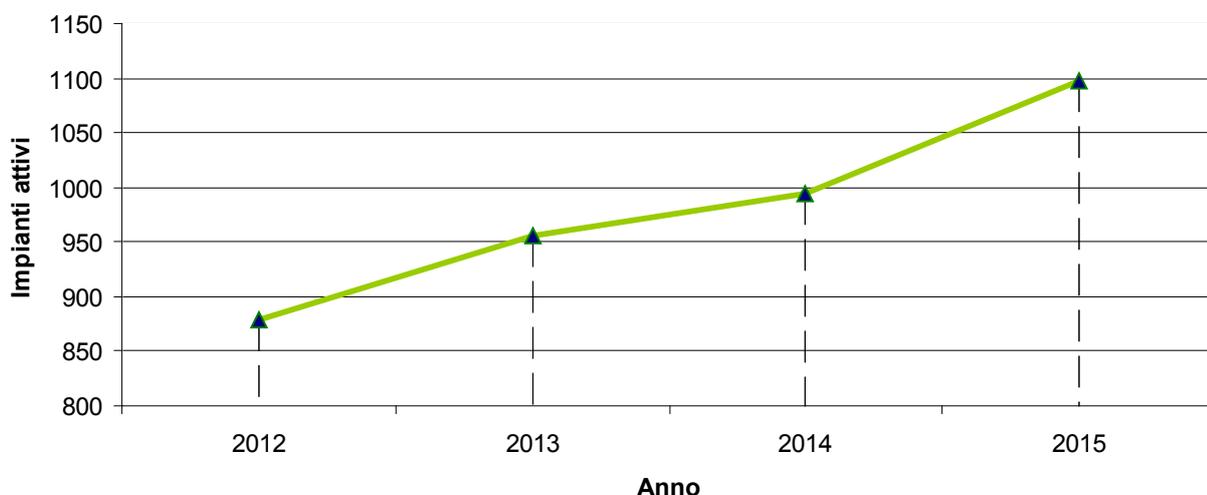
Le onde elettromagnetiche trasmesse dagli impianti per diffusione radiofonica e televisiva hanno frequenze comprese tra 100 kHz e 800 MHz.

modo si garantisce la trasmissione delle onde radio su aree mediamente estese, per soddisfare bacini di utenza anche di più province.

Gli impianti RTV, a differenza delle SRB, sono per lo più ubicati in punti elevati del territorio (sommità collinari, crinali di montagne) e al di fuori dei centri abitati; in tal

A fine 2015, si veda il grafico 10.2, il numero di impianti radiotelevisivi attivi risulta pari a 1.097 con un incremento del 20% rispetto al 2012.

Grafico 10.2: variazione del numero di impianti radiotelevisivi attivi presenti sul territorio provinciale (2012-15)



Fonte: Servizio Autorizzazioni e valutazioni ambientali PAT

INDICATORE	TEMATICA	TIPOLOGIA	DISPONIBILITÀ	SITUAZIONE	TREND	DISPONIBILITÀ SPAZIALE	DISPONIBILITÀ TEMPORALE
10.2 Presenza di impianti radiotelevisivi	Radiazioni	P	D	☹️	↘	P	2012-2015

### 10.1.3 Le reti di distribuzione dell'energia elettrica

La lunghezza della rete di distribuzione provinciale dell'energia elettrica in bassa e media tensione misura complessivamente circa 10.600 km, cui si aggiunge la lunghezza della rete nazionale di trasmissione in alta tensione: circa 620 km a 132 kV e circa 480 km a 220kV (vd. Figura 10.3).

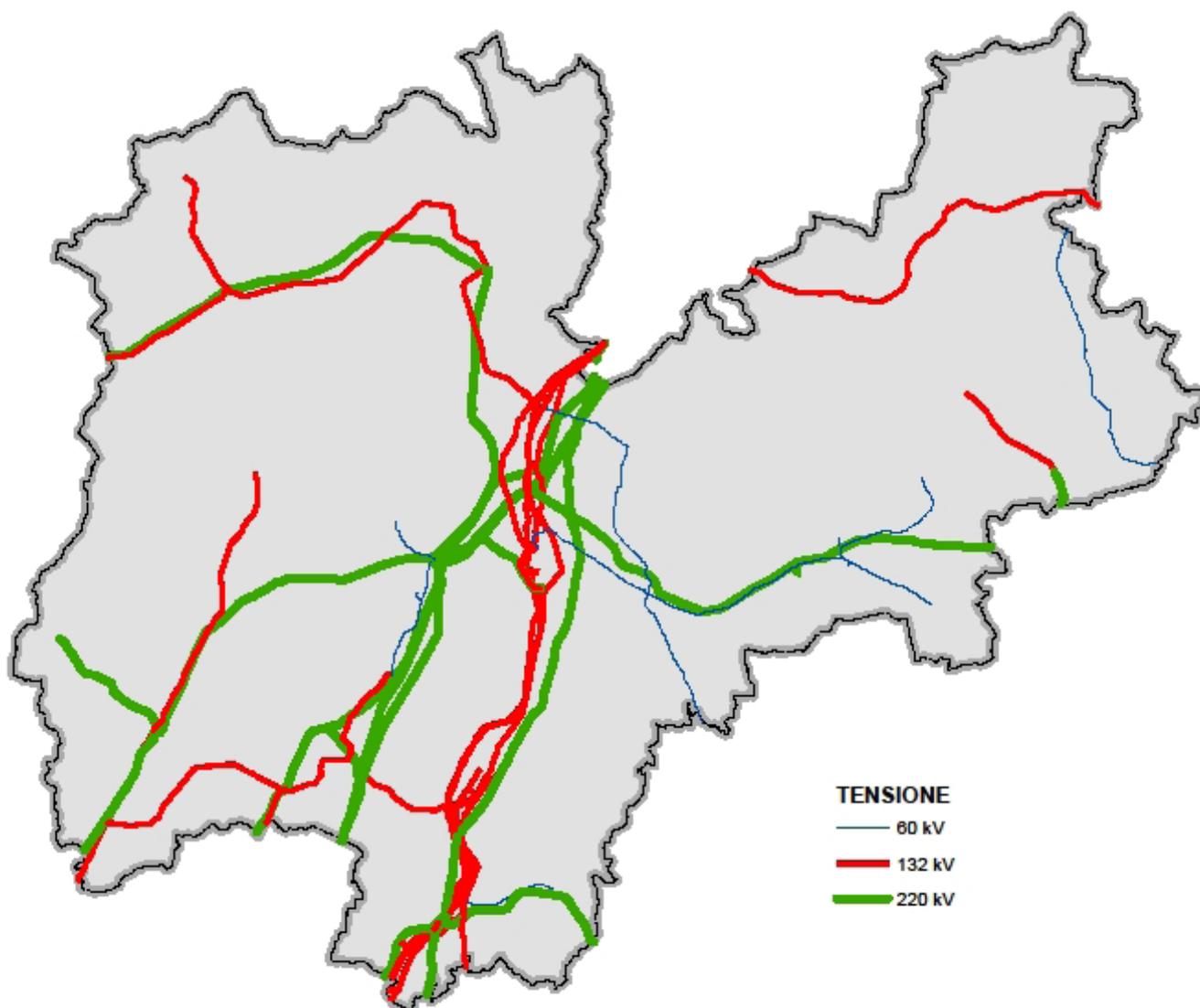
Il legislatore ha predisposto uno strumento semplificato per la valutazione del rispetto dell'obiettivo di qualità (vd. Tabella 10.1) denominato Distanza di Prima Approssimazione (DPA). Questa definisce una "striscia" che segue il tracciato dell'elettrodotto, al di fuori della quale è rispettato l'obiettivo di qualità. Le aree così individuate, sovrapposte alla cartografia tecnica, forniscono uno strumento urbanistico utile a comprendere il possibile

interessamento di aree abitative o intensamente frequentate a valori di esposizione da induzione magnetica potenzialmente critici. Le DPA possono essere richieste al Comune attraversato dal tratto di linea dell'elettrodotto d'interesse.

Si precisa che, all'interno delle DPA, è identificato un volume tridimensionale, denominato fascia di rispetto, entro il quale sono racchiusi i valori di induzione magnetica che superano l'obiettivo di qualità. Quindi, ad esempio, se un'abitazione ricade all'interno della DPA, ma non rientra nella fascia di rispetto, l'obiettivo di qualità è comunque rispettato.

Oltre a questi calcoli previsionali, il rispetto dei limiti è comunque verificato anche mediante delle misure puntuali sul territorio.

Figura 10.3: distribuzione delle linee elettriche ad alta tensione (60kV, 132 kV e 220 kV) sul territorio provinciale (2010)



## 10.1.4 Monitoraggio dei livelli di campo elettromagnetico

I livelli di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico presenti sull'intero territorio provinciale sono monitorati dal personale tecnico dell'APPA.

Tali controlli, che vengono svolti sia per sorgenti ELF (elettrodotti) che per sorgenti RF (impianti per la telefonia mobile o radiotelevisivi), si traducono in campagne di misura più o meno estese, che generalmente prevedono le seguenti fasi:

- a individuazione della o delle sorgenti di interesse; in questa fase possono essere prese in considerazione sia valutazioni tecniche sulla base dei dati di potenza autorizzata (individuando quindi le situazioni "potenzialmente critiche") sia richieste da parte di amministrazioni locali o comitati;
- b quando possibile, simulazione dei valori di campo attesi e individuazione dei punti più esposti;
- c sopralluogo per una valutazione preliminare della situazione reale e per l'individuazione dei possibili punti di misura;
- d con il supporto della polizia locale, avvio della fase di richiesta della disponibilità, da parte dei residenti, per l'accesso alle abitazioni individuate nella fase precedente;
- e avvio delle misurazioni strumentali: installazione di una centralina di monitoraggio in continuo che rimane sul territorio per alcune settimane, durante le quali vengono eseguite le misure puntuali (della durata di 24 ore) nei pressi delle abitazioni i cui residenti si sono resi disponibili;
- f stesura di una relazione finale con la discussione degli esiti della campagna di misura.

Gli accertamenti possono anche essere attivati su richiesta di privati; in questi casi, l'intervento è però a pagamento.



## 10.2 LE RADIAZIONI IONIZZANTI – IL GAS RADON

Il radon è un gas radioattivo appartenente alla catena di decadimento<sup>7</sup> dell'Uranio-238; questo è un elemento molto comune della crosta terrestre, con una concentrazione media di circa 4 ppm (parti per milione), anche se può variare considerevolmente in relazione alle caratteristiche geologiche del terreno. Ne sono ricche le rocce vulcaniche, quali tufi, graniti e porfidi.

I primi cinque figli dell'Uranio-238 sono chimicamente reattivi e tendono quindi a fissarsi nel materiale contenente l'Uranio stesso; non creano quindi grossi problemi di

radioprotezione, restando confinati nel materiale.

Diverso invece è il caso del Radon-222 (d'ora in poi, radon), il sesto elemento della catena.

Il radon è un gas inodore, incolore, insapore e praticamente inerte; chimicamente, è un cosiddetto "gas nobile": come tale, non crea legami chimici e può quindi facilmente migrare dal materiale che lo ha generato ed esalare dal suolo e dalle rocce, mescolarsi con l'aria o l'acqua presenti nel terreno e raggiungere l'atmosfera, dove viene diluito; la sua concentrazione in atmosfera è quindi molto bassa,

<sup>7</sup> La maggior parte degli elementi (nuclei) radioattivi non decade (cioè si "trasforma") direttamente in un elemento (nucleo) stabile, ma passa piuttosto attraverso una serie di decadimenti (e quindi elementi) successivi; una catena di decadimento descrive appunto questa serie di decadimenti successivi, ovvero dal nucleo "padre" al nucleo "figlio", che a sua volta diventerà "padre" per l'elemento successivo della catena e così via, fino al raggiungimento del nucleo stabile (non più radioattivo e quindi non più soggetto a decadimento) con il quale la catena ha termine.

con un valore<sup>8</sup> che si aggira, in media, attorno a 10 Bq/m<sup>3</sup>. Molto diversa è la situazione che si può creare all'interno di locali chiusi (situazione cui si fa riferimento con il termine "radon indoor"), dove il radon tende ad accumularsi e si possono raggiungere valori superiori alle migliaia di Bq/m<sup>3</sup>.

Non è possibile realizzare edifici totalmente schermati al radon, ma è possibile, e spesso con costi molto ridotti, progettare edifici con caratteristiche tali da minimizzare l'ingresso del radon o effettuare, in maniera relativamente semplice, il monitoraggio della presenza di radon in edifici già esistenti al fine di pianificare, se fosse necessario, eventuali interventi di risanamento.

In un ambiente di vita, la concentrazione di radon può essere ricondotta in prima approssimazione a due fattori principali:

- esalazione dal suolo (e ingresso nel locale): questo contributo è legato sia alle caratteristiche geologiche del suolo che alle condizioni atmosferiche, rendendo quindi molto complessa la previsione della concentrazione di radon indoor; ad esempio, per una stessa abitazione si riscontra che i valori misurati in inverno sono generalmente maggiori di quelli misurati in estate;

### 10.2.1 Radon e salute

L'Organizzazione Mondiale della Sanità, attraverso l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC), ha classificato il radon nel Gruppo 1, in cui sono elencate le sostanze (n.118 al 2016) per le quali vi è un'evidenza sufficiente di cancerogenicità sulla base di studi epidemiologici sugli esseri umani. Sono stati classificati in questo gruppo, ad esempio, il fumo di sigaretta, le bevande alcoliche, l'amianto, i fumi di scarico dei motori diesel, il particolato atmosferico.

Sono stati studiati a lungo i possibili effetti sanitari dell'esposizione al radon, e oggi possiamo dire che tale esposizione è correlata all'aumento di rischio di contrarre un tumore polmonare. Secondo i dati riportati in un documento EPA (l'Agenzia per la protezione dell'ambiente americana), se 1000 persone che non hanno mai fumato fossero esposte continuamente a una concentrazione di attività di radon pari a circa 300 Bq/m<sup>3</sup>, 15 contrarrebbero un tumore ai polmoni: sarebbero cioè esposte a un rischio che corrisponde a 4 volte il rischio di morire per una caduta. Se quelle 1000 persone fossero invece dei fumatori, da 15 si passerebbe a 120!



Strumento per il monitoraggio in continuo della concentrazione di attività di radon.

- materiali da costruzione: i materiali impiegati in edilizia possono contenere Radio-226 (il padre del radon) e quindi essere essi stessi una sorgente di radon.

Da sottolineare comunque che le caratteristiche del singolo edificio, la tipologia costruttiva e le abitudini di utilizzo dello stesso, hanno un'influenza molto significativa sulla concentrazione di radon al suo interno. Capita spesso che edifici vicini tra loro possano avere concentrazioni di radon molto diverse.

L'interazione degli effetti del radon col fumo è infatti molto elevata: si stima che il rischio di contrarre un tumore polmonare causato dall'esposizione al radon sia 25 volte più alto per chi fuma un pacchetto al giorno di sigarette rispetto a chi non ha mai fumato.

La maggior parte del radon che viene inalato è espirata quasi totalmente prima che esso decada, mentre i prodotti di decadimento inalati, in gran parte attaccati al particolato sempre presente in aria, si depositano sulle pareti dell'apparato respiratorio e da qui irradiano (soprattutto tramite particelle alfa<sup>9</sup>) le cellule dei bronchi. Queste radiazioni in alcuni casi producono dei danni al DNA di tali cellule, danni che, se non correttamente riparati da appositi meccanismi cellulari, possono evolversi in un tumore al polmone.

Si può quindi affermare che il radon agisce come un "trasportatore" dei suoi prodotti di decadimento, i quali sono i principali responsabili del danno biologico. Per brevità, si usa spesso parlare di "rischio radon", intendendo con questo il rischio connesso all'esposizione ai suoi prodotti di decadimento.

<sup>8</sup> I valori di concentrazione di attività di radon vengono espressi in Bq/m<sup>3</sup> (Bequerel al metro cubo): 1 Bq/m<sup>3</sup> indica che in un metro cubo di aria si ha un decadimento di un atomo di radon ogni secondo.

<sup>9</sup> Le particelle alfa sono radiazioni ionizzanti di tipo corpuscolare caratterizzate da un alto potere ionizzante (possono cioè creare notevoli danni a livello cellulare) e una bassa capacità di penetrazione (possono ad esempio essere fermate da un foglio di carta); sono costituite da un nucleo di Elio-4, ossia due protoni e due neutroni.

Il numero di casi di tumore al polmone attribuibili all'esposizione al radon in Italia è stato valutato dall'ISS sulla base dei più recenti studi epidemiologici, dei dati di concentrazione di radon rappresentativi dell'esposizione della popolazione italiana nelle abitazioni e della mortalità per tumore polmonare. Una prima stima, effettuata nel 2010, dei decessi per tumore polmonare attribuibili al radon in Italia si aggira attorno ai 3.200 casi ogni anno.

In termini percentuali ciò rappresenta circa il 10% di tutti i decessi per tumore polmonare in Italia. Questa percentuale varia, a seconda della Regione, dal 4% al 16%, in relazione ai livelli medi di concentrazione di radon.

La gran parte di questi casi è previsto coinvolga i fumatori (e in misura minore gli ex-fumatori) a causa dell'effetto moltiplicativo di radon e consumo di tabacco.

## 10.2.2 La normativa di riferimento

La Comunità Europea ha recentemente rivisto la sua posizione in merito alla protezione della popolazione dall'esposizione al radon, emanando la Direttiva 2013/59/Euratom del 5 dicembre 2013.

Tale Direttiva riguarda la protezione della popolazione dai pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti in generale, e per quanto riguarda nello specifico il radon fissa un limite, applicabile a tutti i "luoghi chiusi", pari a 300 Bq/m<sup>3</sup>, inteso come valore medio annuale.

L'Italia non ha ancora recepito la Direttiva, ma dovrà farlo entro il 6 febbraio 2018. Attualmente, in Italia

esiste un limite per la concentrazione di attività di radon unicamente per luoghi di lavoro sotterranei o con caratteristiche determinate, come riportato dal Capo III-Bis del D.Lgs. 230/95 e ss. mm. ii., il quale disciplina le radiazioni ionizzanti in generale.

Tale limite è fissato in 500 Bq/m<sup>3</sup>, inteso come valore medio annuale. Se si supera, per i luoghi di lavoro indicati, tale limite, vanno poste in essere opportune azioni di rimedio, nei tempi e nei modi previsti dagli articoli 10-ter e 10-quinquies del Decreto.

## 10.2.3 I livelli di concentrazione di radon all'interno degli edifici in Trentino

Il "problema radon indoor" ha preso corpo al termine degli anni Ottanta e in Trentino si è risposto implementando una serie di campagne di misura rivolte in un primo momento alle scuole elementari, e successivamente estese anche agli altri edifici scolastici.

In totale, sono state effettuate 1.161 misure, registrando

sul totale un valore minimo di 9 Bq/m<sup>3</sup>, un valore massimo di 2.375 Bq/m<sup>3</sup> e un valore medio di 135 Bq/m<sup>3</sup>. A titolo indicativo, il 7.6% delle misure avrebbe superato il limite di 300 Bq/m<sup>3</sup> previsto dalla Direttiva europea. In tabella 10.2 sono riportati alcuni parametri<sup>10</sup> statistici relativi alle campagne condotte nelle scuole (dal 1993 al 2007).

Tabella 10.2: alcuni parametri statistici riferiti alle campagne di misura condotte nelle scuole dal 1993 al 2007

tipo scuola	numero misure	conc. minima	conc. massima	conc. media	% di misure maggiori di 300 Bq/m <sup>3</sup>
asilo nido	325	9	1.402	136	8.3
scuola materna	68	27	887	154	6.3
scuola elementare	526	21	2.374	138	11.8
scuola media	104	15	1.279	111	5.7
scuola superiore	138	9	2.010	134	10.1
<b>TOTALE</b>	<b>1.161</b>				

Fonte: Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente

<sup>10</sup> I valori di concentrazione sono espressi in Bq/m<sup>3</sup>.

I risultati ottenuti da queste campagne di misura hanno inoltre evidenziato come il radon provenga principalmente dal terreno sottostante l'edificio e come il contributo dei materiali da costruzione risulti molto basso; come ci si aspetta, la concentrazione di attività di radon tende a diminuire all'aumentare del piano di esposizione (cfr. tabella 10.3).

Tabella 10.3: valori di concentrazione di attività di radon (in Bq/m<sup>3</sup>) misurati nelle scuole al variare del piano di esposizione

piano di esposizione	numero di misure	concentrazione media	% di misure maggiori di 300 Bq/m <sup>3</sup>
interrato	73	157	8.2
seminterrato	152	188	13.9
terra	410	143	9.5
rialzato	150	123	7.3
primo	288	109	3.4
secondo	87	100	1.1
oltre il secondo	1	30	0.0

Fonte: Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente

Negli anni successivi si è allargato il monitoraggio alle abitazioni e ad altre tipologie di edifici pubblici; si sono attivate inoltre "azioni di rimedio" per quegli edifici sia scolastici che pubblici che presentavano valori di concentrazione di attività di radon superiori ai livelli prescritti dalla normativa.

In tutte le campagne di misura è risultata fondamentale la proficua collaborazione dei Comuni, del personale scolastico e dei cittadini coinvolti.

Col tempo si sono anche affinate le tecniche strumentali di analisi, con nuovi dispositivi di misura (detti dosimetri) che permettono rilevazioni anche in tempi brevi, garantendo comunque valutazioni attendibili, anche se meno precise rispetto a quelle di durata annuale; queste valutazioni possono essere affiancate da misure in

continuo, molto utili in caso ad esempio di ristrutturazioni edilizie.

A queste campagne di misura estese, che hanno richiesto uno sforzo notevole sia dal punto di vista organizzativo che da quello delle risorse in campo, APPA affianca anche attività di misura su singola chiamata, sia da parte di privati (in questo caso la misura è a pagamento), in luoghi quali ad esempio ambienti di lavoro o abitazioni, sia da parte dell'ente pubblico, in edifici pubblici quali municipi, case di riposo, scuole, ospedali, ambulatori.

In tabella 10.4 si riportano alcuni parametri<sup>11</sup> statistici relativi alle misure su singola chiamata effettuate dal 2004 al 2016, limitatamente a quelle con durata annuale (492 misure su un totale di 671 effettuate).

Tabella 10.4: alcuni parametri statistici riferiti alle misure su singola chiamata effettuate dal 2004 al 2016; sono state considerate le sole misure con un periodo di esposizione annuale

tipo edificio	numero misure	conc. minima	conc. massima	conc. media	% di misure maggiori di 300 Bq/m <sup>3</sup>
residenziale	14	21	484	120	14.2
scolastico	158	13	1.279	158	8.2
lavorativo	320	6	1.360	172	10.6
<b>TOTALE</b>	<b>492</b>				

Fonte: Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente

<sup>11</sup> I valori di concentrazione sono espressi in Bq/m<sup>3</sup>.

Interessante notare come i dati della tabella precedente mostrino che la maggior parte delle misure su richiesta, siano state effettuate in luoghi di lavoro, unica tipologia di ambiente per il quale, attualmente, esiste in Italia un limite di legge per la concentrazione di attività di radon. Sembra quindi che la preoccupazione maggiore sia legata al rispetto della legge (che obbliga a questo tipo di misure) e non tanto alla propria salute; in realtà, molto probabilmente, l'esiguo numero di richieste di misure in abitazione è legato al fatto che il "problema radon indoor" è un problema non noto, ma che può avere importanti ricadute sanitarie. Anche per questo, nell'ambito di recepimento della Direttiva europea, si sta lavorando

sulla promozione di eventi formativi/informativi che coinvolgano tanto i singoli cittadini quanto gli addetti ai lavori (progettisti, tecnici, amministrazioni comunali, ecc.).

La misura di radon è una misura relativamente semplice e a basso costo, come lo sono, nella maggior parte dei casi, le azioni di rimedio che possono riportare la concentrazione di attività di radon a valori accettabili. Il "problema radon indoor" è un problema con dimostrati effetti sanitari, al contrario di altri "inquinanti" per i quali c'è molta più preoccupazione: può essere affrontato e risolto con strumenti piuttosto semplici, a partire da una corretta consapevolezza del problema.



I dosimetri completi (elettrete e camera di plastica conduttiva) come si presentano per le misure di radon indoor; a sinistra per misure brevi (qualche settimana), a destra per misure lunghe (fino a un anno).



Elettrete utilizzato per le misure di radon, è visibile il disco di Teflon caricato elettrostaticamente in grado di raccogliere gli ioni prodotti dal decadimento del radon e dei suoi figli.