



ANAS s.p.a.

Direzione Generale

DG 87/03

AUTOSTRADA SALERNO-REGGIO CALABRIA

LAVORI DI AMMODERNAMENTO ED ADEGUAMENTO AL TIPO 1A DELLE NORME CNR/80 DAL KM 423+300 (SVINCOLO DI SCILLA INCLUSO) AL KM 442+920

CODICE UNICO PROGETTO: F31 B05000070001



Reggio Calabria - Scilla societa' consortile per azioni

IMPREGILO - CONDOTTE

Handwritten signature

PROGETTO ESECUTIVO

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	31/01/07	SECONDA EMISSIONE	PROF. G. CELANI	PROF. D.C. FESTA	M.F. RUFFO
0	3/01/06	EMISSIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA ANAS	PROF. G. CELANI	PROF. D.C. FESTA	M.F. RUFFO

OGGETTO:

INTERVENTI DI MITIGAZIONE AMBIENTALE, RIPRISTINO E COMPENSAZIONE
MONITORAGGIO AMBIENTALE
Relazione specifica: radiazioni ionizzanti e non ionizzanti



LO411F PE XX GEC 000 00000000 000 AMB RE011 A

SCALA: -

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROGETTISTI

C. LOTTI & ASSOCIATI
SOCIETA' DI INGEGNERIA S.p.A. - ROMA

MANDATARIA

ESSE di Società di Ingegneria s.r.l. **S.T.E.** s.r.l. Structure and Transport Engineering

SINT Ingegneria s.r.l. **STONE** S.p.a.

INGEGNERI CONSULENTI

MANDANTI

Responsabile integrazione prestazioni specialistiche
Prof. Ing. F.M. La Camera

Il Geologo Dott. Guido Venturini

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Dott. Ing. Sergio Lagrotteria

Handwritten signature: Sergio Lagrotteria

Autostrada SALERNO-REGGIO CALABRIA

**LAVORI DI AMMODERNAMENTO ED ADEGUAMENTO
AL TIPO 1A DELLE NORME CNR/80
DAL KM 423+300 (SVINCOLO DI SCILLA INSCLUSO)
AL KM 442+920**

**INTERVENTI DI MITIGAZIONE AMBIENTALE, RIPRISTINO E COMPENSAZIONE
MONITORAGGIO AMBIENTALE**

Relazione specifica: radiazioni ionizzanti e non ionizzanti

SOMMARIO

1. <i>PREMESSA</i>	3
2. <i>RADIAZIONI IONIZZANTI</i>	3
2.1 <i>RADON</i>	4
3. <i>RADIAZIONI NON IONIZZANTI</i>	5
3.1 <i>I CAMPI E LE ONDE ELETTROMAGNETICHE</i>	5
3.2 <i>CAMPI ELETTROMAGNETICI E SALUTE</i>	7
4. <i>CRITERI DI MISURAZIONE</i>	8
4.1 <i>TECNICHE DI MISURAZIONE</i>	8
4.1.1 <i>LE MISURE DI CONTINUO</i>	9
4.2 <i>ATTREZZATURE DI MISURE DA UTILIZZARE O SIMILARI</i>	9
4.2.1 <i>RILEVATORI A TRACCIA</i>	10
4.2.2 <i>CANESTRI A CARBONE ATTIVO</i>	10
4.2.3 <i>CAMERETTE AD ELETTRETI</i>	11
5. <i>REQUISITI GENERALI PER LE MISURE ED ARTICOLAZIONE DEL PIANO DI MONITORAGGIO</i>	11
6. <i>INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DI MONITORAGGIO</i>	13

1. PREMESSA

I paragrafi che seguono trattano della componente ambientale radiazione ionizzanti e non ed in particolare di come verrà controllata per mezzo di una sequenza spaziale e temporale di operazioni e valutazioni regolamentate nel Piano di Monitoraggio Ambientale relativo al progetto di ammodernamento dell'Autostrada Salerno-Reggio Calabria (A3), tra il km 423.300 ed il km 442.920.

2. RADIAZIONI IONIZZANTI

Le radiazioni ionizzanti sono particelle e onde elettromagnetiche dotate di elevato contenuto energetico, in grado di rompere i legami atomici del corpo urtato e caricare elettricamente atomi e molecole neutri, con un uguale numero di protoni e di elettroni, ionizzandoli.

La capacità di ionizzare e di penetrare all'interno della materia dipende dall'energia e dal tipo di radiazione emessa, e dalla composizione e dallo spessore del materiale attraversato.

Le radiazioni alfa (2 protoni + 2 neutroni) possiedono un'elevata capacità ionizzante e una limitata capacità di diffusione in aria, possono essere bloccate con un foglio di carta o un guanto di gomma. Sono pericolose per l'organismo se si ingeriscono o inalano sostanze in grado di produrle.

Le radiazioni beta (elettroni) sono più penetranti rispetto a quelle alfa – circa un metro in aria e un cm sulla pelle – possono essere fermate da sottili spessori di metallo, come un foglio di alluminio, o da una tavoletta di legno di pochi centimetri.

Le radiazioni x e gamma (fotoni emessi per eccitazione all'interno del nucleo o all'interno dell'atomo) attraversano i tessuti a seconda della loro energia e richiedono per essere bloccate schermature spesse in ferro, piombo e calcestruzzo.

Il D.L.vo 230/95 e successive modifiche attua le direttive 89/618/EURATOM, 90/641/EURATOM, 92/3/EURATOM in materia di radiazioni ionizzanti. Nel decreto sono prese in considerazione anche le esposizioni della popolazione e dei lavoratori derivanti da sorgenti di origine naturale o da lavorazioni con materie non considerate radioattive, ma che contengono radionuclidi naturali che possono provocare un aumento significativo dell'esposizione. Il D.L.vo 230/95 tratta, nel capo III-bis, le esposizioni da attività lavorative con particolari sorgenti naturali di radiazioni. In particolare, nell'art. 10-bis sono considerate le "attività lavorative durante le quali i lavoratori ed eventualmente persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in particolari luoghi di lavoro quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte, e comunque in tutti i luoghi di lavoro sotterranei". Nei luoghi di lavoro che ricadono nel citato campo di applicazione, devono essere effettuate misurazioni della concentrazione di attività di radon entro 24 mesi dall'inizio della fase di esercizio dell'opera.

Alla luce di quanto sopra, entro 24 mesi dall'inizio della fase di esercizio dell'opera, dovranno essere effettuate, per garantire, tra l'altro, il rispetto della normativa vigente, misurazioni in merito alla concentrazione di attività di radon media in un anno nelle gallerie e, comunque, negli ambienti sotterranei.

2.1. IL RADON

Il radon è un gas radioattivo naturale, incolore e inodore, prodotto dal decadimento radioattivo del radio, generato a sua volta dal decadimento dell'uranio elementi che sono presenti, in quantità variabile, nella crosta terrestre.

La principale fonte di immissione di radon nell'ambiente è il suolo, insieme ad alcuni materiali di costruzione e, in qualche caso, all'acqua. Il radon fuoriesce dal terreno, dai materiali da costruzione e dall'acqua disperdendosi nell'atmosfera, ma accumulandosi negli ambienti chiusi. Il radon è pericoloso per inalazione ed è considerato la seconda causa di tumore polmonare dopo il fumo di sigaretta (più propriamente sono i prodotti di decadimento del radon che determinano il rischio sanitario). Il rischio di contrarre il tumore aumenta in proporzione all'esposizione al gas. È possibile proteggersi dal Radon stabilendo in che modo e in che quantità si è esposti all'inquinante.

Il valore medio regionale di radon presente nelle abitazioni non è elevato, tuttavia, secondo un'indagine conclusasi nel 2000, alcune aree risultano più a rischio per motivi geologici, climatici, architettonici, ecc. Gli ambienti a piano terra, ad esempio, sono particolarmente esposti perchè a contatto con il terreno. La delibera regionale - n. 79 del 18/01/2002 - fissa in 200 Bq/m³ il livello di riferimento di radon nelle abitazioni e, recependo i risultati della suddetta indagine, individua preliminarmente i Comuni "ad alto potenziale di radon".

In chiave chimica il radon è un gas raro e come tale non reagisce con gli altri elementi chimici. Rispetto ad altri gas nobili il radon risulta essere più pesante con il più alto punto di fusione con la maggiore temperatura critica e con la più elevata pressione critica. Il radon è moderatamente solubile in acqua e quindi può essere assorbito da flussi idrici sotterranei che percolano attraverso suoli contenenti radon e veicolato anche a grandi distanze dal luogo di formazione. La solubilità del radon in acqua dipende dalla temperatura: minore è la temperatura dell'acqua maggiore sarà la sua solubilità. Un'altra importante caratteristica da sottolineare è che il radon risulta essere molto solubile nei solventi organici e si assorbe facilmente su carbone e su gel di silice. Il radon diffonde nell'atmosfera dal suolo ed a volte dall'acqua può disciogliersi. In spazi aperti è diluito dalle correnti d'aria e raggiunge solo basse concentrazioni. Viene generato continuamente da alcune rocce della crosta terrestre ed in modo particolare lave, tufi, pozzolane, alcuni graniti, ecc per la presenza in questi ultime di percentuali variabili dei progenitori del radon.

L'esposizione al radon comporta anche a piccole dosi una probabilità di contrarre tumore all'apparato respiratorio. Il polmone è l'organo più radiosensibile del torace. Il danno maggiore su questo organo è prodotto dalla irradiazione interna per inalazione di sostanze radioattive sotto forma di pulviscolo e vapori. La pericolosità del radon è conseguente alla circostanza che la maggiore parte unisce elettricamente alle particelle di polvere presenti nell'ambiente originando in tal modo un aerosol radioattivo chiamato frazione attaccata e solo una piccola parte rimane sotto forma di atomi liberi chiamata frazione non attaccata.

Particelle di aerosol aventi diametro inferiore al decimo di micron non sono fermate, durante la respirazione, dai peli delle narici e dal sistema mucociliare dell'apparato respiratorio, di conseguenza sono in grado di penetrare all'interno del corpo umano irraggiando soprattutto i tessuti del polmone.

Ai fini della stima della dose da radon sono stati messi a punto alcuni modelli metabolici dosimetrici dell'apparato respiratorio. Tali modelli evidenziano che la dose maggiore viene assorbita dai bronchi piuttosto che dagli alveoli polmonari e, pertanto, il rischio di insorgenza del tumore polmonare può essere considerato proporzionale alla dose bronchiale.

Per giungere a una migliore valutazione del livello di pericolosità del radon, è utile confrontare l'esposizione dell'uomo alla radioattività dovuta al radon con quella di diversa origine; in generale si può affermare che il radon costituisce la maggiore causa di esposizione alle radiazioni.

3. RADIAZIONI NON IONIZZANTI

Le radiazioni non ionizzanti sono forme di radiazioni elettromagnetiche - comunemente chiamate campi elettromagnetici - che, al contrario delle radiazioni ionizzanti, non possiedono l'energia sufficiente per modificare le componenti della materia e degli esseri viventi (atomi, molecole).

Le radiazioni non ionizzanti possono essere suddivise in:

- campi elettromagnetici a frequenze estremamente basse (ELF);
- radiofrequenze (RF);
- microonde (MO);
- infrarosso (IR);
- luce visibile.

L'umanità è sempre stata immersa in un fondo elettromagnetico naturale: il Sole, le stelle, alcuni fenomeni meteorologici come le scariche elettrostatiche, la terra stessa producono onde elettromagnetiche che generano campi magnetici. A questi campi elettromagnetici di origine naturale si sono sommati, con l'inizio dell'era industriale, quelli artificiali, strettamente connessi allo sviluppo scientifico e tecnologico. Tra questi ci sono i radar, gli elettrodotti, ma anche oggetti di uso quotidiano come apparecchi televisivi, forni a microonde e telefoni cellulari.

Negli ultimi anni sono aumentati gli interrogativi relativi ai possibili effetti sulla salute dell'inquinamento elettromagnetico o elettrosmog; perplessità e paure sicuramente alimentate dall'uso quotidiano che i mezzi di comunicazione di massa fanno di questi termini, molte volte senza che l'argomento venga affrontato con chiarezza e rigore scientifico.

3.1. I CAMPI E LE ONDE ELETTROMAGNETICHE.

I campi elettromagnetici (CEM) hanno origine dalle cariche elettriche e dal loro movimento (corrente elettrica). L'oscillazione delle cariche elettriche, ad esempio in un'antenna o in un conduttore percorso da corrente, produce campi elettrici e magnetici che si propagano nello spazio sotto forma di onde.

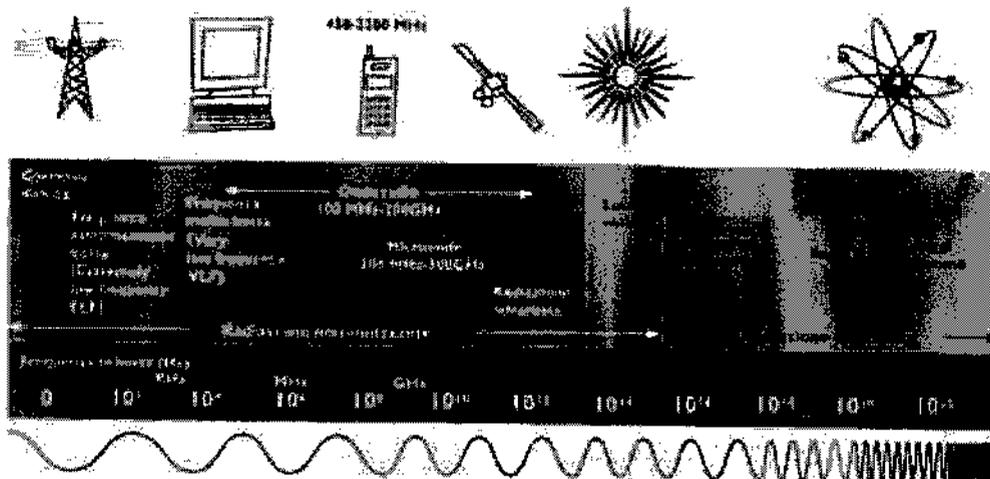
Le onde elettromagnetiche sono una forma di propagazione dell'energia nello spazio e, a differenza delle onde meccaniche, si possono propagare anche nel vuoto. Il campo elettrico (E) e il campo magnetico (H) oscillano perpendicolarmente alla direzione dell'onda. La velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche è di 300.000 Km/s (chilometri per secondo).

Ogni onda elettromagnetica è definita dalla sua frequenza, cioè il numero di oscillazioni compiute in un secondo, e si misura in cicli al secondo o Hertz (Hz); maggiore è la frequenza di un'onda, maggiore è l'energia che trasporta.

L'onda elettromagnetica è caratterizzata, inoltre, da altre tre grandezze fisiche:

- l'intensità del campo elettrico misurata in volt/metro (V/m);
- l'intensità del campo magnetico misurata in ampere/metro (A/m);
- l'intensità dell'energia trasportata misurata in Joule.

L'insieme di tutte le onde elettromagnetiche, classificate in base alla loro frequenza, costituisce lo spettro elettromagnetico (fig. seguente).



Lo spettro può essere diviso in due sezioni, a seconda che le onde siano dotate o meno di energia sufficiente a ionizzare gli atomi della materia con la quale interagiscono:

- radiazioni non ionizzanti (NIR = Non Ionizing Radiations), comprendono le radiazioni fino alla luce visibile;
- radiazioni ionizzanti (IR = Ionizing Radiations), coprono la parte dello spettro dalla luce ultravioletta ai raggi gamma.

L'inquinamento elettromagnetico o elettrosmog è prodotto da radiazioni non ionizzanti con frequenza inferiore a quella della luce infrarossa.

Le radiazioni non ionizzanti si dividono in radiazioni a bassa e alta frequenza. La classificazione si basa sulla diversa interazione che i due gruppi di onde hanno con gli organismi viventi e i diversi rischi che potrebbero causare alla salute umana.

La normativa nazionale e regionale inerente alla tutela della popolazione dagli effetti dei campi elettromagnetici, disciplina separatamente le basse frequenze (elettrodotti) e alte frequenze (impianti radiotelevisivi, ponti radio, Stazioni Radio Base per la telefonia mobile ecc.

3.2. CAMPI ELETTROMAGNETICI E SALUTE

La comunità scientifica ha cominciato a studiare negli ultimi decenni i possibili effetti nocivi dei campi elettromagnetici (CEM). E' necessario distinguere tra effetti sanitari acuti, o di breve periodo, ed effetti cronici, o di lungo periodo.

Gli effetti acuti possono manifestarsi come diretta conseguenza di esposizioni al di sopra di una certa soglia, esposizioni che si possono verificare solo in particolari situazioni lavorative; i limiti di esposizione ai CEM proposti dagli organismi internazionali e recepiti anche dalla normativa italiana garantiscono con sufficiente margine di sicurezza la protezione da tali effetti.

- Per esposizione a alte frequenze sono stati segnalati:
 - opacizzazione del cristallino, anomalie alla cornea;
 - ridotta produzione di sperma;
 - alterazioni delle funzioni neurali e neuromuscolari;
 - alterazioni del sistema muscolari.
- Per esposizione a basse frequenze -frequenza 50 Hz- sono stati segnalati:
 - effetti sul sistema visivo e sul sistema nervoso centrale;
 - stimolazione di tessuti eccitabili;
 - extrasistole e fibrillazione ventricolare.

Sono stati inoltre riscontrati sintomi quali cefalea, insonnia e affaticamento, in presenza di campi al di sotto dei limiti raccomandati (ipersensibilità elettromagnetica). In questi casi risulta difficile separare gli effetti dovuti all'esposizione da quelli di tipo psicosomatico per fenomeni di autosuggestione.

Gli effetti cronici possono manifestarsi, anche dopo lunghi periodi di latenza, come conseguenza di esposizioni a livelli bassi di campo elettromagnetico per periodi prolungati (situazione caratteristica degli ambienti di vita). Questi effetti hanno una natura probabilistica, cioè con l'aumento dell'esposizione, aumenta la possibilità di contrarre un danno, ma rimane invariata la gravità di tale danno.

Gli effetti cronici sono stati analizzati attraverso numerose indagini epidemiologiche. Attualmente mancano studi universalmente accettati dalla comunità scientifica; tuttavia i maggiori organismi scientifici nazionali ed internazionali concordano nel ritenere che, allo stato attuale delle conoscenze, possa esistere una debole correlazione tra l'esposizione a campi elettromagnetici e cancro, limitatamente alle frequenze estremamente basse (ELF).

4. CRITERI DI MISURAZIONE

Le metodologie di misura della concentrazione di radon devono rispondere ai requisiti della normativa vigente. In particolare, per conoscere la concentrazione di attività di radon media in un anno le singole misure devono essere protratte continuativamente per un intero anno con lo scopo di compensare eventuali fluttuazioni, per esempio dovute all'influenza stagionale delle condizioni climatiche.

La scelta del numero e della localizzazione dei punti di monitoraggio segue la normativa vigente.

Qualora la concentrazione di attività di radon media in un anno superi il valore di 400 Bq/mc, ma sia inferiore a 500 Bq/mc le misurazioni devono essere ripetute l'anno successivo. Qualora la concentrazione di attività di radon media in un anno superi il valore di 500 Bq/mc devono essere posti in atto tutti gli adempimenti della normativa vigente, in particolare deve essere effettuata una valutazione della dose efficace e ove questa superasse il valore di 3 mSv per i lavoratori esposti devono essere adottate azioni di rimedio idonee a ridurre la concentrazione di attività di radon media in un anno e al di sotto del livello di azione indicato dalla normativa.

4.1. TECNICHE DI MISURAZIONE

Una quantità di sostanza radioattiva che dà luogo ad un certo numero di disintegrazioni nell'unità di tempo è detta attività; nel Sistema Internazionale l'unità di misura dell'attività è il Becquerel (Bq), che corrisponde a una quantità di sostanza radioattiva che dà luogo a una trasformazione al secondo. Quando l'attività è valutata in rapporto al volume si usa il concetto di concentrazione di attività; per un gas nell'aria viene espressa normalmente in Bq/m³, in un liquido in Bq/l; in un materiale solido in Bq/kg. Ai fini dosimetrici la concentrazione di attività non è una grandezza immediatamente significativa. Infatti, poiché il contributo fondamentale alla dose critica dovuto al radon e alla sua progenie è costituito dalle emissioni alfa, una misura dosimetricamente corretta dovrebbe fornire l'energia totale alfa emessa da tutti gli atomi di una qualsiasi miscela di figli a breve tempo di dimezzamento del radon presenti per unità di volume di aria (concentrazione di energia potenziale in aria -PAEC -espressa in J/m³); la misura diretta del PAEC richiede tuttavia l'uso di apparecchiature complesse e l'intervento di operatori qualificati e dà comunque informazioni unicamente sulla concentrazione all'istante della misura. La determinazione del PAEC può essere anche effettuata a partire dalla conoscenza della concentrazione di attività in aria della miscela di radon e suoi discendenti a vita breve in condizioni di equilibrio radioattivo, situazione nella quale la radiazione complessiva emessa dalla miscela è dovuta in parti uguali a ciascuno dei nuclidi in equilibrio. Questa condizione, tuttavia, a causa dei fenomeni di ventilazione e deposizione (plate out), non si realizza mai, né in ambiente chiuso né all'aperto, e non è quindi strumentalmente rilevabile.

È stata quindi introdotta la concentrazione equilibrio equivalente di radon (EEC espressa in Bq/m³), che rappresenta quella concentrazione di attività del radon in equilibrio con i suoi figli a breve tempo di dimezzamento che ha la stessa concentrazione di energia potenziale alfa del miscuglio non in equilibrio. Il

rapporto tra la concentrazione equilibrio equivalente e la concentrazione di attività attuale del nuclide progenitore in aria, detto Fattore di Equilibrio F, fornisce una stima della porzione di interesse radioprotezionistico dell'attività misurata.

Nella normativa di riferimento le misure critiche relative al radon sono espresse generalmente in termini di concentrazione di attività media annuale; per una valutazione sanitaria queste concentrazioni vanno confrontate per i lavoratori con i limiti prefissati mentre per la popolazione con i livelli di azione. Nel momento in cui si organizza una campagna di monitoraggio occorre aver ben presente il suo obiettivo, in quanto esso determina da una parte il grado di accuratezza delle misure, dall'altra il tipo di tecnica più adatta. Una rilevazione ambientale, mirante a stabilire quale sia la concentrazione in un dato locale o a sostenere una prima valutazione della situazione di rischio, si baserà su tecniche più speditive e generalmente meno costose, mentre uno studio dosimetrico, mirante a rilevare con precisione i contributi di dose dovuti a ciascun componente della progenie, richiederà tecniche più sofisticate e complesse.

Nella fattispecie verranno utilizzate tecniche di misura più speditive e meno costose. I metodi di misura del radon possono essere classificati in base alle tecniche di campionamento:

- misure con campionamento istantaneo e continuo;
- misure con campionamento integrato nel tempo.

4.1.1 Le misure in continuo

Le misure con campionamento istantaneo e continuo si basano sul campionamento istantaneo o a flusso continuo di una quantità d'aria, che viene prelevata dall'ambiente e introdotta in camere, che spesso costituiscono parte integrante degli strumenti di misura; tali dispositivi, sfruttando un particolare principio di rivelazione della radiazione ionizzante e un opportuno apparato elettronico, consentono la determinazione di radon ambientale in tempi brevi e con buona affidabilità. Questi metodi sono detti anche attivi, in quanto hanno bisogno di alimentazione elettrica durante tutte le fasi della misura. La strumentazione di tipo attivo più diffusa consiste in camere a ionizzazione e camere a scintillazione. Le prime sono costituite essenzialmente da condensatori ai cui capi è applicata una differenza di potenziale; la radiazione emessa dalle sostanze radioattive provoca nell'aria la formazione di ioni che, migrando le armature del condensatore, determina una variazione della tensione applicata. Nel secondo caso si tratta di camere rivestite da particolari materiali che hanno la proprietà di emettere radiazione luminosa nell'interazione con la radiazione nucleare; l'energia luminosa viene quindi trasformata, attraverso un foto moltiplicatore, in un segnale elettrico apprezzabile, proporzionale all'energia trasportata dalla radiazione. Questa caratteristica del sistema lo rende adatto ad effettuare analisi di spettrometria gamma.

4.2. ATTREZZATURE DI MISURE DA UTILIZZARE O SIMILARI

Le misure con campionamento integrato nel tempo si basano sull'esposizione diretta nell'ambiente oggetto di studio di campionatori di tipo passivo, che non necessitano cioè di alimentazione elettrica; dopo un tempo di permanenza, la cui durata dipende dal tipo di rivelatore, vengono rimossi e soggetti in

laboratorio a procedure di tipo chimico-fisico per la determinazione della concentrazione media nel periodo di integrazione.

Le tecniche di tipo passivo maggiormente impiegate nella misura della concentrazione di radon indoor sono:

- rilevatori delle tracce alfa;
- adsorbimento su canestri a carboni attivi;
- rilevazione di carica elettrica mediante elettrete.

4.2.1 Rilevatori a traccia

Il rilevatore "a tracce" è costituito da un foglio di materiale organico speciale, tipicamente nitrato di cellulosa (LRI15) o poliallidiglicolcarbonato (CR39), che interagisce con le emissioni alfa del radon e della sua progenie, riportando tracce sufficientemente profonde sulla propria superficie. Terminata l'esposizione, il rilevatore viene rimosso dall'apposito contenitore e trattato chimicamente per evidenziare le tracce lasciate dalle particelle alfa, che vengono quindi contate con metodi ottici o elettrici. Dalla conoscenza del numero di tracce, del tempo di esposizione e del fattore di calibrazione del sistema si determina la concentrazione media di radon durante l'esposizione del rilevatore. La risposta di un rilevatore a tracce è indipendente dalle particolari condizioni ambientali e non richiede, come in altri casi, l'analisi spettrometrica dei discendenti del radon. I tempi di esposizione possono essere relativamente lunghi (alcuni mesi), per cui tale tecnica ben si presta alla determinazione di concentrazione media annuale.

Il programma di certificazione di qualità per misurazioni con dosimetri a traccia prevede cinque fasi separate:

- 1 la calibrazione;
- 2 l'approvazione all'interconfronto su esposizioni note;
- 3 la presenza di almeno 2 dosimetri per ambiente;
- 4 il controllo dei dosimetri durante l'esposizione;
- 5 i controlli degli strumenti di laboratorio almeno ogni 12 mesi.

Lo scopo di un programma di assicurazione di qualità è identificare l'accuratezza e la precisione delle misurazioni e assicurare che le misurazioni non sono influenzate da fonti di esposizione esterne all'ambiente oggetto di misura.

4.2.2 Canestri a carbone attivo

Il canestro a carbone attivo è generalmente una scatola metallica cilindrica contenente i carboni attivi che adsorbono il radon presente nell'aria. Dopo un tempo di esposizione, dell'ordine di qualche giorno, i canestri, che adsorbono il radon ma non lo rivelano, subiscono un'analisi di spettrometria gamma tramite rivelatore a scintillazione, tipicamente a cristalli di ioduro di sodio. Dai risultati dell'analisi spettrale, dalla conoscenza del tempo di esposizione e del fattore di calibrazione si ricava la concentrazione relativa al periodo di esposizione.

La tecnica dei carboni attivi è adatta a misure di concentrazioni anche inferiori ai 20 Bq/m³ e richiede pochi giorni per la sua realizzazione, ma può essere applicata anche per determinare la concentrazione media annuale eseguendo una misura circa ogni 3 mesi al fine di evitare che i dosimetri possano andare in saturazione. Il limite principale consiste nella forte dipendenza dalle condizioni ambientali di temperatura e umidità.

I canestri a carbone attivo dovrebbero essere analizzati al più presto possibile dopo il termine dell'esposizione. Il massimo tempo della dilazione ammissibile tra la fine del test e l'analisi varierà con la concentrazione di radon e con le caratteristiche del canestro ed è quindi un'indicazione comunicata dal costruttore. Se l'apparecchiatura non ha una barriera di umidità, il dosimetro dovrebbe essere pesato, e, se necessario, una correzione dovrebbe essere applicata per l'aumento in peso dovuto all'assorbimento di umidità.

4.2.3 Camerette ad elettreti

L'elettrete è un disco di teflon che mantiene un potenziale elettrostatico stabile. Quando è posto in una camera contenente un certo volume di aria, raccoglie gli ioni prodotti dalle emissioni alfa del radon e dei suoi discendenti, per cui il suo potenziale si riduce in modo proporzionale all'attività presente nella camera. Misurando con un voltmetro la perdita di potenziale durante un certo intervallo di tempo e utilizzando appropriati fattori di calibrazione si determina la concentrazione media di radon nella camera e quindi nell'ambiente. Esistono in commercio vari modelli che permettono di effettuare misure a breve termine (1-2 giorni) e a lungo termine (12 mesi). I principali limiti dell'elettrete sono che il potenziale elettrostatico del disco di teflon risente dei campi elettromagnetici locali e che la discriminazione della radiazione alfa da quella gamma richiede una particolare procedura. In generale, tutti i dosimetri ad elettreti dovrebbero essere analizzati nel campo o nel laboratorio al più presto dopo il termine dell'esposizione. Una correzione deve essere prevista per il valore della radiazione gamma di fondo; inoltre, se la temperatura al momento dell'analisi è significativamente diversa da quella in cui fu determinata la tensione della pre-esposizione, può essere necessario adottare un ulteriore fattore di correzione di temperatura.

5. REQUISITI GENERALI PER LE MISURE ED ARTICOLAZIONE DEL PIANO DI MONITORAGGIO

Tenendo conto che tutti i valori europei indicativi della concentrazione di attività media si riferiscono ai valori medi annuali della concentrazione di radon, con utilizzo e ventilazione consueta dei locali, i rilevamenti dovranno essere condotti preferibilmente su periodi di integrazione annuali, come peraltro richiede anche il D.Lgs. 241/2000; infatti la variazione del riscaldamento e della ventilazione interna nonché le condizioni meteorologiche e di attività tellurica naturale danno luogo ad ampie fluttuazioni del livello di radon indoor. In concomitanza di piccoli sismi è noto, per esempio, che le concentrazioni di radon nei gas del suolo aumentano anche di 1.000 volte i normali valori.

In linea generale, la concentrazione notturna di radon inodore è più alta che di giorno e d'inverno più che d'estate. Per esempio, il livello di radon in una casa a luglio è approssimativamente la metà di quanto si registra a gennaio.

Il livello di concentrazione misurato su un periodo da uno a tre mesi (30-90 giorni) risulta condizionato così dalla stagionalità e può essere poco rappresentativo dell'esposizione media annua. Lo stesso ambiente riesaminato alcuni mesi più tardi darebbe un risultato diverso. Per tentare di ovviare a questa variabilità, il dipartimento di fisica dell'Università di Bristol ha redatto una tabella di conversione che tiene conto del periodo di esposizione per riportare tale valore alla media annua attraverso un fattore correttivo.

Tale fattore tiene conto della variabilità non solo climatica, ma anche di comportamento nelle diverse stagioni; trattandosi di un fattore correttivo su base statistica va però sottolineato che tale concetto mal si adatta al parco immobiliare italiano che presenta diversità sostanziali con quelle anglosassoni. La tabella va quindi utilizzata solo per confronto con i dati italiani al fine di individuare, se possibile, una relazione valida nel nostro Paese. Una misurazione di radon di 143 Bq mc a marzo se ripetuta a giugno potrebbe indicare solo 92 Bq mc. La conversione del valore misurato su un periodo breve alla media annua, non richiede quindi una conversione lineare, ma dovrà tener conto dei fattori correttivi sopraesposti per meglio approssimare tale valore. È necessario sottolineare che i livelli di radon variano notevolmente anche da una casa all'altra nella stessa strada e ciò in funzione non solo delle condizioni atmosferiche e geologiche locali, ma anche in funzione del tipo di interazione terreno/struttura e dello stile di vita degli abitanti. Le abitazioni di persone anziane, a parità di tutte le altre condizioni influenti sui rapporti di concentrazione, presentano quasi sempre valori più elevati di radon a ragione del minore arieggiamento. Il valore di concentrazione non dovrebbe perciò essere ricavato se non da una misurazione realmente effettuata nell'abitazione e mai riferita a quella di un vicino. L'Ente per la protezione dell'ambiente americano EPA suggerisce le seguenti prescrizioni per la redazione di rilievi di concentrazione di gas radon:

- si dovrebbe innanzitutto preferire una posizione dove il rilevatore non sarà spostato durante il periodo della misurazione;
- la misurazione non dovrebbe essere fatta in prossimità di porte e finestre nonché elementi radianti o refrigeranti e i rilevatori non dovrebbero essere posti alla luce diretta del sole;
- si richiede l'ubicazione del punto di misura ad almeno 90 centimetri da finestre o altre aperture potenziali nel muro esterno e almeno 30 cm da muri interni. Il rilevatore dovrebbe essere ad almeno 50 cm dal pavimento, 20 cm dal soffitto e ad almeno 10 cm dagli altri oggetti;
- per i rilevatori che possono essere sospesi, un'altezza ottimale per l'ubicazione è nella zona della respirazione generale, cioè a circa 2 metri da terra.

Il piano di monitoraggio si propone pertanto, di valutare in 20 punti dislocati sul tratto autostradale in oggetto il radon eventualmente presente e creare una banca dati a scopo epidemiologico per la tutela degli ambienti di vita. Le misure saranno effettuate entro 24 mesi dall'inizio della fase di esercizio dell'opera per

garantire il rispetto della normativa vigente. Misurazioni in merito alla concentrazione di attività di radon media in un anno nelle gallerie e negli ambienti sotterranei, comunque tali da garantire una adeguata rappresentatività delle misure.

Per le radiazioni non ionizzanti si prevede nella **fase ante operam** il rilevamento dei livelli di campo atti a rappresentare lo stato di bianco cui riferire l'esito dei successivi monitoraggi. Nella **fase in corso d'opera** si verificherà se i macchinari e le lavorazioni svolte in cantiere comportino una variazione del clima elettromagnetico e si effettuerà il controllo dei livelli di campo.

Nella **fase post-operam** verranno verificati i livelli di campo EM conseguenti alla realizzazione dell'opera; accertata la reale efficacia degli eventuali provvedimenti posti in essere per garantire la mitigazione degli impatti, e predisposte le eventuali altre misure per la minimizzazione delle esposizioni.

L'articolazione temporale del monitoraggio sarà programmata in relazione ai seguenti aspetti:

- tipologia delle sorgenti di maggiore interesse ambientale;
- caratteristiche di variabilità spaziale e temporale del fenomeno di inquinamento.

I criteri di scelta della frequenza di campionamento e delle sorgenti (numero, distribuzione spaziale, caratteristiche emissive), dipenderanno dalla conoscenza del territorio da monitorare; tutte le modalità di esecuzione dei rilevamenti ed i sensori utilizzati dovranno rispondere alle specifiche normative di riferimento.

La rete di monitoraggio potrà essere costituita da stazioni periferiche di rilevamento, fisse o rilocabili, le cui informazioni saranno inviate ad un sistema centrale che provvede al controllo della operatività della stazioni periferiche e alla raccolta, elaborazione ed archiviazione dei dati rilevati.

6. INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DI MONITORAGGIO

Per l'individuazione dei punti da monitorare possono essere utilizzate anche valutazioni modellistiche; per il posizionamento delle centraline devono essere ben indagate le condizioni al contorno, evitando la presenza di elementi perturbativi lungo il percorso propagativi del campo elettromagnetico, che se trascurati, possono dare luogo ad errori consistenti.

Per la scelta delle postazioni è consigliabile effettuare una prima fase di monitoraggio di screening.

Le tipologie di postazioni dovranno essere scelte:

- in ambiente esterno, in corrispondenza di aree normalmente fruite dalla popolazione e dai lavoratori;
- all'interno di ambienti abitativi dei cantieri;
- in ambiente esterno, in corrispondenza di punti di controllo appositamente scelti per la costante verifica delle emissioni di ciascuna delle sorgenti presenti.

Di seguito vengono indicati due principali criteri di scelta per l'individuazione dei punti da monitorare all'interno delle aree sensibili:

- criteri tecnico-normativo, rivolti a caratterizzare i livelli di CEM o ad indagare in modo approfondito situazioni che meritano attenzione;

- criteri sociali e di opportunità, riconducibili agli aspetti di prevenzione e gestione del conflitto sociale; in quest'ottica vanno comunque comprese tra i punti da monitorare delle aree sensibili edifici quali: scuole, ospedali, case di cura e/o di riposo.

Per il tratto di autostrada in esame i punti di monitoraggio sono i seguenti

1. svincolo di Scilla;
2. galleria artificiale di Scilla;
3. galleria naturale Monacena;
4. galleria naturale Paci;
5. galleria naturale Pilone;
6. svincolo S.Trada;
7. corpo stradale ponte Zagarella 2 – galleria artificiale Piaie;
8. galleria naturale Piaie;
9. corpo stradale ex galleria artificiale Villa S.Giovanni;
10. corpo stradale viadotto Bolano – viadotto S .Filippo ;
11. corpo stradale viadotto S.Filippo – viadotto Solaro;
12. corpo stradale viadotto Solaro – campo CO3;
13. corpo stradale campo CO3 – viadotto Fiumara di Catona;
14. corpo stradale viadotto Fiumara di Catona – viadotto Fortezza di Catona;
15. campo CG3;
16. corpo stradale campo CG3 – ponte a 3 luci delle Gambarie;
17. corpo stradale ponte a 3 luci delle Gambarie – ponte a 3 luci Via Itria;
18. corpo stradale viadotto Fiumara – galleria artificiale Scacciotti;
19. galleria artificiale Scacciotti;
20. corpo stradale ponte a 3 luci Strada Archi Carmine – ponte a 3 luci Torrente Rosignolo;
21. galleria naturale Montecorno;
22. corpo stradale galleria naturale Montecorno – galleria artificiale Pentimele;
23. galleria artificiale Pentimele;
24. corpo stradale finale.