



ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

PA 12/09

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

MONITORAGGIO AMBIENTALE IN CORSO D'OPERA

CONTRAENTE GENERALE



DIRETTORE DEI LAVORI
Ing. CARLO DAMIANI
STRUTTURA OPERATIVA DI DIREZIONE LAVORI
ITALCONSULT

COMPONENTE RADIAZIONI NON IONIZZANTI E IONIZZANTI Report semestrale periodo Maggio 2017 - Ottobre 2017

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

6063-194

Codice Elaborato:

PA12_09 - C 0 0 0 G E 2 2 7 M O 1 9 O R H 0 0 2 A

Scala:

F						
E						
D						
C						
B						
A	Novembre 2017	EMISSIONE	C. FERONE	C. FERONE	A. ANTONELLI	P. PAGLINI
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO

Il Progettista:

Il Responsabile del PMA:

Il Geologo:

Il Coordinatore per la sicurezza
in fase di esecuzione:

Il Direttore dei Lavori:



Responsabile del procedimento: Ing.ETTORE DE CESBRON DE LA GRENNELAIS

Sommario

RADIAZIONI IONIZZANTI

1. Premessa.....	2
2. Normativa di riferimento	3
3. Strumentazione di misura	5
4. Punti di monitoraggio	6
5. Attività di monitoraggio eseguite.....	10
6. Conclusioni	13

RADIAZIONI NON IONIZZANTI

1. Premessa.....	15
2. Campi elettrici e magnetici: brevi cenni	17
3. Normativa di riferimento	19
3.1 Normativa vigente Italiana.....	19
3.2 Normativa ELF - Extremely Low Frequency	20
4. Modalità di indagine	20
5. Strumentazione utilizzata.....	21
6. Risultati delle misurazioni.....	22
7. Conclusioni	25

RADIAZIONI IONIZZANTI

1. Premessa

La presente relazione illustra le attività svolte per il monitoraggio della componente "radiazioni ionizzanti", eseguito in corso d'opera (CO) durante il periodo aprile 2014 - giugno 2017, relativamente alla realizzazione dell'adeguamento a quattro corsie della S.S. 640 "di Porto Empedocle" lungo l'itinerario Agrigento - Caltanissetta - A19 del tratto ricadente nella Provincia di Caltanissetta, dal km 44+000 allo svincolo con l'A19.

La nuova infrastruttura ricade nel territorio provinciale di Caltanissetta, con un tracciato, dello sviluppo complessivo di circa 28 km, che in buona parte riutilizza il sedime esistente; l'intervento prevede essenzialmente il raddoppio e l'ammodernamento dell'attuale strada statale 640 "di Porto Empedocle" che al termine dei lavori sarà percorribile su quattro corsie, due per senso di marcia, con spartitraffico centrale (sezione tipo B del D.M. 5 novembre 2001).

Le attività di monitoraggio eseguite hanno fatto riferimento alla radioattività naturale dovuta alle emissioni di Radon. Il radon è un gas radioattivo inodore e incolore che si rinviene in molte abitazioni e ambienti sotterranei. Proviene dal decadimento radioattivo dell'uranio presente nel suolo e nell'acqua ed attraverso l'aria che respiriamo si fissa nei polmoni. Complessivamente sono conosciuti in natura 3 isotopi, il più importante dei quali è il radon-222, un componente della famiglia radioattiva dell'uranio 238, che ha un tempo di dimezzamento di 3,82 giorni: esso rappresenta un isotopo molto abbondante in natura, e poiché dotato di un'emivita consistente (3,82 giorni) può essere presente nell'ambiente. Costituisce poi un problema radioprotezionistico in quanto progenitore di due altri elementi radioattivi (breve vita ma "alfa emettitori"): il polonio 218 e il polonio-214.

Il radon è presente in tutta la crosta terrestre. Si trova nel terreno e nelle rocce ovunque, in quantità variabile. I materiali che derivano da rocce vulcaniche (come il tufo), estratti da cave o derivanti da lavorazioni dei terreni, sono ulteriori sorgenti di radon. Essendo un gas radioattivo incolore e inodore, il radon può spostarsi e sfuggire dalle porosità del terreno disperdendosi nell'aria o nell'acqua. Grazie alla forte dispersione di questo gas in

atmosfera, all'aperto la concentrazione di radon non raggiunge mai livelli elevati ma, nei luoghi chiusi può arrivare a valori che comportano un rischio rilevante per la salute dell'uomo. Infatti, mentre in spazi aperti è diluito dalle correnti d'aria e raggiunge solo basse concentrazioni, in un ambiente chiuso il radon può invece accumularsi e raggiungere alte concentrazioni.

In base alle precedenti considerazioni sono stati valutati i livelli di radiazioni ionizzanti all'interno di 3 gallerie previste dal progetto, denominate "Papazzo", "Caltanissetta" e "Cozzo Garlatti", i cui dati costruttivi saranno esposti più avanti, che rappresentano ambienti di lavoro chiusi, soggetti a maggiore rischio per quanto riguarda l'accumulo del gas radon durante le lavorazioni.

2. Normativa di riferimento

I primi riferimenti normativi, seppur internazionali, si hanno già nel 1990 quando la Commissione Europea emana una raccomandazione sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi (90/143/Euratom).

Di seguito vengono elencati i principali riferimenti normativi vigenti, inerenti al monitoraggio della componente "radiazioni ionizzanti":

- D. Lgs. 230/95 : Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti.

Rappresenta il primo vero inquadramento normativo a livello nazionale .

- DPCM 241/00 : Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti.

Attraverso questo Decreto si dà piena attuazione del precedente D. Lgs. 230/95. Viene completato ed ampliato il campo di applicazione della radioprotezione in alcuni settori specifici quali:

- attività lavorative durante le quali i lavoratori ed eventualmente, persone del pubblico, sono esposti a prodotti di decadimento del radon e 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 o interrati;

- attività lavorative durante le quali i lavoratori ed eventualmente, persone del pubblico, sono esposti a prodotti di decadimento del radon e del toron, o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in luoghi di lavoro in superficie in zone ben individuate;
- attività lavorative implicanti l'uso o lo stoccaggio di materiali abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali e provocano un aumento significativo dell'esposizione dei lavoratori e, eventualmente, di persone del pubblico;
- attività lavorative che comportano la produzione di residui abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali e provocano un aumento significativo dell'esposizione dei lavoratori e, eventualmente, di persone del pubblico; (per esempio l'industria petrolifera, la lavorazione dei fosfogessi, ecc);
- attività lavorative in stabilimenti termali o attività estrattive non disciplinate dal capo IV;
- attività lavorative su aerei per quanto riguarda il personale navigante.

In dettaglio il D.Lgs 241/00 impone che entro 24 mesi dall'inizio attività o entro 18 dalla pubblicazione, si eseguano campagne di misurazione da parte di un organismo riconosciuto indicando in 500 Bq/m³ il valore limite di riferimento e specificando che:

- se la misura è inferiore all'80%, l'obbligo è assolto e si dovrà ripetere la misurazione solo se cambiano le condizioni di lavoro;
- se la misura è tra l'80% e il 100%, si dovrà ripetere la misurazione ogni anno;
- se la misura è uguale o maggiore a 500 Bq/m³, allora si dovrà far redigere dagli organi di controllo una relazione di misura e stabilire da esperti qualificati la dose efficace per singolo individuo; Verificare la dose efficace alla quale effettivamente sono soggetti i lavoratori;
- se la Dose Efficace è minore di 3 mSv/anno, di dovranno ripetere le misurazioni ogni anno
- se la Dose Efficace è uguale o superiore a 3 mSv/anno, si dovrà valutare il Rischio da parte di un esperto qualificato e far predisporre all' esercente il piano delle azioni correttive. Le misure dovranno essere ripetute e se la misura è superiore a 3 mSv/anno si dovrà incaricare un esperto qualificato per la sorveglianza fisica e medica dei lavoratori. Far predisporre all' esercente il piano delle ulteriori azioni correttive.
- se la misura è inferiore a 3 mSv/annuo si dovranno ripetere le misure annualmente.

In conclusione la citata Raccomandazione europea 90/143/Euratom del 21/02/90 ha fissato due livelli di riferimento, superati i quali, sono raccomandate azioni di risanamento: 400 Bq/m³ per edifici esistenti e 200 Bq/m³ (quale parametro di progetto) per edifici da costruire. In Italia, il D.Lgs. 230/95 (così come modificato ed integrato dal D.Lgs 241/00) fissa in 500 Bq/ m³ il livello di azione per la concentrazione di radon in alcuni ambienti, definiti di lavoro.

3. Strumentazione di misura

I sistemi di misura (dosimetri) sono composti da un contenitore e da un rivelatore (elemento sensibile). In particolare è stato utilizzato un modello di dosimetro a tracce a diffusione, dotato all'interno di un materiale sensibile alle radiazioni alfa emesse dal radon e dai suoi prodotti di decadimento, che attraversando il materiale vi imprimono una "traccia" indelebile. Il dosimetro rimasto esposto è stato quindi portato in laboratorio per la valutazione del numero di "tracce" presenti. Tale valore è infatti proporzionale alla concentrazione del radon gas presente nell'ambiente misurato a meno della correzione della radiazione gamma di fondo.



La grandezza che viene presa come riferimento è la concentrazione di radon 222 espressa in Bq/m³ (Becquerel per metro cubo), ossia il numero di disintegrazioni nucleari per ogni secondo per ogni metro cubo di aria.

Dosimetro passivo CR-39

Le rilevazioni sono state effettuate utilizzando dei rivelatori di tipo passivo che non necessitano di alimentazione elettrica, mantenendoli in posa per un determinato tempo di permanenza. Il sistema integrato per le misurazioni di concentrazioni di Radon è avvenuto mediante rivelatori passivi a tracce di ultima generazione (figura a fianco, utilizzando la metodica con i rivelatori "CR-39". Si tratta di un rivelatore "passivo" perché non utilizza alimentazione elettrica, e "a tracce" in quanto la misurazione della concentrazione di Radon si basa sul conteggio delle tracce prodotte dal decadimento radioattivo del gas Radon.

Ogni dosimetro, al termine del monitoraggio, è stato inviato ad un laboratorio autorizzato ai sensi dell'art 10 ter comma 4 D. Lgs. 241/2000, per lo sviluppo ed il dosaggio delle concentrazioni medie di gas radon. E' stato quindi prodotto, per ogni stazione di monitoraggio, un resoconto di prova che comprende i seguenti dati:

- intestazione dell'organismo che rilascia il documento;
- identificazione del documento;
- i dati anagrafici del committente;
- la tecnica di misura utilizzata;
- periodi di esposizione dei rivelatori e relativi risultati in termini di concentrazione;
- il risultato della concentrazione di radon espresso in Bq/mc;
- l'incertezza associata alla misura.

4. Punti di monitoraggio

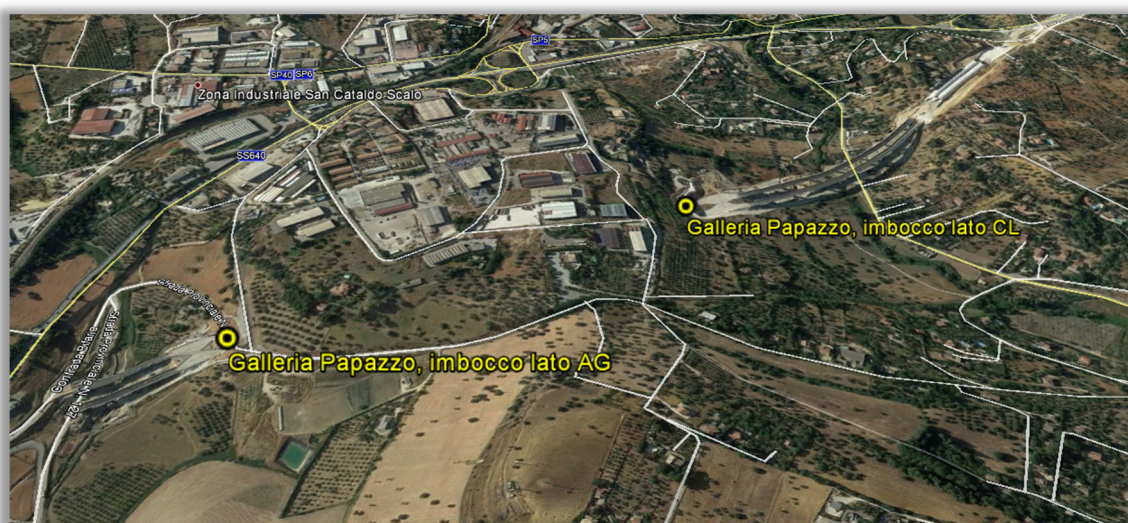
Il monitoraggio del gas radon è stato eseguito durante lo scavo di n. 3 gallerie naturali previste lungo il tracciato dell'itinerario Agrigento-Caltanissetta-A19, scavate con il metodo tradizionale e con il sistema meccanizzato. Si tratta di gallerie monodirezionali a doppia canna dove, per quanto riguarda lo scavo tradizionale, il fornice è caratterizzato da un raggio di scavo che varia da un minimo di 7,50 m ad un massimo di 7,80 m a seconda della sezione tipo adottata, mentre nel caso di scavo meccanizzato, da un diametro di scavo pari a 13,10 m; il raggio interno risulta invece pari rispettivamente a 6,45 m e 6,0 m, in modo da contenere una carreggiata con le stesse caratteristiche geometriche di quella all'esterno, con una larghezza complessiva di 10,50 m, comprendenti le due corsie di marcia da 3,75 m ciascuna, le banchine laterali da 1,75 m sul lato destro e da 1,25 m su quello sinistro; essa è delimitata ai due lati, come previsto dalla vigente normativa, da New Jersey prefabbricati o gettati in opera a ridosso dei piedritti della galleria stessa.

Nella tabella seguente sono riportate la lunghezza delle singole canne e le relative progressive di imbocco.

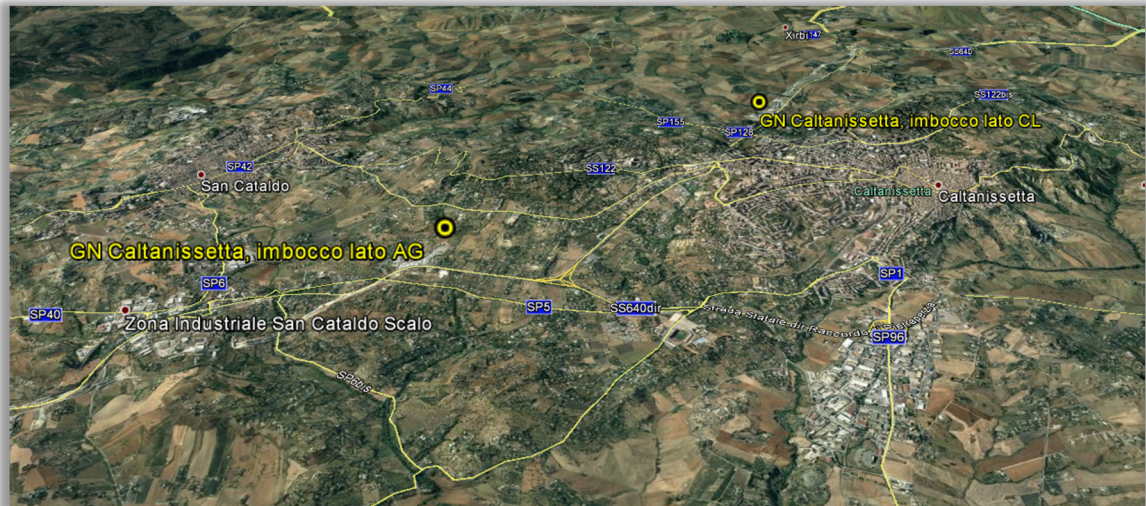
GALLERIA	Carreggiata SX				Carreggiata DX			
	Imbocco lato AG	Imbocco lato CL	Lunghezza	Metodologia di scavo	Imbocco lato AG	Imbocco lato CL	Lunghezza	Metodologia di scavo
	Progr.	Progr.	m		Progr.	Progr.	m	
<u>Papazzo</u>	10276.57	11027.13	750.56	Trad.	10280	11025	745	Trad.
<u>Caltanissetta</u>	12883	16936	4053	TBM	12894	16930	4036	TBM
<u>Cozzo Garlatti</u>	25812.8	26031.37	218.57	Trad.	25823	26001.40	178.4	Trad.

In tutte le gallerie si è prevista l'ubicazione di una nicchia per l'S.O.S. ogni 150 m circa sul lato destro e per quelle superiori ai 1000 m di piazzole di sosta, di lunghezza pari a circa 60 m, ogni 600 m al massimo. Inoltre le canne delle due carreggiate sono collegate tra di loro mediante by pass pedonali e carrabili, con i primi posti ad una di-stanza di circa 300 m l'uno dall'altro, mentre i by-pass carrabili sono posti in modo da rispettare l'interasse di 900 m previsto dal Decreto 5/11/01 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".

Di seguito si riporta il tracciato delle tre gallerie naturali monitorate su foto satellitare.



Imbocchi Galleria Papazzo - foto satellitare



Imbocchi Galleria Caltanissetta – foto satellitare



Imbocchi Galleria Cozzo Garlatti – foto satellitare

Come già indicato nel paragrafo precedente, la misura della concentrazione del gas radon durante le fasi di scavo meccanizzato o tradizionale delle gallerie monitorate, è stato realizzato mediante l'installazione, in prossimità del fronte di scavo in avanzamento, di Rilevatori Passivi. Si tratta di Rilevatori a tracce nucleari costituiti da pellicole sensibili alla radiazione α , che si scalfiscono quando sono colpite dalla radiazione. Il numero di tracce presenti sulla pellicola, in funzione della superficie e del periodo di esposizione, forniscono

una indicazione significativa della concentrazione del gas radon nell'ambiente oggetto di indagine. I dosimetri che sono stati utilizzati nelle varie campagne di monitoraggio sono del tipo "Dosimetro SSNTD chiuso con Rilevatore RADONALPHA - C PADC CD-39": una volta rimosso dalla pellicola di conservazione, il dosimetro è stato installato su un apposito supporto dove sono stati indicati i principali dati identificativi, ossia: sigla del punto di monitoraggio, numero seriale del dosimetro, data inizio e fine del tempo di esposizione, recapito telefonico del tecnico responsabile delle misurazioni.

Si riporta nelle figure seguenti una tipica installazione del dosimetro per la rilevazione della concentrazione del gas radon, nel caso specifico in prossimità della testa della TBM in avanzamento durante lo scavo della canna dx in direzione imbocco lato AG -> imbocco lato A19:



Dosimetro installato all'interno della GN Caltanissetta - canna dx durante lo scavo meccanizzato della TBM



Dosimetro installato all'interno della GN Caltanissetta – canna dx durante lo scavo meccanizzato della TBM

Al termine del periodo di esposizione il dosimetro è stato richiuso, identificato ed opportunamente conservato nel relativo box in PVC, quindi inviato al laboratorio autorizzato per lo sviluppo ed il dosaggio delle concentrazioni medie di gas radon espresse in Bq/mc.

5. Attività di monitoraggio eseguite

Nel corso di questo paragrafo sono esposti i risultati delle campagne di indagine eseguite per il monitoraggio della concentrazione del gas radon, durante le fasi di scavo delle Gallerie "Papazzo", "Caltanissetta" e "Cozzo Garlatti", per la valutazione del rischio di esposizione alle radiazioni ionizzanti. Tali risultati vengono espressi nelle successive tabelle, unitamente ai principali dati identificativi dei monitoraggi realizzati.

GALLERIA PAPAZZO					
Codice punto	Postazione	Dosimetro (sn)	Inizio esposizione	Fine esposizione	Concentrazione media (Bq/mc)
IRL_02	Lato A19 - canna dx	5166-1	24/04/2014	24/06/2014	1790± 1,2%
IRL_02	Lato AG - canna sx	5170-2	28/04/2014	28/06/2014	1809± 3,3%
IRL_02	Lato A19 - canna dx	11247-2	01/09/2014	03/11/2014	0± 0%
IRL_02	Lato AG - canna sx	5168-3	01/09/2014	03/11/2014	0± 0%
IRL_02	Lato A19 - canna dx	11242-1	03/11/2014	03/01/2015	36± 20.0%
IRL_02	Lato AG - canna sx	11251-3	03/11/2014	03/01/2015	27± 19.2%
IRL_02	Lato A19 - canna dx	11244-1	07/01/2015	06/03/2015	75± 17.1%
IRL_02	Lato AG - canna sx	11249-3	07/01/2015	06/03/2015	92± 11.4%
IRL_02	Lato A19 - canna dx	11250-1	06/03/2015	07/05/2015	35± 16.6%
IRL_02	Lato AG - canna sx	5694-3	06/03/2015	07/05/2015	866± 6.5%
IRL_02	Lato AG - canna dx	11258-1	07/05/2015	07/07/2015	30± 26.6%
IRL_02	Lato AG - canna sx	13038-1	08/07/2015	07/09/2015	9± 12.0%

Risultati monitoraggio gas radon Galleria Papazzo

GALLERIA CALTANISSETTA					
Codice punto	Postazione	Dosimetro (sn)	Inizio esposizione	Fine esposizione	Concentrazione media (Bq/mc)
IRL_03	Lato AG - canna sx	11243-1	01/09/2014	03/11/2014	0± 0%
IRL_03	Lato AG - canna sx	11246-2	03/11/2014	03/01/2015	52± 18.3%
IRL_03	Lato AG - canna sx	11248-2	07/01/2015	06/03/2015	260± 8.6%
IRL_03	Lato AG - canna sx	11245-2	06/03/2015	07/05/2015	22± 19.2%
IRL_03	Lato AG - canna sx	11259-2	07/05/2015	07/07/2015	23± 28.3%
IRL_03	Lato AG - canna dx	13034-1	11/04/2016	11/06/2016	76± 17.9%
IRL_03	Lato AG - canna dx	13036-1	11/06/2016	11/08/2016	86± 28.4%
IRL_03	Lato AG - canna dx	13031-1	11/08/2016	11/10/2016	112± 9.4%
IRL_03	Lato AG - canna dx	13050-1	11/10/2016	20/12/2016	71± 18.4%
IRL_03	Lato AG - canna dx	16801-1	20/12/2016	21/02/2017	155± 5.1%
IRL_03	Lato AG - canna dx	16798-1	21/02/2016	26/04/2017	295± 8.1%
IRL_03	Lato AG - canna dx	18392-1	26/04/2017	16/06/2017	123± 10.2%

Risultati monitoraggio gas radon Galleria Caltanissetta

GALLERIA COZZO GARLATTI					
Codice punto	Postazione	Dosimetro (sn)	Inizio esposizione	Fine esposizione	Concentrazione media (Bq/mc)
IRL_04	Lato AG - canna dx	13040-2	04/04/2016	04/06/2016	99± 13.4%
IRL_04	Lato AG - canna dx	13039-1	04/06/2016	04/08/2016	199± 0.9%
IRL_04	Lato AG - canna dx	13047-2	04/08/2016	04/10/2016	89± 2.1%
IRL_04	Lato AG - canna sx	13043-2	21/11/2016	23/01/2017	82± 12.5%
IRL_04	Lato AG - canna sx	16806-1	23/01/2017	23/03/2017	205± 13.1%
IRL_04	Lato AG - canna sx	16800-2	23/03/2017	21/04/2017	655± 9.3%

Risultati monitoraggio gas radon Galleria Cozzo Garlatti

Per quanto riguarda i certificati attestanti i livelli di radiazione relativamente ai vari punti di indagine appena esposti e alla documentazione fotografica delle installazioni dei dosimetri passivi CR-39, si rimanda alle schede di monitoraggio alla presente relazione.

6. Conclusioni

Le attività di monitoraggio delle radiazioni ionizzanti, descritte nel presente report, sono state svolte nel periodo che va da aprile 2014 a febbraio 2017, durante il quale sono state eseguite diverse attività di controllo della concentrazione del gas radon all'interno delle gallerie "Papazzo", "Caltanissetta" e "Cozzo Garlatti". I risultati si riferiscono alla fase in Corso d'Opera, poiché le rilevazioni sono state realizzate durante la fase di scavo, meccanizzato o tradizionale, delle suddette gallerie.

I valori misurati della concentrazione del gas radon sono stati confrontati con il livello di azione stabilito dal D. Lgs 241/2000, fissato in 500 Bq/mc. Tutte le campagne hanno restituito valori inferiori al livello di azione, fatta eccezione per i seguenti ricettori:

GALLERIA PAPAZZO					
Codice punto	Postazione	Dosimetro (sn)	Inizio esposizione	Fine esposizione	Concentrazione media (Bq/mc)
IRL_02	Lato A19 - canna dx	5166-1	24/04/2014	24/06/2014	1790± 1,2%
IRL_02	Lato AG - canna sx	5170-2	28/04/2014	28/06/2014	1809± 3,3%
IRL_02	Lato AG - canna sx	5694-3	06/03/2015	07/05/2015	866± 6.5%
GALLERIA COZZO GARLATTI					
Codice punto	Postazione	Dosimetro (sn)	Inizio esposizione	Fine esposizione	Concentrazione media (Bq/mc)
IRL_04	Lato AG - canna sx	16800-2	23/03/2017	21/04/2017	655± 9.3%

Si precisa, comunque, che il livello di azione stabilito dal D. Lgs 241/2000 si riferisce ad un tempo di osservazione pari a un anno: le misure effettuate all'interno della galleria Papazzo e della galleria Cozzo Garlatti, che hanno superato tale limite normativo, sono rappresentative di un periodo di misura pari rispettivamente a 2 mesi e a 1 mese, periodo piuttosto limitato rispetto a quello di mediazione previsto dalla normativa, riproducendo quindi solo parzialmente il comportamento nel tempo delle concentrazioni che, invece, si avrebbero sull'intero periodo di osservazione di 365 giorni. In riferimento al superamento riscontrato sul ricettore IRL_02 durante il periodo 06/03 ÷ 07/05/2015, è stata richiesta una ulteriore campagna di monitoraggio per verificare le concentrazioni di gas radon all'interno della galleria Papazzo sul lato A19 - canna sx: la campagna successiva a questo evento, eseguita tra il 07/05/2015 e il 07/07/2015, ha restituito valori pari a 30 Bq/mc ± 26.6%, ampiamente più bassi rispetto al limite normativo del livello di azione fissato in 500 Bq/mc.

RADIAZIONI NON IONIZZANTI

1. Premessa

La presente relazione illustra le attività svolte per il monitoraggio della componente "radiazioni non ionizzanti", eseguito in corso d'opera (CO) durante il periodo settembre 2014 - febbraio 2017, relativamente alla realizzazione dell'adeguamento a quattro corsie della S.S. 640 "di Porto Empedocle" lungo l'itinerario Agrigento - Caltanissetta - A19 del tratto ricadente nella Provincia di Caltanissetta, dal km 44+000 allo svincolo con l'A19.

La nuova infrastruttura ricade nel territorio provinciale di Caltanissetta, con un tracciato, dello sviluppo complessivo di circa 28 km, che in buona parte riutilizza il sedime esistente; l'intervento prevede essenzialmente il raddoppio e l'ammodernamento dell'attuale strada statale 640 "di Porto Empedocle" che al termine dei lavori sarà percorribile su quattro corsie, due per senso di marcia, con spartitraffico centrale (sezione tipo B del D.M. 5 novembre 2001).

Tale monitoraggio è stato eseguito in seguito alle prescrizioni dettate dalla Verifica di Ottemperanza della Commissione Speciale VIA. Scopo fondamentale delle misure eseguite in corso d'opera è il rispetto dei seguenti obiettivi:

- verificare che i macchinari e le lavorazioni svolte in fase di cantiere comportino una variazione di clima elettromagnetico coerente con le previsioni d'impatto del SIA;
- controllare i livelli di campo al fine di evitare il manifestarsi di emergenze specifiche.

Le aree di indagine sono state dislocate in prossimità della infrastrutture di progetto, in corrispondenza delle interferenze delle aree di cantierizzazione con gli elettrodotti.

Di seguito si riporta una planimetria di progetto con l'indicazione dei punti oggetto di monitoraggio.



Foto satellitari con l'indicazione del punto di monitoraggio RAD_ELF_001



Foto satellitari con l'indicazione del punto di monitoraggio RAD_ELF_002

2. Campi elettrici e magnetici: brevi cenni

Con il termine "radiazione" vengono intesi quei fenomeni caratterizzati dal trasporto di energia nello spazio.

La caratteristica comune a quasi tutte le tipologie di radiazione è la cessione di energia alla materia. Le radiazioni non ionizzanti sono quelle radiazioni che non producono ionizzazione nel mezzo attraversato. Se l'energia trasferita dalla radiazione alla materia è insufficiente per ionizzare gli atomi, ovvero non riesce a strappare un elettrone dagli atomi o dalle molecole, si dice che la radiazione è di tipo "non ionizzante" (NIR - Non Ionising Radiation).

Ne consegue pertanto solo un aumento di energia nell'atomo che diventa quindi eccitato. "Qualunque radiazione che non possiede tanta di quella energia da superare quella con cui l'elettrone è legata all'atomo, che quindi non è capace di far diventare l'atomo uno ione, è definita come radiazione non ionizzante."

Il fenomeno comunemente definito "inquinamento elettromagnetico" è legato alla generazione di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici artificiali, cioè non attribuibili al naturale fondo terrestre o ad eventi naturali (quale ad esempio può essere il campo elettrico generato da un fulmine), ma prodotti da impianti realizzati per trasmettere informazioni attraverso la propagazione di onde elettromagnetiche (impianti radio-TV e per telefonia mobile), da impianti utilizzati per il trasporto e la trasformazione dell'energia elettrica dalle centrali di produzione fino all'utilizzatore in ambiente urbano (elettrorodotti), da apparati per applicazioni biomedicali, da impianti per lavorazioni industriali, nonché da tutti quei dispositivi il cui funzionamento è subordinato a un'alimentazione di rete elettrica (tipico esempio sono gli elettrodomestici).

Mentre i sistemi di teleradiocomunicazione (impianti radio-TV, telefonia mobile) sono appositamente progettati e costruiti per emettere onde elettromagnetiche (irradiatori intenzionali), le quali sono alla base della trasmissione delle informazioni (audio, video, etc.), gli impianti di trasporto, di trasformazione (elettrorodotti) e gli utilizzatori di energia elettrica emettono invece nell'ambiente circostante campi elettrici e magnetici in maniera non intenzionale, ma come conseguenza diretta e inevitabile del loro funzionamento basato sul trasporto e quindi sulla presenza e movimento di carica elettrica.

Infatti, una carica elettrica genera una modificazione dello spazio ad essa circostante tale che, se un'altra carica elettrica viene posta in tale spazio, risente di una forza che può essere attrattiva o repulsiva. Tale modificazione viene indicata con il termine di campo elettrico.

Analogamente una corrente elettrica, che è generata da cariche in movimento, produce una modificazione dello spazio circostante: il campo magnetico. Quest'ultimo ha caratteristiche sostanzialmente diverse da quelle del campo elettrico.

L'unità di misura del campo elettrico nel Sistema internazionale è il Volt su metro (V/m), mentre quella del campo magnetico è l'Ampere su metro (A/m).

Sovente vengono riportati valori di campo espressi in microtesla (μT); in questi casi la grandezza a cui si fa riferimento è l'induzione magnetica, dalla quale è possibile ricavare il valore di campo magnetico espresso in A/m, sapendo che in aria i due sono legati tra loro attraverso una costante di proporzionalità nota come permeabilità magnetica del vuoto.

I campi elettromagnetici si propagano sotto forma di onde elettromagnetiche, per le quali viene definito un parametro, detto frequenza, che indica il numero di oscillazioni che l'onda elettromagnetica compie in un secondo. L'unità di misura della frequenza è l'Hertz (1 Hz equivale a una oscillazione al secondo). Sulla base della frequenza viene effettuata una distinzione tra:

- ✓ inquinamento elettromagnetico generato da campi a bassa frequenza (0 Hz - 10 kHz), nel quale rientrano i campi generati dagli elettrodotti che emettono campi elettromagnetici a 50 Hz;
- ✓ inquinamento elettromagnetico generato da campi ad alta frequenza (10 kHz - 300 GHz) nel quale rientrano i campi generati dagli impianti radio-TV e di telefonia mobile.

Questa distinzione è necessaria in quanto le caratteristiche dei campi in prossimità delle sorgenti variano al variare della frequenza di emissione, così come variano i meccanismi di interazione di tali campi con i tessuti biologici e quindi le possibili conseguenze correlabili all'esposizione umana (effetti sulla salute).

3. Normativa di riferimento

3.1 Normativa vigente Italiana

La Legge Quadro 36/01 sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, è il primo testo di legge organico che disciplina in materia di campi elettromagnetici.

La legge riguarda tutti gli impianti, i sistemi e le apparecchiature per usi civili e militari che possono produrre l'esposizione della popolazione e dei lavoratori ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici con frequenze comprese tra 0 Hz (Hertz) e 300 GHz (GigaHertz). In particolare la legge si applica agli elettrodotti ed agli impianti radioelettrici, compresi gli impianti per telefonia mobile, i radar e gli impianti per radiodiffusione.

Il provvedimento, all'art.3 definisce i diversi livelli di riferimento per l'esposizione:

- *limite di esposizione* che rappresenta il valore del campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori per la tutela della salute dagli effetti acuti;
- *valore di attenzione* che rappresenta il valore del campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate per la protezione da possibili effetti a lungo termine;
- *obiettivi di qualità* da conseguire nel breve, medio e lungo periodo per la minimizzazione delle esposizioni, con riferimento a possibili effetti a lungo termine.

La Legge Quadro assegna le seguenti competenze: lo Stato determina i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità, la promozione delle attività di ricerca e di sperimentazione tecnico-scientifica nonché di ricerca epidemiologica e lo sviluppo di un catasto nazionale delle sorgenti; le Regioni determinano le modalità per il rilascio delle autorizzazioni all'installazione degli impianti, la realizzazione del catasto regionale delle sorgenti, l'individuazione di strumenti e azioni per il raggiungimento di obiettivi di qualità; le ARPA regionali svolgono attività di vigilanza e controllo a supporto tecnico delle relative funzioni assegnate agli enti locali; i Comuni e le Province svolgono le rispettive funzioni di

controllo e vigilanza. Gli altri provvedimenti nazionali e regionali sono distinti per basse e alte frequenze.

3.2 Normativa ELF - Extremely Low Frequency

Il DM 29/05/2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti" si applica agli elettrodotti esistenti e in progetto, con linee aeree o interrate, facendo riferimento all'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ per l'induzione magnetica, così come stabilito dall'art. 4 del DPCM 08.07.03 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti.

La metodologia stabilisce che sono escluse dall'applicazione alcune tipologie di linee tra cui le linee telefoniche, telegrafiche e a bassa tensione.

Il DM 29/05/2008 "Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell'induzione magnetica" si applica a tutti gli elettrodotti, definiti nell'art.3 lett.3 della legge n.36 del 22 febbraio 2001, ed ha lo scopo di fornire la procedura per la determinazione e la valutazione del valore di induzione magnetica utile ai fini della verifica del non superamento del valore di attenzione ($10 \mu\text{T}$) e dell'obiettivo di qualità ($3 \mu\text{T}$);

Il DPCM 08/07/2003, disciplina, a livello nazionale, in materia di esposizione della popolazione ai campi elettrici e magnetici a bassa frequenza (50 Hz), fissando:

- i limiti per il campo elettrico (**5 kV/m**);
- i limiti per l'induzione magnetica (**100 μT**);
- i valori di attenzione (**10 μT**) e gli obiettivi di qualità (**3 μT**) per l'induzione magnetica;

Il decreto prevede, inoltre, la determinazione di distanze di rispetto dalle linee elettriche secondo quanto indicato dalle Linee Guida.

4. Modalità di indagine

L'indagine si è sviluppata secondo tre fasi in corrispondenza dei ricettori RAD_ELF_001 e RAD_ELF_002: analisi preliminare, misurazione dei campi, valutazione dei risultati e confronto con i limiti di esposizione.

L'analisi preliminare è consistita in un sopralluogo presso i punti di monitoraggio, già monitorati in fase di Ante Operam, individuati nel progetto esecutivo e valutati come potenzialmente a rischio vista l'immediata vicinanza degli stessi alle aree di cantierizzazione. In corrispondenza di questi n. 2 punti di controllo delle radiazioni non ionizzanti, che sono stati scelti sulla base dei sopralluoghi effettuati ed in base alla presenza di elettrodi che attraversano le aree e le piste di cantiere, che rappresentano le uniche sorgenti primarie di onde elettromagnetiche, si è proceduto all'effettuazione delle misure del campo elettrico e dell'induzione magnetica in bassa frequenza, più specificatamente in un intorno della frequenza di rete (50 Hz).

Le misurazioni dei campi elettromagnetici hanno avuto durata settimanale e sono consistite, in particolare, in misure dell'induzione magnetica B (μT) e rilevazioni istantanee del campo elettrico E (V/m). Le misure, effettuate nella banda da 5 Hz a 100 kHz, hanno fornito dei valori efficaci che sono stati successivamente confrontati con i livelli di azione contenuti nella normativa.

Sebbene effettuate con modalità "a banda larga", ricevendo cioè un risultato relativo al contributo spettrale complessivo del campo elettromagnetico nell'intervallo indicato, una iniziale analisi spettrale ha evidenziato quale contributo fondamentale quello associato alla frequenza di 50 Hz, che pertanto verrà considerata come riferimento per i successivi confronti con i limiti di esposizione. Con la modalità a banda larga dunque si intende la possibilità di valutare il campo elettromagnetico con indicazioni sul valore efficace RMS complessivo del campo nel punto di misura.

La sonda di acquisizione è stata collocata su apposito sostegno (treppiede di legno telescopico) per consentire agli operatori di porsi ad una distanza di almeno due metri dallo strumento.

Le misurazioni sono state eseguite in condizioni di tempo meteorologico sereno.

5. Strumentazione utilizzata

Per i rilievi del campo elettrico e del campo magnetico è stata impiegata la seguente strumentazione certificata e conforme alle normative vigenti:

- ✓ analizzatore PMM 8053-2004/40
- ✓ sonda isotropica EHP 50C

l'analizzatore e la sonda sono provvisti degli opportuni certificati di taratura:

- N° 80467 del 09 maggio 2009 per il rilevatore PMM 8053
- N° 80439 del 09 maggio 2009 per la sonda EHP 50C

STRUMENTO	DESCRIZIONE	N° DI SERIE
PMM-8053-2004/40 	Misuratore di campi elettro-magnetico	262WL80467
EHP 50C 	Sonda isotropica di campo elettrico/magnetico range di frequenza 5 Hz - 100 kHz	352WN80439

6. Risultati delle misurazioni

In questa sezione vengono presentati i risultati delle misurazioni effettuate nei diversi punti di monitoraggio individuati come rappresentativi per la valutazione del rischio di esposizioni ai campi elettromagnetici. Il monitoraggio su ogni ricevitore è stato eseguito in corrispondenza di n. 3 postazioni:

- Postazione n. 1 : in asse al traliccio dell'elettrodotto

- Postazione n. 2 : a 5 m dall'asse del traliccio dell'elettrodotto
- Postazione n. 3 : a 10 m dall'asse del traliccio dell'elettrodotto

Ogni campagna di monitoraggio delle radiazioni non ionizzanti è stata eseguita attraverso due misurazioni giornaliere dei valori del campo elettrico E [V/m] e dell'induzione magnetica B [μ T] sulle 3 postazioni, limitatamente ai seguenti intervalli orari:

- Intervallo diurno : dalle h 06.00 alle h 22.00
- Intervallo notturno : dalle h 22.00 alle h 06.00

Complessivamente, per ciascuna campagna, le misurazioni diurne e notturne in corrispondenza delle 3 postazioni sono state ripetute per 7 giorni consecutive, ottenendo alla fine una serie di valori misurati che sono stati tabellati come nell'esempio seguente:

Tabella riepilogativa dei valori misurati

Misura diurna	In asse	+ 5 m	+ 10 m	Misura notturna	In asse	+ 5 m	+ 10 m
	RMS B[μ T]	RMS B[μ T]	RMS B[μ T]		RMS B[μ T]	RMS B[μ T]	RMS B[μ T]
22/09/2014	0,012	0,010	0,010	22/09/2014	0,007	0,005	0,004
23/09/2014	0,009	0,010	0,010	23/09/2014	0,007	0,005	0,004
24/09/2014	0,009	0,010	0,010	24/09/2014	0,007	0,005	0,004
25/09/2014	0,014	0,010	0,007	25/09/2014	0,008	0,005	0,005
26/09/2014	0,010	0,010	0,010	26/09/2014	0,008	0,005	0,010
27/09/2014	0,010	0,011	0,014	27/09/2014	0,015	0,008	0,004
28/09/2014	0,010	0,011	0,014	28/09/2014	0,015	0,008	0,004
MEDIA	0,010	0,010	0,011	MEDIA	0,010	0,006	0,005

Misura diurna	In asse	+ 5 m	+ 10 m	Misura notturna	In asse	+ 5 m	+ 10 m
	RMS E[V/m]	RMS E[V/m]	RMS E[V/m]		RMS E[V/m]	RMS E[V/m]	RMS E[V/m]
22/09/2014	0,085	0,080	0,082	22/09/2014	0,084	0,077	0,080
23/09/2014	0,085	0,080	0,082	23/09/2014	0,084	0,077	0,080
24/09/2014	0,085	0,080	0,082	24/09/2014	0,084	0,077	0,080
25/09/2014	0,087	0,079	0,076	25/09/2014	0,087	0,079	0,078
26/09/2014	0,085	0,080	0,082	26/09/2014	0,089	0,077	0,077
27/09/2014	0,095	0,078	0,081	27/09/2014	0,086	0,077	0,070
28/09/2014	0,095	0,078	0,081	28/09/2014	0,086	0,077	0,070

Esempio restituzione dati campagna monitoraggio radiazioni non ionizzanti

Il risultato finale è rappresentato dai livelli di campo elettrico e induzione magnetica in corrispondenza delle stazioni "in asse", "+ 5 m" e "+ 10 m", come valore medio di tutte le misure giornaliere eseguite. Tali valori sono riportati sulle schede di rilevazione, unitamente ai dati geografici del punto di misura, alle caratteristiche della strumentazione utilizzata, alla

documentazione fotografica, alle tabelle e ai grafici, alle quali si rimanda per maggiori dettagli.

Nella tabella seguente vengono riportati i risultati di tutte le campagne in corso d'opera eseguite per la misura dei livelli di campo elettromagnetico.

Codice punto	Coordinate geografiche	Periodo di misurazione	Postazione di misura	Intervallo di frequenza	E [kV/m]	B [μ T]
RAD_ELF_001	37,524287°N 14,058295°E	dal 22/09/2014 al 28/09/2014	In asse	50 Hz	0.119	0.121
			+ 5 m		0.030	0.009
			+ 10 m		0.078	0.008
RAD_ELF_001	37,524287°N 14,058295°E	dal 30/03/2015 al 05/04/2015	In asse	50 Hz	0.094	0.133
			+ 5 m		0.030	0.080
			+ 10 m		0.085	0.035
RAD_ELF_001	37,524287°N 14,058295°E	dal 08/02/2016 al 14/02/2016	In asse	50 Hz	0.035	0.030
			+ 5 m		0.039	0.020
			+ 10 m		0.024	0.020
RAD_ELF_001	37,524287°N 14,058295°E	dal 06/02/2017 al 12/02/2017	In asse	50 Hz	0.029	0.074
			+ 5 m		0.045	0.068
			+ 10 m		0.015	0.073

Campagne misurazioni radiazioni non ionizzanti CO - RAD_ELF_001

Codice punto	Coordinate geografiche	Periodo di misurazione	Postazione di misura	Intervallo di frequenza	E [kV/m]	B [μ T]
RAD_ELF_002	37,530436°N 14,080637°E	dal 22/09/2014 al 28/09/2014	In asse	50 Hz	0.023	0.102
			+ 5 m		0.020	0.086
			+ 10 m		0.018	0.083
RAD_ELF_002	37,530436°N 14,080637°E	dal 23/03/2015 al 29/03/2015	In asse	50 Hz	0.051	0.236
			+ 5 m		0.080	0.101
			+ 10 m		0.077	0.089
RAD_ELF_002	37,530436°N 14,080637°E	dal 08/02/2016 al 14/02/2016	In asse	50 Hz	0.0567	0.03
			+ 5 m		0.0379	0.03
			+ 10 m		0.0227	0.02
RAD_ELF_002	37,530436°N 14,080637°E	dal 13/02/2017 al 19/02/2017	In asse	50 Hz	0.032	0.08
			+ 5 m		0.067	0.05
			+ 10 m		0.042	0.03

Campagne misurazioni radiazioni non ionizzanti CO - RAD_ELF_002

7. Conclusioni

I valori registrati durante le campagne di monitoraggio delle radiazioni non ionizzanti eseguite in CO, non superano i limiti fissati dal DPCM 08/07/2003, il quale disciplina, a livello nazionale, l'esposizione della popolazione ai campi elettrici e magnetici a bassa frequenza (50 Hz). I limiti imposti dal decreto sono quelli riportati nella tabella seguente:

	Campo elettrico	Induzione magnetica
Valore limite di esposizione	5 kV/m	100 μ T
Valori di attenzione	-	10 μ T
Obiettivo di qualità	-	3 μ T

Ne risulta, pertanto, che dai dati sopra riportati si possa ritenere che le aree monitorate, oggetto di indagine, risultano conformi ai requisiti indicati dalla normativa vigente.