

RETE GEOTERMICA TOSCANA

C/O TOSCOGEO S.R.L.

VIA ERNESTO ROSSI N° 9 - 52100, AREZZO

TEL. 0575 32641 - FAX. 0575 326464

Impianto Geotermico Pilota Castelnuovo PROGETTO DEFINITIVO



00	06/11/2015	Emissione	Magma Energy Italia S.r.l.	Magma Energy Italia S.r.l.	Rete Geotermica Toscana
REV.	DATA	OGGETTO	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

PROGETTISTA:

magma ENERGY ITALIA

MAGMA ENERGY ITALIA SRL
Via E.Rossi n. 9 - Arezzo 52100
Tel 0575 32641 - Fax 0575 326457
magmaenergy@legalmail.it
C.F. 06059240488

TITOLO:

RAPPORTO SULLA RADIOATTIVITA' DELLE ROCCE E DA RADON

NOTE:

TOSCO GEO SRL
VIA E.ROSSI N.9 - AREZZO 52100
TEL.0575 32641 - FAX.0575 326464
C.F. e P.IVA 06142590485
Capitale sociale sottoscritto e versato € 12.000,00
Società soggetta a direzione e coordinamento di
Graziella Green Power spa - via E.Rossi, 9 - Arezzo 52100
C.F. e P.IVA 02033840519

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

C	A	S	0	2	D	E	A	M	R	0	0	9
ARGOMENTO	PROGETTO	LIVELLO	AREA	TIPO	PROGRESSIVO							

Questo documento contiene informazioni di proprietà della RETE GEOTERMICA TOSCANA e può essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. È vietata qualunque forma di riproduzione o divulgazione senza l'esplicito consenso della RETE GEOTERMICA TOSCANA.

FOGLIO:

1 di 14

FORMATO:

A4

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
2. RADON	3
2.1. Il Radon-222 nelle Centrali di Larderello	5
2.2. Il Radon-222 nel suolo	6
2.3. Lo Studio “Impatto radiologico della produzione geotermoelettrica” di RSE (2013)	7
2.4. Note conclusive.....	8
3. RADIAZIONI GAMMA.....	8
4. CONCLUSIONI	12

1. INTRODUZIONE

Nell'ambiente sono presenti radiazioni ionizzanti, sia di origine naturale che di origine artificiale, alle quali l'uomo è continuamente esposto. Le radiazioni ionizzanti, che possono avere natura prevalente corpuscolare (particelle alfa, particelle beta) o elettromagnetica (raggi gamma, raggi x), sono dotate di energia tale da poter ionizzare gli atomi (o le molecole) con i quali vengono a contatto. Questo effetto diretto sulla materia si traduce, nel caso di esseri viventi, in un rischio sanitario correlato all'intensità delle radiazioni stesse. In particolare, in caso di danneggiamento del Dna, possono essere indotti processi di cancerogenesi.

La principale sorgente di radiazioni ionizzanti nell'ambiente è costituita dai radioisotopi, o elementi radioattivi, i quali sono caratterizzati da una tendenza spontanea a trasformarsi in altri elementi emettendo (decadimento radioattivo) radiazioni ionizzanti. L'Agenzia internazionale per la Ricerca sul Cancro, organismo dell'OMS, ha classificato come sostanze cancerogene numerosi radioisotopi sia di origine naturale (es. Radon) che artificiale. La radioattività ambientale, ovvero la presenza di radioisotopi nell'ambiente, può avere origini naturali o artificiali dando luogo a due diverse principali problematiche: la diffusione nell'ambiente dei radioisotopi artificiali e l'esposizione della popolazione ai radioisotopi naturali, primo tra tutti il gas radon.

La Regione Toscana, come stabilito dal d.lgs. 230/95 e dalla l.r. 32/2003, esercita le funzioni di controllo della radioattività ambientale di origine artificiale programmando con Arpat le attività di monitoraggio da effettuare nelle matrici ambientali e alimentari. Nell'ambito della radioattività di origine naturale la fonte di maggiore esposizione per la popolazione è il gas radon il quale tende a concentrarsi negli edifici fino a raggiungere in alcuni casi concentrazioni pericolose per la salute umana. La Regione ha promosso un'importante indagine, la cui realizzazione è stata curata da Arpat, per la misura della concentrazione di radon nelle abitazioni, scuole e luoghi di lavoro in Toscana con l'obiettivo di individuare le aree ad alta probabilità di rischio radon nel territorio regionale ai sensi dell'art 10 sexies del d. lgs 230/95.

Ulteriori riferimenti si possono trovare nella Direttiva 59/2013/Euratom del Consiglio Europeo, che *"fissa le norme fondamentali di sicurezza uniformi relative alla protezione sanitaria delle persone soggette ad esposizione professionale, medica e della popolazione contro i pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti."* Essa *"si applica a qualsiasi situazione di esposizione pianificata, esistente o di emergenza che comporti un rischio di esposizione a radiazioni ionizzanti che non può essere trascurato dal punto di vista della radioprotezione in relazione all'ambiente"*.

2. RADON

L'uomo è esposto a radiazioni ionizzanti di origine naturale in ogni luogo della superficie terrestre. Esse comprendono le radiazioni cosmiche e quelle derivanti dal decadimento radioattivo di sostanze presenti in tracce in tutti i terreni. La metà circa della dose di radiazioni di origine naturale cui è esposto l'uomo è dovuta al radon, la cui principale sorgente emissiva essere il suolo, poiché esso è presente in tracce in tutti i terreni.

Il radon (^{222}Rn), radioisotopo prodotto dal decadimento dell'Uranio (^{238}U), è un gas inerte (nobile), che non forma composti con altri elementi e che pertanto, una volta prodotto, è in grado di migrare nel materiale in cui si è formato (per diffusione nella struttura porosa o per trascinalamento da parte di acque sotterranee). Dato che il radon ha una vita media di

3,8 giorni, può raggiungere e interessare direttamente l’uomo nelle sue attività, in massima parte in locali confinati ove la concentrazione di radon raggiunge i valori più elevati per la ridotta ventilazione.

La dose media annua sulle popolazioni derivante dalle sorgenti di radiazione naturale (background naturale) si aggira attorno a 1 mSV (milliSievert). La normativa vigente, e più in generale, le fonti bibliografiche, fanno riferimento al Radon quale inquinante indoor (quindi di interesse per gli ambienti chiusi), poiché attraverso meccanismi di accumulo esso raggiunge in ambienti chiusi concentrazioni più elevate rispetto all’aria ambiente. Questa osservazione deve essere tenuta presente nel confronto tra le concentrazioni misurate dalle postazioni della rete di rilevamento (relative a valori in aria ambiente) e i valori di riferimento (relativi a concentrazioni in ambienti chiusi). In tema di esposizione al radon, l’OMS ha stabilito in 20000 pCi/m³ (740 Bq/m³, 1 Ci =3.7E10 Bq) il valore massimo di concentrazione da considerare pericoloso per esposizioni prolungate. Secondo il documento ICRP (International Commission on Radiological Protection “Principles for Limiting Exposure of the Public to Natural Sources of Radiation”, 1984), non è possibile determinare dei limiti di concentrazione ai contributi portati dalla radioattività naturale, che tuttavia deve essere monitorata. I limiti indicati devono essere applicati solo in situazioni nelle quali si ha una variazione a causa dell’attività umana. Il valore di 200 Bq/m³ per la concentrazione di radon è considerato accettabile all’interno di case esistenti, quello di 100 Bq/m³ per le case di nuova costruzione.

Con la DGR 1019 del 26/11/2012 sono stati diffusi i risultati delle misurazioni per tutti i comuni della Toscana e individuati 13 comuni (Tab. 1) a maggior rischio radon ai sensi del suddetto art 10 sexies.

Tab. 1 - Comuni a maggior rischio radon individuati in Toscana ai sensi del D.Lgs. 230/95 e s.m.i. e a confronto i dati relativi al Comune di Castelnuovo Val di Cecina. MA = Media Aritmetica; MB = Media Geometrica

Provincia	Comune	Abitazioni				Luoghi di lavoro			
		N	MA Bq/m ³	MG Bq/m ³	% > 200 Bq/m ³	N	MA Bq/m ³	MG Bq/m ³	% > 400 Bq/m ³
Grosseto	Sorano	19	289	201	50%	40	622	260	43%
Grosseto	Santa Fiora	24	240	168	42%	28	245	169	36%
Siena	Piancastagnaio	28	211	151	38%	29	289	170	24%
Siena	Abbadia San Salvatore	39	205	153	36%	37	246	147	19%
Grosseto	Isola del Giglio	22	157	110	27%	7	151	95	29%
Livorno	Marciana	18	161	84	25%	16	369	193	31%
Grosseto	Pitigliano	16	155	135	24%	34	329	213	38%
Pisa	Montecatini Val di Cecina	19	344	59	22%	17	278	98	18%
Grosseto	Arcidosso	28	143	112	22%	30	239	118	27%
Grosseto	Roccastrada	16	119	77	18%	32	151	80	13%
Grosseto	Castel del Piano	25	117	91	13%	35	247	116	14%
Livorno	Marciana Marina	15	111	74	13%	16	183	118	13%
Pistoia	Piteglio	19	106	66	12%	11	61	50	0%

Provincia	Comune	N	MA Bq/m ³	MG Bq/m ³	% > 100 Bq/m ³	% > 200 Bq/m ³	% > 300 Bq/m ³
Pisa	Castelnuovo di Val di Cecina	15	31	27	2%	0%	0%

I dati nella Tab. 1 mostrano che, salvo nel caso di Piteglio, dove il numero di luoghi di lavoro misurati è relativamente piccolo, nei Comuni individuati il problema del radon si

presenta sia nelle abitazioni che nei luoghi di lavoro (inclusi gli edifici con accesso al pubblico e le scuole). In alcuni casi le differenze di entità nei valori medi e nei superamenti dei livelli di riferimento sono non significative da un punto di vista statistico (ad esempio fra Santa Fiora e Abbadia San Salvatore); inoltre i parametri della distribuzione rappresentano valori medi per il territorio comunale, ma è necessario tenere presente che in alcuni casi il Comune può presentare una forte disomogeneità territoriale, come nel caso di Montecatini Val di Cecina.

Le postazioni Arpat di rilevamento del radon più vicine ai siti in esame sono poste a Montalcinello (circa 10 km a Sud-Est rispetto al sito di perforazione), Travale (circa 9 km a Sud) e Belforte (circa 8 km a Est). I valori medi nelle tre postazioni fisse registrati nel periodo 2003-2006 sono tutti compresi tra 5 e 11 Bq/m³, notevolmente inferiori ai valori di riferimento sopra citati. I massimi rispettivamente raggiunti nelle varie postazioni sono: Montalcinello = 108 Bq/m³ nel 2003, Belforte = 24 Bq/m³ nel 2004 e Travale = 31 Bq/m³ nel 2005. Nella postazione di Montalcinello nel 2003 si è superato il “livello medio annuale in aria” di 10 Bq/m³. Nel 2006 i valori rilevati nelle campagne di misura confermano i valori medi più elevati nella postazione di Montalcinello.

2.1. Il Radon-222 nelle Centrali di Larderello

La radioattività nei gas di Larderello è stata studiata sin da inizio del ‘900 quando Madame Curie nel 1914 eseguì le prime campagne di misura. Ulteriori campionamenti furono pubblicati nel 1934 da Sborgi¹ e tra il 1947 e il 1953 la Larderello Co. eseguì numerose campagne di misura del Radon nell’area di larderello-Castelnuovo (Stoker, Kruger 1975) D’Amore nel 1975 pubblicò ulteriori dati relativi ad analisi sul Radon-222 misurato in 193 pozzi nell’ara di Larderello. In particolare lo studio di D’Amore ha evidenziato come i pozzi con la più alta concentrazione di Radon-222 siano quelli più superficiali e maggiormente prossimi alla zona di ricarica. Le zone centrali del campo di Larderello mostrano invece concentrazioni inferiori anche di un ordine di grandezza. I valori più bassi si sono registrati nei pozzi più profondi i cui fluidi mostrano una chiara origine legata a circolazioni nel complesso metamorfico.

A tale scopo si riportano i valori di Radon misurati in 22 pozzi nel settore sud-occidentale del campo di Larderello (Serrazzano) e pubblicati da Semprini, Kruger e D’Amore nel 1982. Le concentrazioni di Radon riportate rientrano all’interno dei range misurati dalle 3 stazioni di monitoraggio indicate in precedenza suggerendo una sostanziale omogeneità di emissioni nel corso degli ultimi 35 anni.

¹ Sborgi, 1935 – *Studi e ricerche sui gas dei soffioni boraciferi con particolare riguardo a loro contenuto in Elio e altri Gas Nobili. Mem. Real. Acc. Italia. Classe Sci. Fis. Mat. Nat. 5, 13*

Stoker, Kruger 1975 – Radon measurements in geothermal systems. Stanford University Geothermal Program

D’amore 1975 – Radon-222 Survey in Larderello Geothermal Field, Italy (Part 1) – Geothermics, 4:1-4

Tab. 2 – Concentrazione di Radon-222 in diversi pozzi geotermici nella zona di Serrazzano (mod. da Semprini et al. 1982)

RESERVOIR AND RADON DATA FOR THE SERRAZZANO GEOTHERMAL FIELD								
Well	T _{res} (°C)	P _{top} (bars)	P̄ (bars)	Y (kg/kg)	V̄ _s (m ³ /kg)	Ȳ V̄ _s (m ³ /kg)	K*	Rn (nCi/kg)
1	270	20	41	0.39	0.052	0.036	0.020	50
2	250	12	30	0.82	0.072	0.066	0.051	95
3	240	5	24	0.58	0.088	0.070	0.054	148
4	230	5	20	0.43	0.105	0.076	0.070	149
5	230	5	20	0.53	0.105	0.081	0.072	132
6	220	5	17	0.63	0.126	0.103	0.092	145
7	230	5	20	0.66	0.105	0.087	0.071	124
8	220	5	17	0.72	0.122	0.105	0.093	166
9	220	5	17	0.64	0.122	0.100	0.091	157
10	210	5	14	0.82	0.147	0.134	0.114	302
11	270	19	41	0.59	0.052	0.042	0.02	136
12	230	16	23	0.49	0.090	0.072	0.065	153
13	240	17	27	0.38	0.079	0.059	0.052	153
14	220	20	22	0.40	0.092	0.064	0.056	127
15	240	25	30	0.80	0.070	0.063	0.031	95
16	240	22	28	0.74	0.074	0.064	0.048	132
17	270	25	43	0.46	0.049	0.036	0.027	41
18	260	20	36	0.42	0.059	0.042	0.037	108
19	260	25	38	0.38	0.056	0.039	0.042	68
20	220	15	20	0.54	0.105	0.081	0.073	129
21	220	9	18	0.83	0.118	0.109	0.089	183
22	220	8	17	0.65	0.118	0.098	0.084	168

T_{res}: Temperatura Serbatoio; P_{top} Pressione al tetto del serbatoio; Y: Saturazione del vapore; V_s: Volume Specifico medio; K: coefficiente per modello a parametri concentrati

2.2. Il Radon-222 nel suolo

Nella regione di Larderello sono stati anche svolti studi per valutare le naturali emissioni di Radio-226 dal suolo (George et al., 1980). Il livello di background medio naturale misurato è stato di 0.9 pCi/g e il flusso di Radon medio pari a 18 pCi/m²min è risultato essere anche inferiore alla media mondiale di 25.5 pCi/m²min. Dall'analisi riportata in Tab. 3 emerge che le centrali attive emettevano in atmosfera 8 Ci/giorno, ovvero 5.6 mCi/min che per un'area di circa 200km² occupati dalla superficie di interferenza delle centrali riportano ad circa 28 pCi/m²min.

Tab. 3 – Radon emesso dalle principali centrali geotermiche (mod da George et al, 1980)

Location	Radon Release		Steam Tons/Day
	pCi/l	Ci/day	
Larderello (3 plants)	54,000	3.6	32,000
Castelnuovo	141,000	1.5	7,300
Sasso	57,000	0.5	6,000
Serrazzano	70,000	1.3	7,200
Lagoni Rossi	90,000	0.4	5,300
Lago	163,000	0.7	8,700
Monterotondo	53,000	0.08	2,100
TOTAL OUTPUT		8.0	68,600

Tab. 4 – Sorgenti di Radon nelle vicinanze delle centrali geotermiche (mod da George et al, 1980)

Sample Location*	Radium 226 in soil	Radon Flux from soil	Rock Formation
	pCi/g	pCi m ⁻² min ⁻¹	
1	1.2	17	Sandstone
2	1.1	20	Sandstone
3	1.2	14	Anhydrite
4	1.1	16	Anhydrite
5	0.5	13	Natural Manifestations
6	0.3	18	Natural Manifestations
7	0.8	19	Calcareous Marnous Flysch
8	0.9	21	Calcareous Marnous Flysch
9	1.0	15	Fossil Manifestations
10	1.1	24	Fossil Manifestations
Average =	0.9	18	

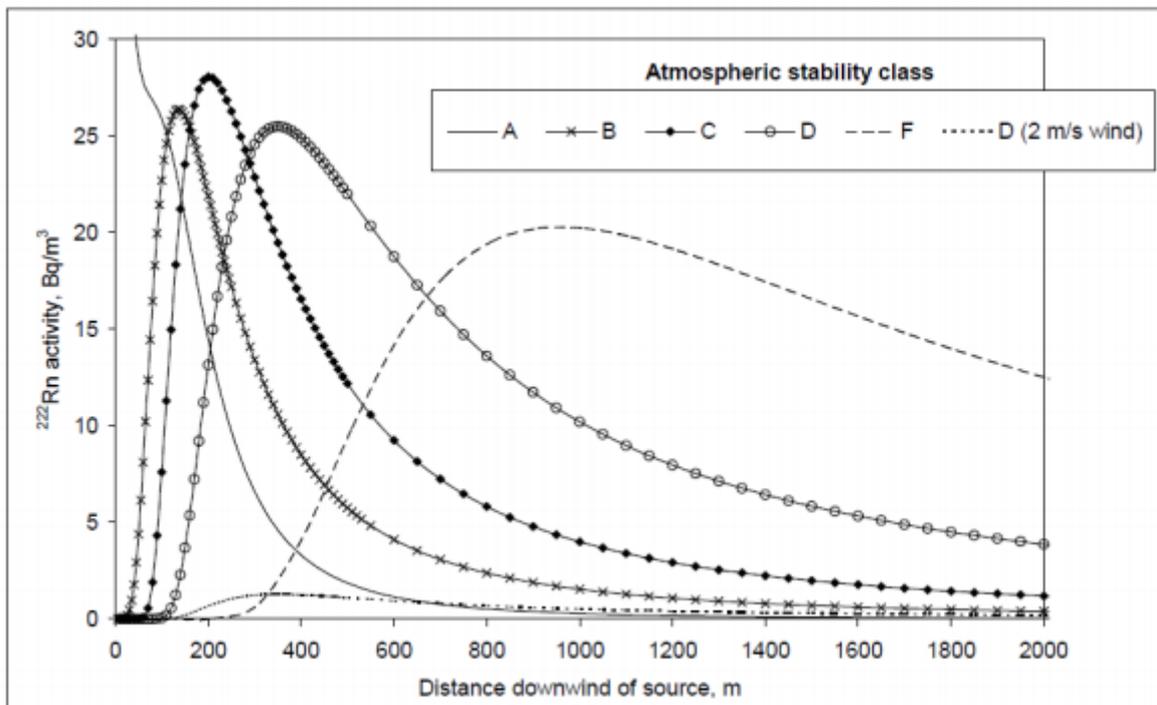
E’ quindi possibile affermare che in base a tali dati il flusso di radon equivalente emesso dalle centrali, riferite all’areale di involuppo delle stesse, ha uno scostamento di appena il 10% circa rispetto al flusso medio mondiale.

In merito alle emissioni di Radon durante le fasi di perforazione va sottolineato che le sostanze emesse durante le prove di produzione sono naturalmente contenute nel fluido geotermico estratto dal sottosuolo rendendo impossibile distinguere l’impatto ambientale delle perforazioni dalla produzione dal fondo naturale presente nell’area. In considerazione delle modeste portate di fluido in gioco (in genere poche decine di t/h), le emissioni che derivano dalle prove di produzione sono quindi notevolmente inferiori ai limiti stabiliti dalla normativa vigente (Decreto legislativo 26 maggio 2000, n. 241) e, di conseguenza, l’impatto sulle concentrazioni di radon si pu  ritenere anch’esso trascurabile.

2.3.Lo Studio “Impatto radiologico della produzione geotermoelettrica” di RSE (2013)

Nel 2013   stato pubblicato da RSE Ricesca Sistema Energetico un rapporto riguardo l’impatto radiologico della produzione geotermoelettrica².

Lo studio, basato su dati bibliografici tratti da parte delle pubblicazioni citate nel presente documento, ha riportato anche modelli diffusionali di Radon222 che mostrano come i valori di tale elemento in atmosfera non superino i 30Bq/m³ a una distanza di circa 200m mentre a circa 1km le concentrazioni di Radon222 scendano sotto i 15Bq/m³.



Gli autori concludono quindi che analizzando dati reali per l’area di Larderello per un impianto da 20MW i valori sono $1.9 \cdot 10^5$ Bq/s e per un impianto da 50 MW i valori salgono a $4.8 \cdot 10^5$ Bq/s. Utilizzando i modelli diffusionali proposti dagli autori, i valori massimi di Radon sono collocati tra 100 e 1000m dalle torri di raffreddamento. Concludendo “Per il sito di Larderello,   stata stimata la concentrazione in atmosfera utilizzando le misure di

² <http://www.rse-web.it/documenti/documento/315378>

concentrazione di Radon nel fluido e utilizzando un modello di dispersione gaussiano in atmosfera: la dispersione nell'atmosfera comporta una diluizione tale da non superare i limiti per le quali è necessario adottare misure per la salvaguardia della salute. Inoltre il livello medio di attività è paragonabile a quello dovuto alla emissione naturale. Per un impianto di 50 MW, con camino 20 m di altezza, il valore massimo di attività del Radon è inferiore a 200 Bq/m³ che è un livello di riferimento per l'esposizione nelle abitazioni, per una velocità del vento > 1.5 m/s. Un paio di campagne di misura del livello di Radon in abitazioni private e scuole hanno confermato che il contributo delle stazioni geotermiche non è distinguibile dal fondo naturale dato dalla emissione di Radon dal terreno".

2.4.Note conclusive

I dati sopra riportati indicano che nella zona del P.R. Castelnuovo non risultano dati di flusso naturale di radon anomali. Inoltre il contributo delle emissioni delle centrali geotermiche risulterebbe indistinguibile dal fondo naturale.

Il progetto Castelnuovo, non prevedendo emissioni in atmosfera, non andrà ad apportare alcun contributo al flusso di radon della zona pertanto non comporterà alcun incremento dell'esposizione della popolazione a radioisotopo.

Anticipando le indicazioni dell'art. 54 della Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio Europeo³, saranno eseguiti controlli periodici sul rispetto del limite di 300 Bq/m³ sul luogo di lavoro.

3. RADIAZIONI GAMMA

L'esecuzione delle misure di radon su tutto il territorio regionale ha confermato che la popolazione in Toscana è esposta a livelli di radon medi più bassi della media nazionale e di altre regioni; sono però presenti alcune zone dove sono più frequenti i superamenti dei livelli di riferimento, in particolare su formazioni geologiche di origine magmatica, che si trovano prevalentemente nella parte meridionale della regione, nelle isole e in alcuni casi in corrispondenza di rocce sedimentarie con elevata permeabilità, sull'Appennino. A tal proposito si riportano le mappe della radioattività naturale delle rocce affioranti in Toscana (

Fig. 1) e di concentrazione degli elementi Potassio K, Uranio U, Thorio Th, responsabili delle radiazioni gamma misurate all'Isola d'Elba (Fig. 2 e Fig. 3) dove sono presenti in affioramento una grande varietà di litologie in parte affini a quelle incontrate in profondità nella regione geotermica di Larderello-Travale.

³ Art. 54 - Radon nei luoghi di lavoro - 1. Gli Stati membri stabiliscono livelli di riferimento nazionali per le concentrazioni di radon nei luoghi di lavoro. Il livello di riferimento per la media annua della concentrazione di attività aerea non deve essere superiore a 300 Bq m⁻³, a meno che un livello superiore non sia giustificato dalle circostanze esistenti a livello nazionale.

Map of natural radioactivity content in rocks of
 the Tuscany Region (Italy)

authors:

Belotti Enrico, Bezzon Gianpietro, Boggini Carlo, Buso Paolo, Cacioli Antonio, Callegari Ivan, Camignani Luigi, Colonna Tommaso, Di Carlo Giuseppe, Fantozzi Pierluigi,
 Fiorentini Giovanni, Guastaldi Enrico, Martovani Fabio, Mariani Sara, Massa Giovanni, Mosè Liliana, Rossi Alvarez Carlos, Shyti Margjela, Xhixha Genti.

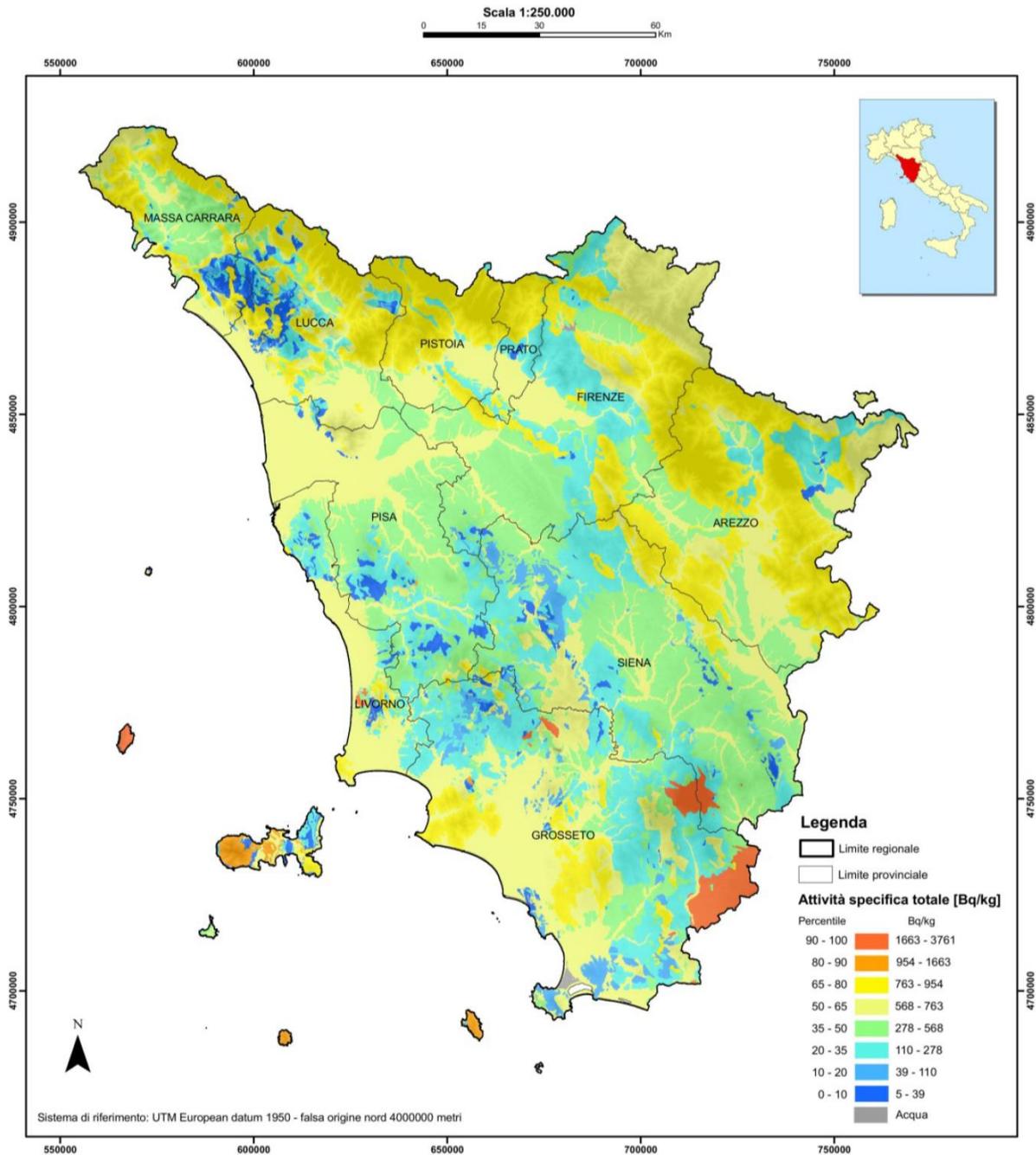


Fig. 1 - Mappa della radioattività naturale della Toscana (mod. da Xhixha, 2012)

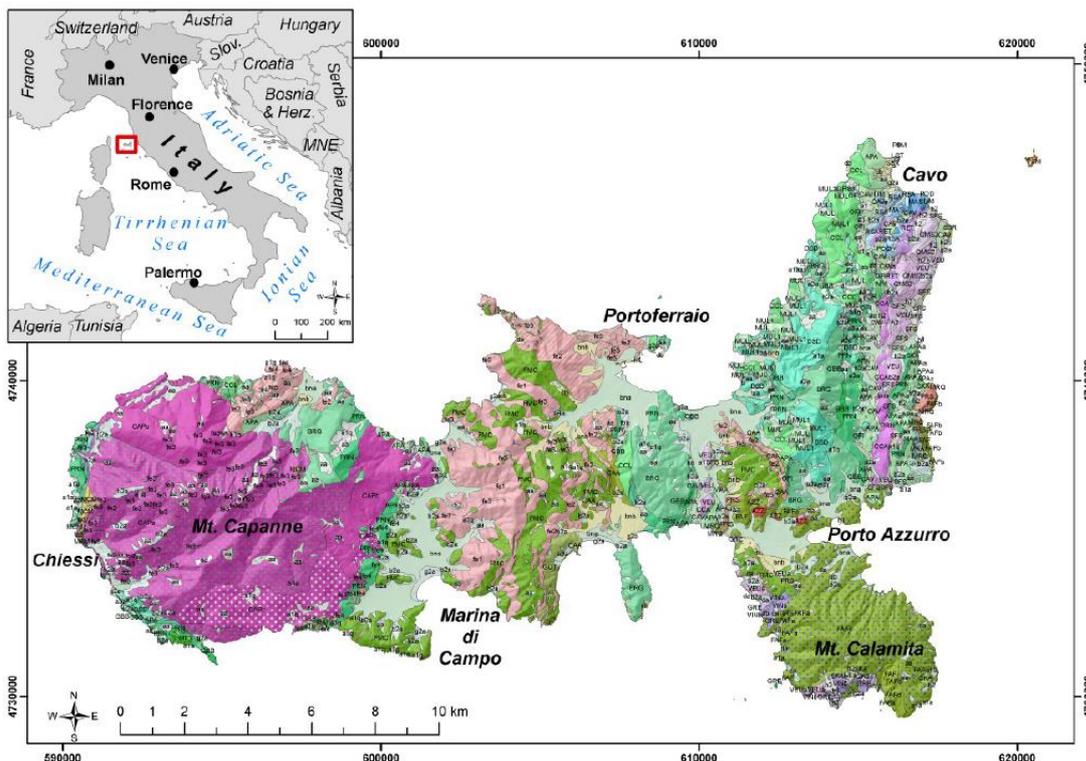
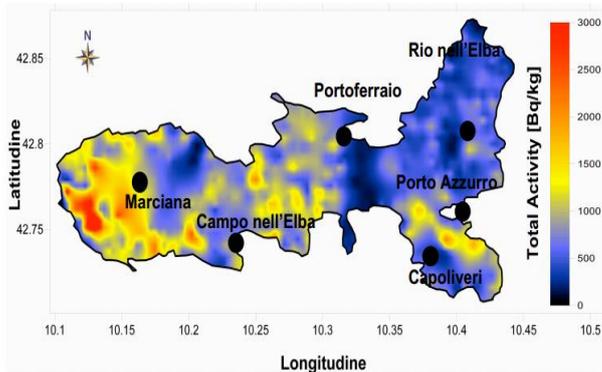
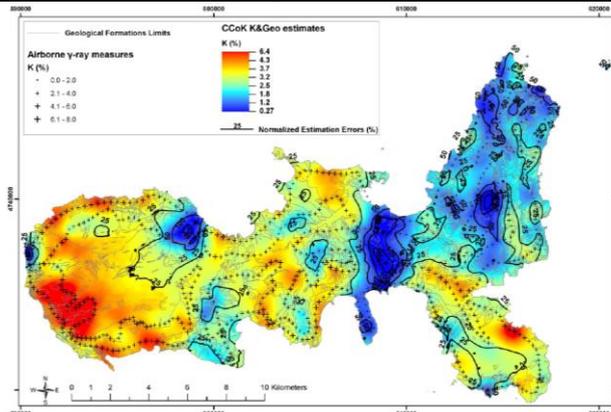


Fig. 2 - Carta Geologica dell'Isola d'Elba (mod. da Carta Geologica della Regione Toscana alla scala 1:10000 - CGT, 2011): zona occidentale magenta: rocce granitiche; zona centrale e nord-orientale verde chiaro, viola e rosa: formazioni liguridi - calcari, marne e flysh; zona su-orientale verde scuro: unità metamorfiche - filladi, calcescisti, quarziti

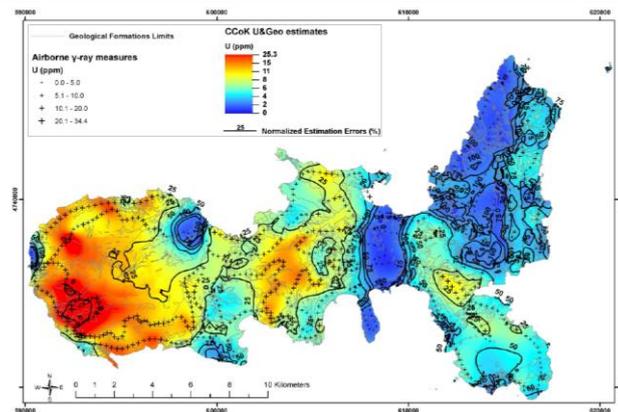
Attività gamma totale (mod. da Bezzon et al. 2011)



Abbondanza di Potassio K (%) registrata nelle misure di radiazione gamma



Abbondanza di Uranio U (ppm) registrata nelle misure di radiazione gamma



Abbondanza di Thorio Th (ppm) registrata nelle misure di radiazione gamma

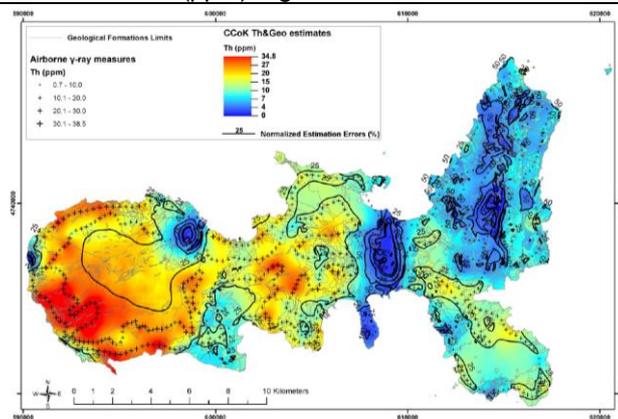


Fig. 3 – Mappe della radiazione Gamma nell'Isola d'elba e concentrazione degli elementi responsabili di tale radiazione (mod. da Xhixha, 2012)

Dall'osservazione delle mappe riportate si evidenzia una netta correlazione tra le formazioni geologiche affioranti e il livello di radioattività naturale, sensibilmente maggiore nella zona occidentale dove affiora il complesso granitico intrusivo del Monte Capanne e dove vengono raggiunti i picchi massimi di attività (1500-3000 Bq/kg) e nella zona sud-orientale dove sono esposte rocce appartenenti al complesso metamorfico del Monte Calamita ma dove comunque i valori risultano essere inferiori (500-1500 Bq/kg). Inoltre, aree che mostrano attività affini al settore di Monte Capanne, seppur molto localizzate, sono presenti anche in prossimità dell'abitato di Porto Azzurro (costa orientale dell'Isola d'Elba) dove è stato cartografato un plutone granitico e numerose intrusioni aplitiche.

Per quanto riguarda la zona di interesse per le perforazioni nel P.R. Castelnuovo, informazioni sulla radiazione gamma delle rocce incontrate in profondità è fornita da una pubblicazione di Batini et al. (2002), inerente il pozzo Sesta 6bisA collocato nelle immediate vicinanze del Progetto Castelnuovo. Tutti i valori riportati, se confrontati con quelli delle rocce affioranti all'Isola d'Elba, rientrano nel range di valori bassi e medio-bassi (K_{Sesta} : 1.1-2.4% vs K_{Elba} : 0.27-6.4%; U_{Sesta} : 2-4.4ppm vs U_{Elba} : 0-25.3ppm; Th_{Sesta} : 2.8-12.7ppm vs Th_{Elba} : 0-34.8ppm), indicando un'attività radiogenetica limitata e largamente più contenuta di quella dell'Isola d'Elba (Sesta: 44-109.8 GAPI=98-244 Bq/kg vs Elba 0-3000 Bq/kg).

Tab. 5 – Correlazione tra stratigrafia e radiazione gamma per il pozzo Sesta_6bisA (mod. Batini et al., 2002)

Lithology	Depth Interval (m)	GR (GAPI)	K (%)	TH (ppm)	U (ppm)
<i>Neogene Sediments</i>	0-280	44.0 ±3.8	1.1 ±0.1	3.9 ±0.6	2.0 ±0.5
<i>Flysch</i>	280-550	63.0 ±5.3	1.9 ±0.1	2.8 ±0.77	2.8 ±0.7
<i>Tectonic Wedges</i>	550-1900)	48.0 ±7.6	1.92 ±0.1	6.7 ±1.2	2.5 ±0.7
<i>Phyllites</i>	1900-2220	93.5 ±12.5	2.38 ±0.6	11.7 ±1.9	3.2 ±1.1
<i>Micaschists</i>	2220-3800	109.8 ±35.5	2.40 ±0.9	12.7 ±4.6	4.4 ±1.6
<i>Gneiss</i>	3800-4000	N/A	N/A	N/A	N/A

Non vi sono quindi dati per ritenere che il detrito di perforazione possa comportare esposizione del personale a radiazioni gamma né che debba essere classificato come rifiuto radioattivo.

In fase di perforazione delle unità metamorfiche e/o magmatiche, qualora dai log gamma-ray in pozzo dovessero riscontrarsi valori anomali in eccesso dei gradi API, il detrito risultante sarà sottoposto ad analisi per determinarne l’eventuale radioattività e l’eventuale necessità di ri-classificazione e di valutazione dell’esposizione dei lavoratori.

4. CONCLUSIONI

Sulla base dei dati disponibili e in previsione delle attività di perforazione che verranno svolte nel settore sud-occidentale del P.R. Castelnuovo si può concludere che:

- I livelli di emissioni di Radon naturali dal suolo nella zona di interesse non rappresentano fattori di rischio per la salute dei lavoratori impegnati nelle attività previste. Le concentrazioni naturali di radon rilevate sono infatti largamente inferiori ai livelli di riferimento di 500 Bq/m³ (Decreto legislativo 26 maggio 2000, n. 241) oltre i quali è necessario valutare le dosi ai lavoratori e ridurre le concentrazioni.
- Emissioni di radon durante le fasi di perforazione possono essere associate solo alle prove di erogazione breve dei pozzi, limitate nel tempo a 2-3 giorni. Per tali emissioni non è previsto il superamento dei livelli di riferimenti di 500 Bq/m³ (Decreto legislativo 26 maggio 2000, n. 241), in quanto le concentrazioni di radon attese nei fluidi prodotti statisticamente rientreranno all’interno dei livelli di flusso medio mondiale.
- La radioattività delle rocce incontrate nel sottosuolo non è tale da rappresentare pericoli di esposizione per i lavoratori impiegati nelle attività di perforazione, in quanto sensibilmente inferiore ai livelli di radioattività naturale di aree geologicamente affini (e. Isola d’Elba) alle rocce attese in profondità nel settore sud-ovest del P.R. Castelnuovo.
- I dati sulla radioattività delle rocce non sono tali da far classificare il detrito di perforazione come rifiuto radioattivo.

Riferimenti Bibliografici

Batini F. et al, 2002. *Geophysical well logging- a contribution to the fractures characterization*. PROCEEDINGS, Twenty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 28-30, 2002

Battaglia A., De Pasquale N., Quaini L., Storni E., 1988. *Indagini relative agli studi per la valutazione di impatto ambientale degli impianti geotermici del Monte Amiata: radioattività ambientale*. Rapporto CISE 4633.

Bezzon G.P. et al. 2011. *Mapping of Natural Radioelements Using Gamma-Ray Spectrometry: Tuscany Region Case of Study*. LNL Annual Report, Applied, General and Interdisciplinary Physics

Capra D., 1996. *Misura del Radon-222 dal suolo dell'area di Travale*. Rapporto CISE-SCA-96-100.

CGT, *Accordo di Programma Quadro Ricerca e Trasferimento Tecnologico per il Sistema Produttivo* 2011. C.1. Geologia e Radioattività Naturale - Sottoprogetto A: Geologia (Regional Framework Program for research and technological transfer to industry- Technical Report, CGT Center for GeoTechnologies, University of Siena; Tuscany Region: Italian Ministry of Education, University and Research., 2011.

George A., Scandiffio G. 1980. *The distribution of Radon and Radon daughters in the Geothermal region of Larderello*. Proceedings - Second DOE-ENEL Workshop for Cooperative Research in Geothermal Energy

Semprini L., Kruger P., 1982. *Interpretation of Radon concentration in the Serrazano zone of the Larderello Geothermal Field*. Proceeding 8th Workshop Geothermal Reservoir Engineering.

Xhixha G., 2012. *Advanced gamma-ray spectrometry for environmental radioactivity monitoring*. Tesi di Dottorato, Università di Ferrara, 146pp

Normativa di riferimento

- D.Lgs. Governo n° 230 e successive modifiche del 17/03/1995: "Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti.", pubblicato su Gazzetta Ufficiale Suppl. Ordin. n° 136 del 13/06/1995.
- D.Lgs. Governo n° 241 del 26/05/2000: "Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti.", pubblicato su Gazzetta Ufficiale Suppl. Ordin. n° 203 del 31/08/2000.
- D.Lgs. Governo n° 257 del 09/05/2001: "Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 26 maggio 2000, n. 241, recante attuazione della direttiva 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti.", pubblicato su Gazzetta Ufficiale Italiana n° 153 del 04/07/2001.
- Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome di Trento e Bolzano del 06/02/2003: "Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei."

- Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5 dicembre 2013, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom