

PERMESSO DI RICERCA DI RISORSE GEOTERMICHE FINALIZZATO ALLA SPERIMENTAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA DENOMINATO "CORTOLLA"

COMUNI DI MONTECATINI VAL DI CECINA – PROVINCIA DI PISA

PROPONENTE:

R.T.I.

Raggruppamento Temporaneo di Impresa



PROGETTO DEFINITIVO

NUMERO ELABORATO:

CRT-RP01-A06-V01

TITOLO:

PROPOSTA DI PIANO DI MONITORAGGIO

DATA:

Giugno 2015

PROGETTISTI:

RENEWEM S.r.l

Via Norvegia n° 68 - 56021 Cascina (PI) - ITALIA

UFFICI:

Renewem srl

Via Norvegia n° 68 - 56021 Cascina (PI) - ITALIA
tel. 0039 050 6205317 fax. 0039 050 0987814

Cosvig

Via T. Gazzei n° 89 - Radicondoli (SI) - ITALIA
tel. e fax. 0039 0577 752950

REVISIONE

	DATA	NOTE
REV.1	10/03/2017	Aggiornamento a seguito delle integrazioni richieste dalla Commissione VIA
REV.2		
REV.3		



**PERMESSO DI RICERCA DI RISORSE GEOTERMICHE
FINALIZZATO ALLA SPERIMENTAZIONE DI UN
IMPIANTO PILOTA DENOMINATO “CORTOLLA”**

COMUNI DI MONTECATINI VAL DI CECINA – PROVINCIA DI PISA

PROCEDURA DI VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE

PROPOSTA DI PIANO DI MONITORAGGIO

RENEWEM S.R.L.

Gruppo di lavoro:

Dott. W. Luperini

Dott. F. Martini

Dott. N. Sannino

SOMMARIO

PREMESSA	1
1 MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DEI SUOLI.....	3
1.1 PUNTI DI MONITORAGGIO	3
1.2 PARAMETRI DI CONTROLLO	4
1.3 FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO.....	4
2 MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE.....	6
2.1 METODOLOGIA ADOTTATA PER LA STESURA DEL PMA.....	6
2.2 OBIETTIVI SPECIFICI DEL MONITORAGGIO	7
2.3 IMPATTI SULLA COMPONENTE ACQUA	7
2.4 LOCALIZZAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE.....	8
2.5 RETI DI MONITORAGGIO ESISTENTI	10
2.6 PUNTI DI MONITORAGGIO	12
2.7 PARAMETRI DI CONTROLLO	13
2.8 FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO.....	14
2.9 MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO ED ANALISI.....	14
2.9.1 <i>Metodi analitici</i>	16
2.10 CRITERI PER LA DEFINIZIONE DELLE CONCENTRAZIONI DEL “BIANCO” E DEI LIVELLI DI GUARDIA 20	
2.11 VALORI DI SOGLIA DI CONTAMINAZIONE DA NORMATIVA.....	20
2.12 VALORI NATURALI	23
2.13 VALORI DI ATTENZIONE.....	23
2.14 CRITERI DI ELABORAZIONE DEI DATI	23
2.15 PIANO DI INTERVENTO IN CASO DI SUPERAMENTO DELLE SOGLIE.....	23
2.16 REPORTISTICA	24
3 MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL’ARIA	25
3.1 PUNTI DI MONITORAGGIO	25
3.2 PARAMETRI DI CONTROLLO	26
3.3 FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO.....	27

4	CRITERI PER LA DEFINIZIONE DELLE CONCENTRAZIONI DI “BIANCO” E DEI LIVELLI DI GUARDIA	27
4.1	PIANO DI INTERVENTO IN CASO DI SUPERAMENTO DELLE SOGLIE.....	28
5	MONITORAGGIO ACUSTICO	29
5.1	CRITERI METODOLOGICI.....	29
5.2	CRITICITA’ E PUNTI DI MISURA	29
5.3	PROGRAMMA DEI MONITORAGGI ACUSTICI.....	32
5.4	STRUMENTAZIONI E METODI.....	33
6	MONITORAGGIO MICROSISMICO	35
6.1	ATTIVITÀ SISMICA NELL’AREA GEOTERMICA DI LARDERELLO-TRAVALE.....	35
6.2	MONITORAGGIO MICROSISMICO	40
6.3	RETE DI MONITORAGGIO	41
6.4	PROCESSING DEI DATI.....	43
7	MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA	44
7.1	LA SUBSIDENZA NEI CAMPI GEOTERMICI IN COLTIVAZIONE	45
7.1.1	<i>Attività di subsidenza nell’area geotermica della Toscana</i>	45
7.1.1.1	ARPAT (www.arpat.toscana.it)	45
7.1.1.1.1	Area di Travale.....	45
7.1.1.1.2	Area di Larderello.....	46
7.1.1.2	Ciulli et al. (2005). Interpreting ground deformation and microgravity changes in the Travale-Radicondoli geothermal field (Italy)”	48
7.1.1.3	Dini et al. (1995). Reinjection monitoring the Larderello geothermal field using microgravity and topographic measurements.....	49
7.1.1.4	La risorsa geotermica per usi elettrici in Italia: Energia, Ambiente e Accettabilità Sociale” (2008) a cura dell’associazione Amici della Terra.....	50
7.1.1.5	Casagli et al. (2013). Il progetto DIANA e il monitoraggio della subsidenza in Toscana. 51	
7.1.2	<i>La subsidenza dei campi geotermici nel mondo</i>	54
7.1.2.1	Nuova Zelanda.....	54
7.1.2.1.1	Wairakei-Tauhara.....	54
7.1.2.1.2	Kawerau.....	57
7.1.2.2	California	57
7.1.2.2.1	The Geysers	57
7.1.2.3	Messico.....	59
7.1.2.3.1	Cerro Pietro	59

7.2	MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA.....	62
8	MONITORAGGIO DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI.....	67
8.1	LA GEOTERMIA E LE RADIAZIONI IONIZZANTI.....	68
8.2	POTENZIALI SORGENTI DI NORM E TENORM NELLE ATTIVITÀ GEOTERMICHE	70
8.3	QUADRO CONOSCITIVO	72
8.4	PROPOSTA DI UN PIANO PRELIMINARE DI MONITORAGGIO	74
9	CONCLUSIONI	76
10	DOCUMENTAZIONE CONSULTATA.....	77

PREMESSA

La RTI Renewem S.r.l.-Cosvig srl prevede di implementare tutte le fasi relative al progetto pilota “CORTOLLA” basandosi sull’applicazione di metodi moderni e delle migliori tecnologie in linea con le migliori prassi internazionali per la protezione dell’ambiente e della salute.

Al fine di raggiungere tale obiettivo, la RTI ha sviluppato una proposta di piano specifico per il monitoraggio ambientale nell’area di intervento, riconoscendo il ruolo fondamentale ricoperto da tale documento nell’ambito dell’intero progetto.

L’obiettivo primario del Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA) è quello di porsi ad ulteriore garanzia che tutte le attività del progetto siano realizzate secondo le normative vigenti e nel pieno rispetto della sicurezza per le persone e per l’ambiente nonché verificare che le misure di prevenzione e mitigazione adottate siano effettivamente efficaci.

Considerata la tipologia di attività da svolgersi e la significatività dei potenziali impatti residui, il monitoraggio sarà eseguito sulle seguenti componenti:

- monitoraggio della qualità dei suoli;
- monitoraggio della qualità delle acque superficiali e sotterranee;
- monitoraggio della qualità dell’aria;
- monitoraggio acustico;
- monitoraggio microsismico;
- monitoraggio di fenomeni di subsidenza;
- monitoraggio delle emissioni
- monitoraggio delle radiazioni ionizzanti.

1

Le modalità tecniche con cui verranno realizzate le campagne di monitoraggio saranno conformi alle specifiche di legge. Per garantire la massima trasparenza delle varie fasi del monitoraggio ambientale, la RTI valuterà l’opportunità di affidare tale attività, in conto terzi, ad Enti pubblici quali ARPA Toscana, Università, CNR, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Il monitoraggio si articola in tre fasi:

- *Monitoraggio ante-operam*: viene effettuato prima dell’inizio dei cantieri e dei lavori ed ha come obiettivo quello di fornire un quadro delle condizioni dell’ambiente prima della realizzazione delle opere;
- *Monitoraggio in corso d’opera*: riguarda il periodo durante il quale vengono realizzate le opere a partire dall’apertura dei cantieri fino al loro

completo smantellamento ed al ripristino del sito. Le indagini verranno svolte per tutta la durata dei lavori definendo un intervallo temporale di campionamento in funzione della componente ambientale da analizzare e della tipologia di intervento;

- *Monitoraggio post-operam*: comprende le fasi di pre-esercizio ed esercizio dell'opera. In questo caso specifico si tratta del periodo successivo al completamento dei pozzi e all'entrata in esercizio della centrale geotermoelettrica. La durata del monitoraggio sarà valutata in funzione della componente ambientale oggetto del monitoraggio.

Al fine di garantire la riproducibilità e l'attendibilità delle misure nelle varie fasi di monitoraggio (ante, durante e post operam), e permettere il confronto dei risultati ottenuti e dei controlli svolti, verranno utilizzate metodologie di campionamento nonché apparecchiature di rilevamento uniformi e utilizzando procedure standardizzate di analisi.

Di seguito viene presentata una proposta di Piano di Monitoraggio, la frequenza dei monitoraggi proposti ed un eventuale approfondimento degli stessi sarà poi valutato e concordato congiuntamente all'Autorità di Controllo e agli Enti Competenti.

Nel corso delle attività di monitoraggio verranno prodotte informazioni che potrebbero risultare di potenziale interesse per la comunità. La RTI Renewem-Cosvig è consapevole del valore di tali informazioni per migliorare la conoscenza dello stato ambientale dei luoghi oggetto di studio. Pertanto, fatta salva la salvaguardia della proprietà delle informazioni e qualunque aspetto di riservatezza, la RTI sarà lieta di comunicare i dati raccolti ai portatori di interesse.

Per i motivi appena espressi il Piano di Monitoraggio Ambientale è stato strutturato in modo da poter garantire:

- il controllo e la validazione dei dati;
- l'archiviazione e l'aggiornamento dei dati in modo semplice e congruo;
- la possibilità di realizzare confronti, comparazioni e analisi spaziali;
- elaborare carte tematiche;
- preparare report per le Autorità e i cittadini.

1 MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DEI SUOLI

Il piano di monitoraggio dei suoli si prefigge di verificare l'eventuale presenza di potenziali interferenze delle attività da svolgere sulle caratteristiche pedologiche dei terreni.

Nel caso del progetto CORTOLLA, il monitoraggio dei suoli ante-operam, in corso d'opera e post-operam risulta indispensabile al fine di monitorare l'impatto ambientale prodotto dall'eventuale emissione di inquinanti:

- durante le fasi di realizzazione del cantiere;
- durante la perforazione e a seguito delle prove di produzione;
- durante l'esercizio dell'impianto ORC.

Gli eventuali inquinanti prodotti in tali fasi di lavorazione andrebbero ad alterare l'equilibrio chimico-fisico dello strato superficiale dei suoli (0-20 cm) nelle aree limitrofe a quella di intervento.

1.1 PUNTI DI MONITORAGGIO

Lo scopo della campionatura è quello di ottenere campioni rappresentativi del mezzo campionato. Essa sarà effettuata secondo un piano prestabilito che rispetterà criteri di qualità.

L'ubicazione dei campioni nell'area di studio è stata basata sulla conoscenza di dati riguardanti:

- l'assetto morfologico, geologico, idrogeologico;
- la presenza, sia attuale, sia nel passato, di opere, impianti e installazioni, il loro utilizzo e i loro possibili impatti sull'ambiente;
- la presenza di percorsi favorevoli alla migrazione dei contaminanti;
- la presenza di potenziali bersagli della contaminazione.

Pertanto si propone un campionamento sistematico a griglia i cui punti ricadono all'interno delle celle di un reticolo a maglia quadrata da sovrapporre al sito per determinare senza condizionamenti i punti di campionamento. L'effettiva ubicazione del campione all'interno alla griglia terrà conto anche delle caratteristiche morfologiche, topografiche e di suolo locali. Ogni cella della griglia ha lato di 100 m. E' previsto di prelevare un totale di 4 campioni per ogni postazione di lavoro (Figura 1-1).

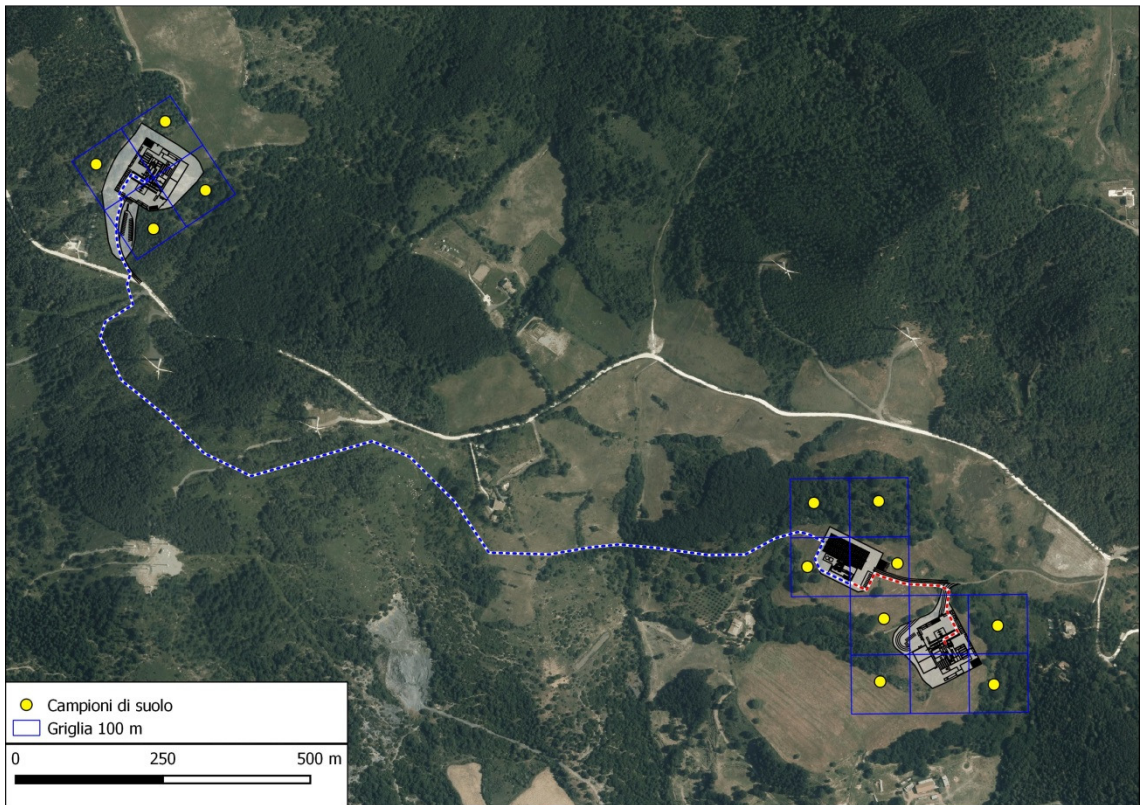


Figura 1-1. Proposta di ubicazione dei punti di monitoraggio dei suoli presso il polo di produzione, di reiniezione e la centrale geotermoelettrica.

1.2 PARAMETRI DI CONTROLLO

Le indagini di laboratorio saranno eseguite utilizzando metodiche standard riconosciute da Organismi nazionali ed internazionali. Tutti i risultati saranno georeferenziati al fine di consentire il loro inserimento nel Sistema Informativo Territoriale. I parametri che saranno analizzati sono i seguenti:

- pH;
- Idrocarburi totali;
- Metalli pesanti (piombo, rame, cromo, arsenico, mercurio, cobalto, cadmio, nichel, zinco);
- Zolfo e boro

1.3 FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO

Viste le fasi nelle quali si articola il progetto si prevedono i seguenti campionamenti:

- Prelievo e analisi di 12 campioni prima dell'apertura dei cantieri;
- Prelievo di 4 campioni a seguito delle prove di produzione di breve durata del 1° pozzo di produzione;

- Prelievo di 4 campioni a seguito delle prove di produzione di breve durata del 1° pozzo di reiniezione.
- Prelievo e analisi di 4 campioni a seguito della messa in produzione dell'impianto.

Questi 12 prelievi saranno ripetuti a cadenza annuale per tutta la durata di esercizio dell'impianto.

2 MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE

Per la redazione del PMA delle acque si è fatto riferimento a quanto contenuto nel documento “Linee Guida per la predisposizione del Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) delle opere soggette a procedura di VIA (D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., D.Lgs. 163/2006 e s.m.i.”.

2.1 METODOLOGIA ADOTTATA PER LA STESURA DEL PMA

In questo capitolo vengono fornite le indicazioni che sono state adottate durante la preparazione del Piano di Monitoraggio Ambientale in conformità a quanto contenuto nelle “Linee Guida per la predisposizione del Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) delle opere soggette a procedura di VIA (D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., D.Lgs. 163/2006 e s.m.i.”.

Lo scopo del PMA è quello di individuare eventuali impatti significativi sulle matrici ambientali attraverso la rilevazione di determinati parametri chimico-fisici. L’applicazione del PMA permetterà di evidenziare l’evoluzione dello stato dell’ambiente durante le varie fasi in cui si articola il progetto a partire da quella di cantiere fino alla realizzazione delle opere e di adottare le azioni correttive al fine di ristabilire le condizioni naturali ante operam.

Quindi gli obiettivi che il PMA si prefissa sono:

- 1) Individuazione dello stato di riferimento dell’ambiente;
- 2) Monitoraggio degli eventuali effetti sulle matrici ambientali durante le fasi in cui si articola il progetto;
- 3) Verifica che le operazioni di mitigazione adottate trovano la loro efficacia durante la realizzazione delle opere;
- 4) Verifica che l’insorgere di una situazione anomala sia legata direttamente alla realizzazione o all’esercizio delle opere;
- 5) Trasmissione alle autorità componenti dei risultati ottenuti.

Al fine di garantire che il PMA porti a compimento i suoi obiettivi durante la preparazione del piano sono state adottate le seguenti linee metodologiche:

- Per ogni matrice ambientale sono state individuate le azioni di progetto che possono generare impatti significativi e le misure di mitigazione atte a minimizzare tali interferenze;
- Sulla base delle azioni di progetto individuate sono state selezionate le componenti ambientali da monitorare;
- Per ogni componente ambientale oggetto di monitoraggio sono state poi definite:

- Estensione del monitoraggio in termini di area da indagare;
- Individuazione dei ricettori sensibili;
- Numero di punti/stazioni di monitoraggio dove eseguire i campionamenti o le misure;
- I parametri analitici per controllare l'evoluzione nello spazio e nel tempo dello stato dell'ambiente;
- Le tecniche di campionamento, misura ed analisi di campioni;
- La frequenza e la durata del campionamento o delle misure;
- I valori di soglia per l'individuazione di situazioni anomale;
- Le modalità di trasmissione dei risultati del monitoraggio agli enti competenti.

Infine il PMA fornisce una serie di indicazioni finalizzate alla gestione delle situazioni anomale e le azioni correttive per la loro risoluzione.

Un aspetto particolare al quale si è dato pieno sviluppo nella preparazione del PMA è quello legato al suo dimensionamento in termini di estensione delle aree di indagine, numero dei punti di monitoraggio, numero e tipologia dei parametri, frequenza e durata dei campionamenti in modo da commisurare il PMA alla reale significatività degli impatti potenzialmente legati al progetto.

2.2 OBIETTIVI SPECIFICI DEL MONITORAGGIO

Obiettivo del monitoraggio delle acque sotterranee e superficiali è quello di rilevare tempestivamente eventuali situazioni di inquinamento causate dalla realizzazione del progetto, al fine di adottare le necessarie misure correttive.

2.3 IMPATTI SULLA COMPONENTE ACQUA

Le potenziali criticità per le acque superficiali e per le falde acquifere sono legate a:

- l'attraversamento durante la perforazione di un eventuale acquifero superficiale;
- la possibilità di accidentali infiltrazioni dal piazzale del cantiere di fluidi inquinanti;
- la risalita di fluidi geotermici all'interno dell'acquifero superficiale.

Per ognuna delle criticità individuate è stata predisposta una scheda che sintetizza le informazioni riguardanti il tipo di interferenza, la fase del progetto in cui può avvenire, le eventuali misure di mitigazione adottate (Tabella 2-1).

Fase	Azioni di progetto	Impatti significativi	Componente ambientale	Misure di mitigazione
Cantiere di perforazione	Attraversamento durante la perforazione di un eventuale acquifero superficiale	Alterazione delle caratteristiche chimiche delle acque di falda	Acque sotterranee	Perforazione eseguita solo con acqua e fango bentonitico Rivestimento del pozzo con il casing e cementazione a giorno
Cantiere edile	Possibilità di accidentali infiltrazioni dal piazzale del cantiere di fluidi inquinanti	Alterazione delle caratteristiche chimiche delle acque di falda e superficiali	Acque sotterranee e superficiali	Gestione del cantiere secondo le norme
Cantiere di perforazione	Possibilità di accidentali infiltrazioni dal piazzale del cantiere di fluidi inquinanti	Alterazione delle caratteristiche chimiche delle acque di falda e superficiali	Acque sotterranee e superficiali	Gestione del cantiere secondo le norme. Sc svolgimento attività che possono prevedere sversamenti su aree impermeabilizzate
Cantiere di perforazione	Risalita di fluidi geotermici all'interno dell'acquifero superficiale	Alterazione delle caratteristiche chimiche delle acque di falda	Acque sotterranee	Rivestimento del pozzo con il casing e cementazione a giorno. Isolamento delle falde acquifere dal pozzo.

Tabella 2-1. Scheda di sintesi per le criticità individuate.

2.4 LOCALIZZAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE

L'area di indagine è stata definita sulla base delle fasi di progetto in relazione alla distribuzione del reticolo idrografico e alla vulnerabilità degli acquiferi presenti nonché alle sorgenti presenti nelle aree limitrofe a quelle di lavoro.

Il contesto geologico e idrogeologico nel quale è inserito il progetto è caratterizzato da unità geologiche con bassa permeabilità (Argille a Palombini) all'interno delle quali sono inglobate unità a permeabilità media per fratturazione (Basalti e Gabbri) che possono dare origine ad acquiferi localizzati. Le sorgenti presenti nell'area di progetto infatti sono tutte ubicate in corrispondenza del contatto tra ofioliti (acquifero) e i terreni impermeabili a componente argillosa delle Argille a Palombini. La stessa sorgente Pianelle, la più vicina alle opere in progetto, trae origine da una soglia di permeabilità generata dalle argille a palombini mentre l'acquifero è ospitato all'interno dell'affioramento dei gabbri. Si tratta pertanto di acquiferi locali e con estensione limitata alle aree di affioramento delle ofioliti.

Il substrato roccioso è ricoperto da una coltre detritica colluviale e/o eluvio-colluviale all'interno della quale, localmente, può essere ospitata una falda superficiale di tipo stagionale.

Questo assetto idrogeologico si ritrova anche nella carta della vulnerabilità degli acquiferi del piano strutturale del Comune di Montecatini VC. Consultando tale elaborato emerge che tutte le opere in progetto si trovano ubicate su aree classificate a vulnerabilità bassa, dove la risorsa idrica è apparentemente non vulnerabile, o media dove la risorsa idrica presenta un certo grado di protezione ma non sufficiente a garantirne la salvaguardia.

Il primo vero acquifero presente nell'area di progetto è quello ospitato all'interno della Formazione delle Anidriti di Burano e Calcere Cavernoso. Si tratta di un acquifero geotermico che è oggetto di coltivazione dell'impianto Pilota Cortolla. Questo acquifero non affiora mai nella zona di progetto e nelle aree limitrofe, i primi affioramenti sono ubicati a 18 km di distanza in direzione est (loc. Iano). Nell'area di progetto tale formazione è stata rinvenuta solo nel sottosuolo durante la perforazione di alcuni pozzi geotermici a profondità di 1400-1500 m pc al di sotto di una spessa copertura impermeabile costituita dalle Argille a Palombini.

Dal punto di vista del reticolo idrografico l'area in esame si trova ubicata lungo lo spartiacque che separa i bacini del Fiume Cecina (versante meridionale) e del Fiume Arno (versante settentrionale). La rete idrografica è costituita da fossi d'erosione che compongono un pattern dendritico sub-parallelo e trovano origine dai rilievi di Monte Massi-Poggio ai Fiori.

L'unico acquifero superficiale importante è quello ubicato nelle alluvioni del Fiume Cecina posto ad una distanza maggiore di 5 km dall'area di progetto. Questo acquifero, utilizzato anche per prelievo di acqua per il consumo umano, è ospitato nel materasso alluvionale del Fiume Cecina posto al di sopra di un substrato impermeabile costituito dai depositi neogenici delle Argille Azzurre e dalle Argille e Gessi del Fiume Era Morta a loro volta poste sui depositi afferenti alla Formazione delle Argille a Palombini. Alcune linee sismiche ubicate lungo il Fiume Cecina (Pascucci et alii, 1999) mostrano che la copertura impermeabile che separa l'acquifero del Fiume Cecina dal serbatoio geotermico raggiunge uno spessore maggiore di 1000 m, di fatto precludendo qualsiasi tipo di interazione tra i due acquiferi.

Dal quadro geologico-idrogeologico illustrato si ritiene che le potenziali interazioni determinate dalle opere e/o dalle attività previste nel progetto è ipotizzabile solo per quelle acque superficiali e sotterranee che si trovano nelle aree limitrofe a quelle di progetto. Vista la distribuzione delle sorgenti e pozzi si ritiene sufficiente estendere il PMA in un area di 1 km di raggio intorno alle aree di progetto (Figura 2-1).

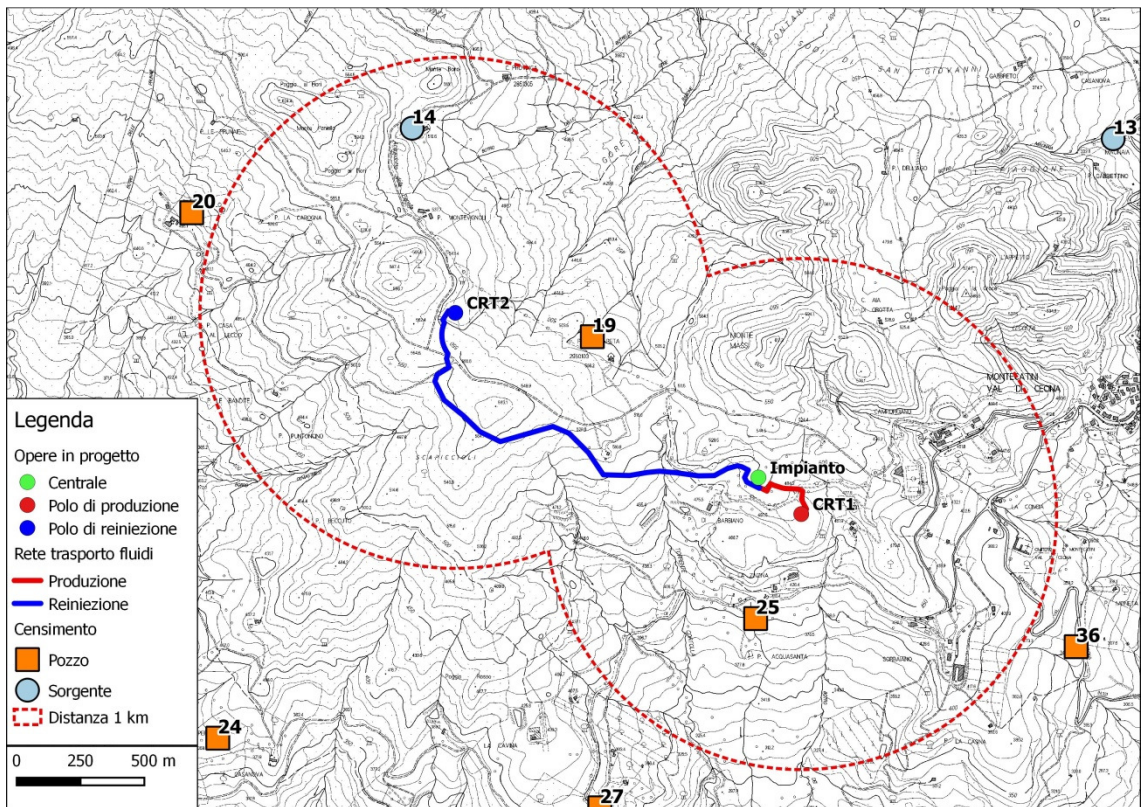


Figura 2-1. Estensione PMA delle acque. Per il censimento si rimanda all'elaborato CRT-RP01-A14-V00-censimento pozzi e sorgenti.

2.5 RETI DI MONITORAGGIO ESISTENTI

Il portale del Sistema Informativo Regionale dell'Ambiente della Toscana (SIRA) mette a disposizione l'ubicazione delle stazioni di monitoraggio delle acque superficiali (MAS) e sotterranee (MAT) e i risultati delle attività di controllo e monitoraggio effettuati dall'Agenzia per la Protezione Ambientale della Toscana.

Consultando la banca dati del SIRA è emerso che in un intorno di 5 km dall'area di progetto è presente una sola stazione di monitoraggio delle acque superficiali (MAS-WFD-03) mentre non sono presenti stazioni di monitoraggio delle acque sotterranee (Figura 2-2). Le stazioni più vicine si trovano ad una distanza compresa tra 5 e 9 km dall'impianto geotermoelettrico.

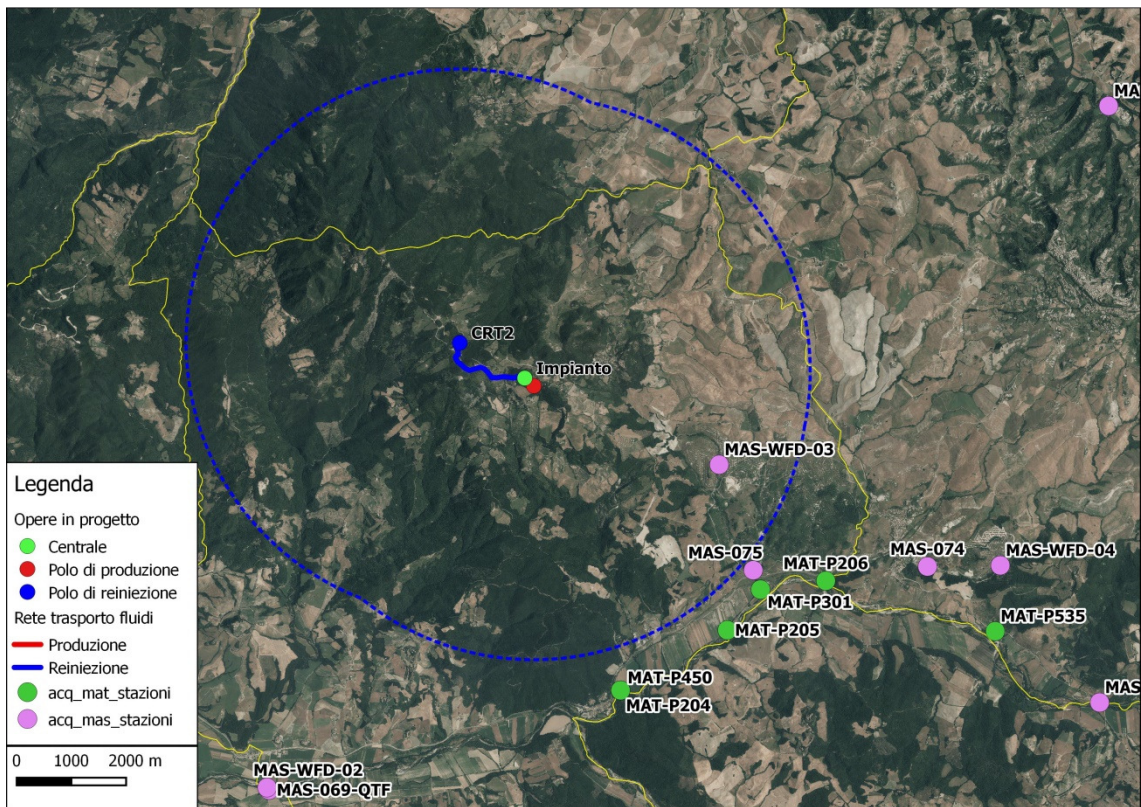


Figura 2-2. Ubicazione delle stazioni di monitoraggio delle acque superficiali (MAS) e delle acque sotterranee (MAT). (fonte: SIRA).

Di seguito si riporta l'elenco delle stazioni di monitoraggio.

Tipo	ID	Nome	Corpo Idrico
Prelievo	MAS-074	S. Maria - Saline	Botro Santa Marta
Prelievo	MAS-075	Grande Montecatini – Monte confluenza Cecina	Botro Grande di Montecatini
Prelievo	MAS-WFD-03	Grande di Montecatini – A monte discarica Buriano	Botro Grande di Montecatini
Prelievo	MAS-WFD-04	Santa Marta – A monte Altair	Botro Santa Marta
Prelievo	MAS-WFD-02	Cecina – Casino di Terra	Cecina
Misura delle porate	MAS-069-QTF	Ponte di Monterufoli	Cecina

Tabella 2-2. Stazioni di monitoraggio delle acque superficiali (MAS).

ID	Nome	Acquifero
MAT-P204	Pozzo Rufione	Acquifero del Cecina
MAT-P205	Pozzo P19	Acquifero del Cecina
MAT-P206	Pozzo P17	Acquifero del Cecina
MAT-P450	Ex P204 pozzo PG2 - Cecina	Acquifero del Cecina
MAT-P301	Piezometro S7	Acquifero del Cecina
MAT-535	San Lorenzo Piez.10 (420)	Acquifero delle Pianura del Cornia

Tabella 2-3. Stazioni di monitoraggio delle acque sotterranee (MAT).

2.6 PUNTI DI MONITORAGGIO

I punti di monitoraggio delle acque, sia sotterranee che superficiali, devono avere un'ubicazione tale da permettere di campionare le acque in ingresso a monte dell'area sui cui viene realizzato il cantiere e immediatamente all'uscita da questo (monte e valle idrogeologico).

Lo scopo del campionamento a monte idrogeologico è quello di definire la qualità delle acque immediatamente all'ingresso nell'area di cantiere. Questi dati poi vengono in seguito confrontati con quelli campionati a valle permettendo così di ottenere un quadro completo dello stato delle acque ante, sine e post operam.

La distanza dei punti di monitoraggio deve essere tale da poter permettere di rilevare immediatamente eventuali valori critici e quindi permettere un intervento tempestivo di mitigazione.

Poiché il cantiere risulta essere in una situazione di alto morfologico in quanto ubicato in corrispondenza di un crinale, non sarà possibile effettuare il campionamento a monte dell'area di intervento, pertanto verranno campionate solo le acque in uscita da questa (valle idrogeologica).

Per il monitoraggio delle acque sotterranee si prevede di campionare le acque della sorgente della Pianella. Inoltre si propone il monitoraggio dei corsi d'acqua superficiali, presenti subito a valle dell'area di progetto in 4 punti (Figura 2-3).

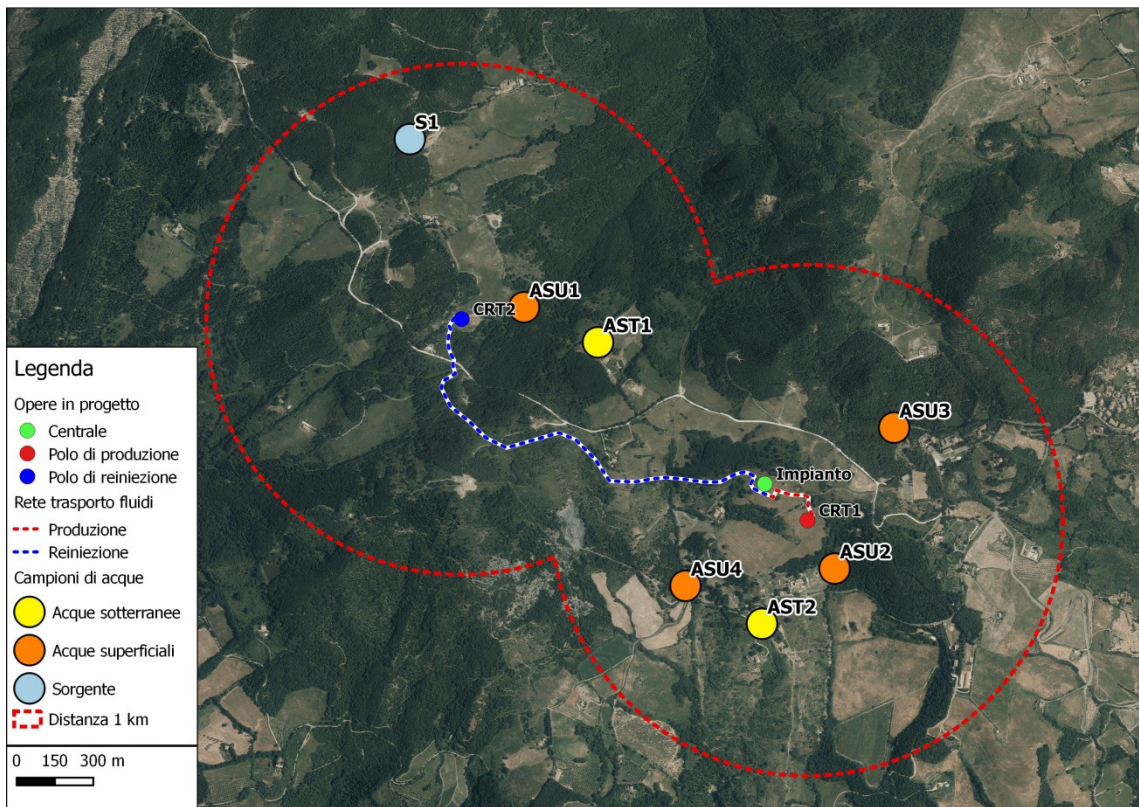


Figura 2-3. Punti di monitoraggio delle acque.

2.7 PARAMETRI DI CONTROLLO

La proposta dei parametri da monitorare tiene conto sia della composizione dei fluidi adoperati nel cantiere che di quella dei fluidi profondi (geotermici), pertanto sono stati individuati i seguenti parametri che possono essere considerati marcatori di eventuali trasferimenti alla falda, inoltre sono stati inseriti i parametri definiti dalle Linee Guida per la predisposizione del Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) delle opere soggette a procedura di VIA (D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., D.Lgs. 163/2006 e s.m.i.):

- Livello della falda;
- Portata;
- Temperatura dell'acqua;
- Temperatura dell'aria;
- pH;
- Conducibilità elettrica;
- Tenore di ossigeno;
- Torbidità;

- Parametri chimici: calcio, sodio, potassio, magnesio, cloruri, cloro attivo, fluoruri, solfati, bicarbonati, nitrati, nitriti, ammonio, solidi disciolti totali (TDS), solidi sospesi totali (TSS);
- Elementi in traccia: arsenico, cobalto, cromo, rame, ferro, iodio, manganese, molibdeno, nichel, selenio, silicio, stagno, vanadio, zinco, cadmio, mercurio, piombo, boro;
- Idrocarburi totali;

2.8 FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO

Viste le fasi nelle quali si articola il progetto si prevedono i seguenti campionamenti per le acque superficiali:

Campionamento ante-operam:

- Un campione prima dell'inizio dell'attività di cantiere.

Campionamento in corso d'opera:

- Un campione al termine delle prove di produzione di breve durata;
- Un campione dopo 30 giorni dalla fine delle perforazioni previste presso il polo di produzione;
- Un campione dopo 30 giorni dalla fine delle perforazioni previste presso il polo di reiniezione;

14

Campionamento durante la fase di esercizio:

- Un campione a distanza di un mese a partire dal completamento dell'impianto ORC.
- Il monitoraggio delle acque superficiali sarà ripetuto a cadenza annuale per tutta la durata di esercizio dell'impianto;
- Il monitoraggio delle acque sotterranee sarà ripetuto ogni tre mesi per i primi tre anni di esercizio dell'impianto; in seguito saranno eseguite due campagne di misura ogni anno.

2.9 MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO ED ANALISI

Il campionamento delle acque superficiali e delle sorgenti avviene attraverso l'immersione di un contenitore di plastica al di sotto della superficie dell'acqua. Prima di effettuare il campionamento, il contenitore sarà sciacquato due o tre volte con l'acqua da analizzare.

Per ogni punto di campionamento saranno prelevati quattro campioni:

- un campione “tal quale” (circa 500 ml) da utilizzare per la determinazione della concentrazione dei cationi maggiori e anioni maggiori e minori, dell’alcalinità e della torbidità;
- un campione “tal quale” (circa 1 litro) per la determinazione degli idrocarburi;
- un campione filtrato con filtro 0.45 µm in acetato di cellulosa (250 ml);
- un campione (250 ml) filtrato con filtro 0.45 µm in acetato di cellulosa e acidificato con acido nitrico (1 ml di HNO₃ 1:1). Questo tipo di campione è utilizzato per la determinazione delle concentrazioni degli elementi in traccia.

Durante il campionamento saranno eseguite le misure di temperatura, pH e conducibilità elettrica utilizzando uno strumento portatile e la misura della portata in caso di sorgente e/o di acque superficiali.

Per il campionamento saranno utilizzate delle bottiglie in polietilene dotate di doppio tappo, per il campione destinato alla determinazione degli idrocarburi sarà utilizzata una bottiglia in vetro scuro.

Il campionamento sarà eseguito secondo questa procedura:

- Raggiunto il sito di campionamento sarà annotata su carta topografica l’ubicazione del pozzo o sorgente nonché saranno rilevate le coordinate tramite sistema gps;
- L’operatore indosserà dei guanti di vinile al fine di evitare la contaminazione del campione;
- Si procede alla misura dei principali parametri chimico-fisici dell’acqua. L’operatore procede con il risciacquo e poi al riempimento di una bottiglia in polietilene con l’acqua da campionare. Si procede poi alla misura della temperatura, pH, conducibilità elettrica;
- Si procede alla raccolta dei campioni “tal quale” seguendo questa procedura:
 - Risciacquo della bottiglia con l’acqua da campionare;
 - Riempimento della bottiglia con l’acqua e chiusura ermetica con tappo e controtappo della bottiglia;
 - Sigla del campione.
- Si procede al prelievo dei campioni acidificati secondo questa procedura:
 - Risciacquo con l’acqua da campionare della bottiglia porta campione e successivo riempimento della medesima;

- Aggiunta al campione di 1 ml di HNO₃ 1:1;
- Chiusura ermetica del campione e apposizione della sigla del campione.
- Si procede al prelievo dei campioni acidificati e filtrati secondo questa procedura:
 - Risciacquo con l'acqua da campionare di una siringa in polietilene e successivo riempimento della medesima;
 - Posizionamento del filtro da 0.45 µm sulla siringa;
 - Risciacquo della bottiglia portacampione con acqua filtrata;
 - Riempimento della bottiglia in polietilene con l'acqua filtrata;
 - Aggiunta al campione di 1 ml di HNO₃ 1:1;
 - Chiusura ermetica del campione e apposizione della sigla del campione.

Una volta ultimato il campionamento i campioni sono adagiati all'interno di un contenitore refrigerato e inviati nel più breve tempo possibile al laboratorio per le successive operazioni di analisi. Il laboratorio di analisi dovrà operare in modo conforme a quanto richiesto dalla norma UNI CEN EN ISO 17025.

2.9.1 Metodi analitici

Per la determinazione dei vari componenti saranno utilizzati i seguenti metodi analitici:

Parametro	Metodo	Riferimento "APAT IRSA (CNR) metodi analitici per le acque 29/2003"
pH	pHmetro	met. 2010
Conducibilità	Misuratore di conducibilità	met. 2030
TDS (solidi disciolti totali)	Evaporazione di un campione d'acqua, previamente filtrato, e conseguente essiccamento in stufa a temperature di 103-105°C	met. 2090
TSS (solidi sospesi totali)	Filtrazione di un campione d'acqua e determinazione per via gravimetrica dopo essiccamento del filtro ad una temperatura di 103-105°C fino a pesa costante	met. 2090
Temperatura	Termometro	met. 2100
Torbidità	Spettrofotometro Nefelometro	met. 2110
Metalli	Spettroscopia di emissione con sorgente al plasma (ICP-OES)	met. 3020

Parametro	Medoto	Riferimeto "APAT IRSA (CNR) metodi analitici per le acque 29/2003"
Cationi (sodio, ammonio, potassio, magnesio, calcio)	Cromatografia ionica	met. 3030
Alluminio	Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS) Metodo B-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica (ETA-AAS) Metodo C-Determinazione spettrofotometrica con eriocromocianina R	met. 3050
Arsenico	Metodo A-Determinazione mediante assorbimento atomico con formazione di idruri (HG-AAS) Metodo B-Determinazione spettrofotometrica con dietilditiocarbammato di argento	met. 3080
Boro	Metodo A1-Determinazione spettrofotometrica con curcumina Metodo A2-Determinazione spettrofotometrica con carminio	met. 3110
Cadmio	Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS) Metodo B-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica (ETA-AAS)	met. 3120
Calcio	Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS)	met. 3130
Cobalto	Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica (ETA-AAS)	met. 3140
Cromo	Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS) Metodo B1-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica (ETA-AAS) Metodo B4-Determinazione del cromo totale disciolto previa concentrazione dell'analita mediante coprecipitazione con idrossido ferrico ed analisi in spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica (ETA-ASS)	met. 3150

Parametro	Medoto	Riferimeto "APAT IRSA (CNR) metodi analitici per le acque 29/2003"
Ferro	Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS) Metodo B-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica (ETA-AAS)	met. 3160
Litio	Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS)	met. 3170
Magnesio	Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS)	met. 3180
Manganese	Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS)	met. 3190
Mercurio	Metodo A1-Metodo di ossidazione per via umida e determinazione mediante spettrometria di assorbimento atomico a vapori freddi (CV-AAS) Metodo A2-Ossidazione in forno a microonde e determinazione per spettrometria di assorbimento atomico a vapori freddi (CV-AAS) Metodo A3-Ossidazione in forno a microonde e determinazione per spettrometria di assorbimento atomico a vapori freddi (CV-AAS) e amalgama su oro	met. 3200
Molibdeno	Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica (ETA-AAS)	met. 3210
Nichel	Metodo A- Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS)	met. 3220
Piombo	Metodo A- Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS) Metodo B-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica (ETA-AAS)	met. 3230
Potassio	Metodo A- Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS)	met. 3240
Rame	Metodo A- Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS) Metodo B-Determinazione per spettrometria di	met. 3250

Parametro	Metodo	Riferimento "APAT IRSA (CNR) metodi analitici per le acque 29/2003"
	assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica (ETA-AAS) Metodo C-Determinazione spettrofotometrica mediante ossalididrazide	
Selenio	Metodo A-Determinazione mediante assorbimento atomico con formazione di idruri (HG-AAS)	met. 3260
Sodio	Metodo A- Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS)	met. 3270
Stagno	Metodo A- Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS) Metodo B-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica (ETA-AAS)	met. 3270
Tallio	Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica (ETA-AAS) Metodo B-Determinazione previa concentrazione dell'analita mediante estrazione con APDC in cloroformio ed analisi in spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica (ETA-AAS)	met. 3280
Vanadio	Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica (ETA-AAS) Metodo B-Determinazione previa concentrazione dell'analita mediante coprecipitazione con idrossido ferrico ed analisi in spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione elettrotermica (ETA-AAS)	met. 3310
Zinco	Metodo A- Metodo A-Determinazione per spettrometria di assorbimento atomico con atomizzazione in fiamma (F-AAS)	met. 3320
Anioni (Fluoruro, cloruro, nitrito, bromuro, nitrato, fosfato, solfato)	Cromatografia ionica	met. 4020
Silice	Analisi spettrofotometrica	met. 4130
Idrocarburi totali	Analisi in gascromatografia con rilevatore a ionizzatore di fiamma	UNI EN ISO 9377-2:2002

2.10 CRITERI PER LA DEFINIZIONE DELLE CONCENTRAZIONI DEL “BIANCO” E DEI LIVELLI DI GUARDIA

Prima della messa in opera del cantiere verrà effettuato un monitoraggio finalizzato alla determinazione dei tenori di fondo locali (bianco) e dei livelli di guardia.

Saranno misurate le concentrazioni del bianco o valore *baseline* e saranno definiti i livelli di guardia per ogni singolo parametro monitorato anche in funzione di quelli riportati nella normativa di settore. Una volta stabilito il tenore di fondo si determina la soglia di anomalia, definita come il limite superiore del tenore di fondo. Essa, come il tenore di fondo, variando da zona a zona, va determinata sperimentalmente ogni volta. I livelli di guardia, intesi come valori dei parametri da assumere quali soglia di attenzione e/o allarme in relazione ad uno stato di alterazione delle caratteristiche delle matrici stesse dovuto alla presenza delle opere, saranno definiti tramite una carta di controllo. Tale strumento è basato sulla determinazione di valori di soglia, calcolati per un certo analita in funzione dei parametri statistici ricavabili dall'elaborazione dei valori di bianco dell'analita stesso, al superamento dei quali può essere associata una condizione di allarme.

L'andamento di un certo analita rispetto a tali soglie, i cui valori sono periodicamente aggiornati con i dati delle campagne via via effettuate, permette di individuare l'effettiva presenza di un trend rappresentativo di un eventuale fenomeno di contaminazione. Unitamente a ciò, il confronto monte/valle consentirà di discriminare l'origine dell'eventuale contaminazione, che può essere dovuta alla presenza delle opere oppure ad altri fenomeni. L'approccio descritto risulta però strettamente applicabile solo a quegli analiti per i quali si dispone di una popolazione sufficiente alla stima significativa dei parametri statistici: per parametri che sporadicamente danno valori al di sopra della rilevabilità strumentale oppure che presentano una notevole variabilità rispetto alla media (coefficiente di variazione superiore al 100%) la definizione delle soglie tramite i parametri statistici non risulta fattibile.

Per la determinazione dei valori limite, in base a considerazioni specifiche sul sito ed in base agli esiti delle apposite campagne di monitoraggio che si effettueranno nel corso dell'allestimento del cantiere, potranno essere presi in esame due diversi approcci per la determinazione dei valori di soglia dei parametri monitorati: l'approccio statistico e il confronto con un limite prefissato (da normativa di riferimento).

2.11 VALORI DI SOGLIA DI CONTAMINAZIONE DA NORMATIVA

Per quanto riguarda i valori di concentrazione soglia nelle acque sotterranee si farà riferimento a quanto contenuto nell'Allegato 5 al Titolo V della Parte quarta del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. (Tabella 2-4).

Parametro	Valori limite	Unità di misura
Arsenico	10	µg/l
Cadmio	5	µg/l
Cobalto	50	µg/l
Cromo totale	50	µg/l
Ferro	200	µg/l
Mercurio	1	µg/l
Nichel	20	µg/l
Piombo	10	µg/l
Rame	1000	µg/l
Selenio	10	µg/l
Manganese	50	µg/l
Zinco	3000	µg/l
Boro	1000	µg/l
Fluoruri	1500	µg/l
Nitriti	500	µg/l
Solfati	250	mg/l
Cloruri	250	mg/l
Idrocarburi totali (espressi come n-esano)	350	µg/l

Tabella 2-4. Valori di concentrazione soglia nelle acque sotterranee secondo il D.lgs. 152/2006 s.m.i..

Per quanto riguarda i valori di concentrazione soglia nelle acque superficiali si farà riferimento a quanto contenuto nell'Allegato 1 alla Parte Terza del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. tabella 1/a e 1/b "standard di qualità delle acque superficiali" (Tabella 2-5).

Parametro	Valori limite	Unità di misura
Arsenico	10	µg/l
Cadmio	0,08	µg/l
Cromo totale	7	µg/l
Mercurio e composti	0,03	µg/l
Nichel e composti	20	µg/l
Piombo e composti	7,2	µg/l

Tabella 2-5. Valori di concentrazione soglia nelle acque superficiali secondo il D.lgs. 152/2006 s.m.i..

Per quanto riguarda invece le acque destinate al consumo umano si farà riferimento a quanto riportato nel D.lgs 2 febbraio 2001 n. 31 “Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano” e s.m.i. (Tabella 2-6, Tabella 2-7).

Parametro	Valori limite	Unità di misura
Arsenico	10	µg/l
Boro	1,0	µg/l
Cadmio	5,0	µg/l
Cromo	50	µg/l
Rame	10	mg/l
Fluoruro	1,5	mg/l
Piombo	10	µg/l
Mercurio	1,0	µg/l
Nichel	20	µg/l
Nitrato (come NO ₃)	50	mg/l
Nitrato (come NO ₂)	0,5	mg/l
Idrocarburi policiclici aromatici	0,10	µg/l
Selenio	10	µg/l
Vanadio	50	µg/l

Tabella 2-6. Valori di concentrazione limite nelle acque destinate al consumo umano secondo il D.lgs. 31/2001 s.m.i..

Parametro	Valori limite	Unità di misura
Ammonio (NH ₄)	0,5	mg/l
Cloruro	200	mg/l
Ferro	200	mg/l
Manganese	50	µg/l
Solfato	250	mg/l
Sodio	200	mg/l

Tabella 2-7. Valori di concentrazione limite per i parametri indicatori nelle acque destinate al consumo umano secondo il D.lgs. 31/2001 s.m.i..

2.12 VALORI NATURALI

Come illustrato nei paragrafi precedenti nell'area di progetto non sono presenti stazioni di monitoraggio pertanto per le acque superficiali e sotterranee non è possibile definire a priori i valori naturali. I valori naturali delle sorgenti e dei pozzi saranno definiti a seguito della campagna di analisi prevista nella fase ante-operam.

2.13 VALORI DI ATTENZIONE

I valori di attenzione sono quei valori con i quali debbono essere confrontati i dati derivanti dal PMA al fine di individuare condizioni anomale indicatrici di potenziali situazioni critiche in atto, non necessariamente legate alla realizzazione dell'opera ma comunque da considerare meritevoli di adeguati approfondimenti finalizzati ad accertare le cause e/o eventuali interventi correttivi.

Si ritiene ragionevolmente corretto utilizzare come valori di soglia, al superamento dei quali iniziare la fase di attenzione e controllo, i valori limite (da normativa) ridotti del 10%.

2.14 CRITERI DI ELABORAZIONE DEI DATI

I dati derivanti dai campionamenti saranno analizzati utilizzando specifici parametri statistici (valori medi, massimi orari, giornalieri, ecc) e utilizzando apposite procedure da concordare con gli enti preposti al controllo del PMA.

2.15 PIANO DI INTERVENTO IN CASO DI SUPERAMENTO DELLE SOGLIE

In base ai risultati dei campionamenti di controllo, nel caso in cui fosse verificato il superamento dei valori soglia, sarà applicata la seguente procedura di intervento:

- predisposizione di un report contenente la descrizione dell'anomalia, i dati relativi alla rilevazione (data, luogo, foto, operatore, ecc), risultati delle analisi, eventuali analisi ed elaborazioni eseguite, descrizione dell'anomalia;
- l'addetto alle emergenze darà immediata comunicazione al Titolare e alle autorità preposte al controllo dell'avvenuto superamento del valore di soglia;
- se tale superamento avviene durante le prove di produzione si provvederà all'immediata sospensione di tali attività;
- il Titolare e l'Ente preposto al controllo decideranno se ripetere immediatamente il campionamento su tutte le matrici in cui si è verificato il superamento delle soglie. Su tali campioni saranno ricercati soltanto i parametri oggetto dei superamenti;
- nel caso in cui l'esito delle nuove analisi accerti che l'anomalia risulta risolta, sarà preparato un report con i risultati delle verifiche eseguite;
- invece, in caso di conferma del superamento del valore di soglia e nel caso in cui

l'anomalia sia imputabile alle opere, il Titolare e l'ente preposto al controllo stabiliranno le azioni da intraprendere al fine di ristabilire le condizioni naturali.

2.16 REPORTISTICA

Nel corso delle attività di monitoraggio verranno prodotte informazioni che potrebbero risultare di potenziale interesse per la comunità. La RTI Renewem-Cosvig è consapevole del valore di tali informazioni per migliorare la conoscenza dello stato ambientale dei luoghi oggetto di studio. Pertanto, fatta salva la salvaguardia della proprietà delle informazioni e qualunque aspetto di riservatezza, la RTI sarà lieta di comunicare i dati raccolti ai portatori di interesse non appena i risultati delle analisi saranno pronti.

Per facilitare lo scambio di informazioni con gli enti preposti al controllo la società Renewem prevede di realizzare un applicativo web con il quale mettere a disposizione degli enti le informazioni acquisite durante il monitoraggio, inoltre si provvederà ad inviare i report sulle attività svolte anche tramite posta certificata.

Il report sulle attività di monitoraggio conterrà:

- le finalità delle attività di monitoraggio svolte;
- la localizzazione delle opere realizzate;
- la localizzazione delle aree di indagine, di punti di campionamento e/o delle stazioni di misura. Ogni punto sarà individuato da un codice identificativo univoco, coordinate geografiche, fase del monitoraggio (ante, corso o post-operam), componente ambientale analizzata;
- ubicazione dei ricettori sensibili;
- i parametri monitorati e tecniche di campionamento e strumenti utilizzati per l'analisi;
- la frequenza e durata del monitoraggio;
- i risultati del monitoraggio, le eventuali elaborazioni e valutazioni;
- la descrizione di eventuali criticità riscontrate;

le azioni correttive adottate per risolvere le criticità.

3 MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

Il monitoraggio della qualità dell'aria e dei parametri meteorologici ha come obiettivo quello di valutare eventuali impatti dovuti alla realizzazione delle opere sulle aree circostanti al fine di individuare l'esistenza di eventuali stati di attenzione ed indirizzare gli interventi di mitigazione necessari a riportare i valori entro opportune soglie definite dagli strumenti normativi.

Le azioni di progetto che possono determinare potenziali impatti sulla qualità dell'aria riguardano tre distinte fasi:

- La fase di realizzazione e sistemazione finale dei cantieri;
- La fase di perforazione;
- L'esecuzione delle prove per la caratterizzazione del serbatoio geotermico;

Sebbene l'impianto ORC durante il suo funzionamento non emetta gas o altre sostanze, si è previsto comunque un sistema di monitoraggio della CO₂ e H₂S tramite una serie di sensori fissi posizionati nell'area della centrale. Inoltre si prevede di eseguire un monitoraggio periodico sui ricettori più vicini tramite centralina mobile con cadenza semestrale.

3.1 PUNTI DI MONITORAGGIO

Il piano di monitoraggio proposto prevede l'utilizzo di una centralina mobile installata su di un automezzo che periodicamente eseguirà misurazioni dei livelli di concentrazione nelle aree limitrofe ai pozzi. Contestualmente al monitoraggio dell'aria verrà effettuato anche un monitoraggio dei livelli sonori in corrispondenza dei potenziali ricettori sensibili.

L'utilizzo di una centralina mobile consentirà uno studio approfondito e completo dell'area oggetto del monitoraggio. L'elaborazione dei dati permetterà di redigere una relazione contenente in formato grafico tutti i profili spazio-temporali delle distribuzioni delle concentrazioni dei singoli inquinanti e di loro combinazioni, secondo medie orarie, giornaliere, settimanali, mensili, stagionali.

Inoltre i dati ambientali, acquisiti durante il monitoraggio, saranno associati alla cartografia della zona interessata ed elaborati in mappe tematiche grazie ad un software specifico. Le mappe tematiche consentiranno la visualizzazione cromatica delle esatte posizioni e delle diverse concentrazioni degli analiti sulla planimetria interessata, per cui in formato cartografico sarà possibile ottenere le mappe del territorio con individuazione delle zone di superamento (o a rischio di superamento) dei livelli di attenzione e di allarme che saranno concordati con gli enti di controllo.

L'ubicazione del laboratorio mobile rispetto alla postazione di perforazione e dei ricettori sensibili sarà scelta in funzione dei venti dominanti presenti al momento della misurazione. Tuttavia già in questa fase è possibile individuare i possibili ricettori sensibili ubicati nelle vicinanze delle aree di lavoro e presso i quali sarà effettuato il monitoraggio (Figura 3-1) Considerando oltre ai ricettori sensibili di misurare anche presso le aree di lavoro, si stima un numero totale di punti pari a 8.

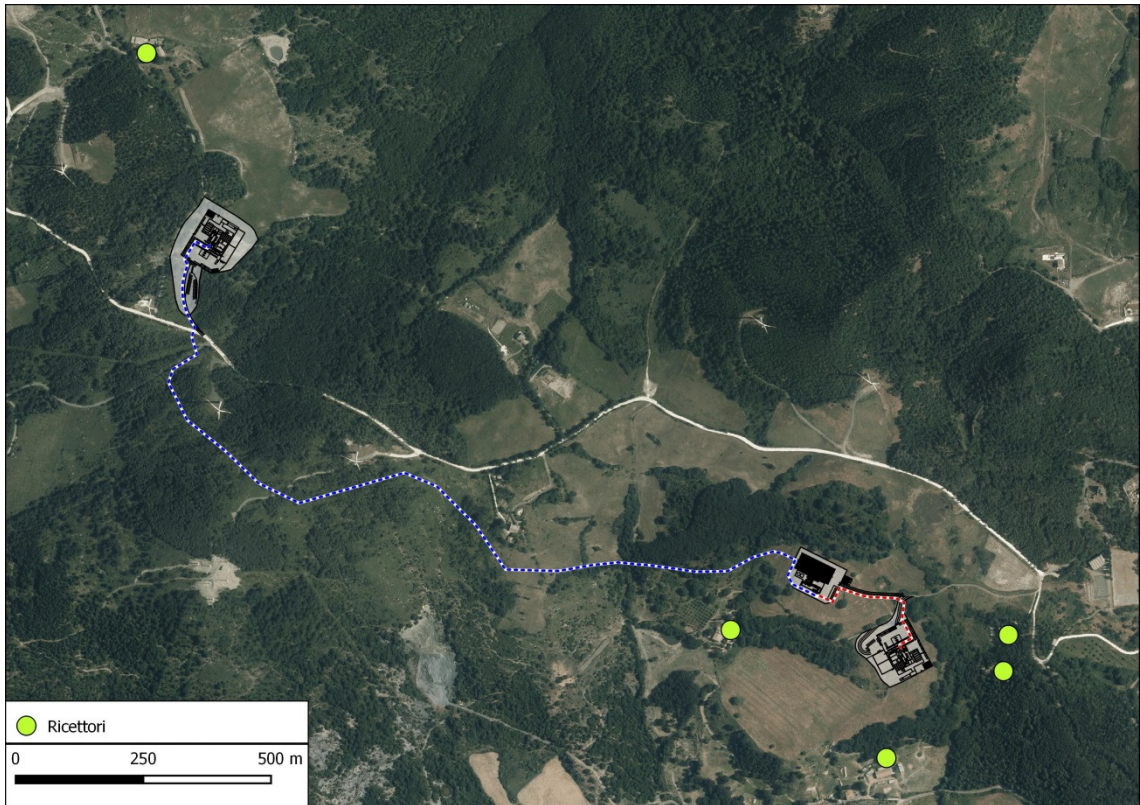


Figura 3-1. Ubicazione dei ricettori sensibili.

3.2 PARAMETRI DI CONTROLLO

La proposta dei parametri da monitorare per la qualità dell'aria include:

- Idrogeno Solforato (H₂S);
- Monossido di carbonio (CO);
- Biossido di carbonio (CO₂);
- Ozono (O₃);
- Particolato atmosferico (PM₁₀);
- Particolato atmosferico (PM_{2.5});
- BTEX;
- Idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

I livelli di guardia di tali sostanze dovranno essere concordati con gli Enti di controllo in conformità alla normativa vigente (Direttiva 2008/50/EC, D.Lgs. 155/2010) e saranno verificati anche in relazione alle condizioni pregresse misurate ante operam.

I parametri PM10, PM2,5, BTEX e IPA non si ritiene necessario che vengano analizzati in fase di esercizio durante le misure annuali di controllo in quanto legati alle attività di cantiere.

3.3 FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO

Viste le fasi nelle quali si articola il progetto si prevedono i seguenti campionamenti:

Misure ante-operam:

- tre misure per ogni recettore e presso le aree di lavoro prima dell'inizio dell'attività di cantiere;

Misure in corso d'opera:

- tre misurazioni per ogni recettore e presso la piazzola durante la fase di perforazione del 1° pozzo di produzione;
- tre misurazioni per ogni recettore e presso la piazzola durante le prove di produzione di breve durata;
- tre misurazioni per ogni recettore e presso la piazzola durante la fase di perforazione del 2° e 3° pozzo di produzione;
- tre misurazioni per ogni recettore e presso la piazzola durante la fase di perforazione dei pozzi di reiniezione;

Misure in fase di esercizio:

- tre misurazioni per ogni recettore e presso la centrale a distanza di un mese a partire dal completamento dell'impianto. Tali misure saranno ripetute almeno una volta per ogni anno di funzionamento della centrale.

4 CRITERI PER LA DEFINIZIONE DELLE CONCENTRAZIONI DI "BIANCO" E DEI LIVELLI DI GUARDIA

Prima della messa in opera del cantiere verrà effettuato su tutte le matrici ambientali (suolo, acqua, aria) un monitoraggio finalizzato alla determinazione dei tenori di fondo locali (bianco) e dei livelli di guardia.

Per tutte le matrici analizzate saranno misurati le concentrazioni del bianco o valore baseline e saranno definiti i livelli di guardia per ogni singolo parametro monitorato anche in funzione di quelli riportati nella normativa di settore. Una volta stabilito il

tenore di fondo si determina la soglia di anomalia, definita come il limite superiore del tenore di fondo. Essa, come il tenore di fondo, variando da zona a zona, va determinata sperimentalmente ogni volta. I livelli di guardia, intesi come valori dei parametri da assumere quali soglia di attenzione e/o allarme in relazione ad uno stato di alterazione delle caratteristiche delle matrici stesse dovuto alla presenza delle opere, saranno definiti tramite una carta di controllo. Tale strumento è basato sulla determinazione di valori di soglia, calcolati per un certo analita in funzione dei parametri statistici ricavabili dall'elaborazione dei valori di bianco dell'analita stesso, al superamento dei quali può essere associata una condizione di allarme.

L'andamento di un certo analita rispetto a tali soglie, i cui valori sono periodicamente aggiornati con i dati delle campagne via via effettuate, permette di individuare l'effettiva presenza di un trend rappresentativo di un eventuale fenomeno di contaminazione. Unitamente a ciò, il confronto monte/valle consentirà di discriminare l'origine dell'eventuale contaminazione, che può essere dovuta alla presenza delle opere oppure ad altri fenomeni. L'approccio descritto risulta però strettamente applicabile solo a quegli analiti per i quali si dispone di una popolazione sufficiente alla stima significativa dei parametri statistici: per parametri che sporadicamente danno valori al di sopra della rilevabilità strumentale oppure che presentano una notevole variabilità rispetto alla media (coefficiente di variazione superiore al 100%) la definizione delle soglie tramite i parametri statistici non risulta fattibile.

Per la determinazione dei valori limite, in base a considerazioni specifiche sul sito ed in base agli esiti delle apposite campagne di monitoraggio che si effettueranno nel corso dell'allestimento del cantiere, potranno essere presi in esame due diversi approcci per la determinazione dei valori di soglia dei parametri monitorati: l'approccio statistico e il confronto con un limite prefissato (da normativa di riferimento).

4.1 PIANO DI INTERVENTO IN CASO DI SUPERAMENTO DELLE SOGLIE

In base ai risultati dei campionamenti di controllo, nel caso in cui fosse verificato il superamento dei valori limite, con procedura di urgenza, l'Addetto alle emergenze incaricato dal Titolare o il Titolare stesso è tenuto a ripetere immediatamente il campionamento su tutte le matrici in cui si è verificato il superamento delle soglie. Su tali campioni saranno ricercati soltanto i parametri oggetto dei superamenti.

5 MONITORAGGIO ACUSTICO

5.1 CRITERI METODOLOGICI

Il monitoraggio acustico previsto per il progetto “Cortolla” è finalizzato a verificare che durante la realizzazione dell’opera, e nel corso del successivo esercizio, non si determinino situazioni di disturbo per le popolazioni locali, e che i limiti di legge siano sempre rispettati, possibilmente con margini ampi.

Tali verifiche saranno attuate tenendo conto degli esiti dello studio acustico previsionale sviluppato nel corso del procedimento di VIA, che orienta le scelte in materia di aree critiche, punti di misura e strategie di effettuazione delle misure stesse.

In tale ottica lo studio acustico è stato sin dall’inizio impostato utilizzando criteri fortemente conservativi nella stima del rumore presso i ricettori, in modo da poter con ragionevole affidabilità individuare le effettive criticità. In particolare ciò comporta che, ove sia stato verificato il rispetto dei limiti di legge, si deve intendere che non sono presenti specifiche criticità, assunto che le ipotesi conservative poste alla base dello studio consentono di affermare che i valori di rumore calcolati presso i ricettori sono affetti da una sovrastima significativa (che non è ovviamente possibile quantificare in termini generali, ma che comunque si ritiene dell’ordine di alcuni dB).

In conseguenza di ciò, nel definire i ricettori oggetto di monitoraggio si è tenuto conto di questo aspetto, prendendo in considerazione solo quelli che eccedono i limiti di legge nelle valutazioni previsionali di impatto acustico, così come, del resto, fatto anche ai fini della individuazione delle eventuali mitigazioni.

Un ulteriore elemento di notevole utilità e semplificazione è rappresentato dal fatto che lo studio acustico previsionale è stato esteso praticamente a tutti i ricettori dell’area (in totale, 66), tra cui anche quelli sporadicamente interessati da eventi transitori. Ciò consente di affermare che non esistono ulteriori postazioni da verificare in corso d’opera o post operam che non siano già state prese in considerazione nello studio, e dunque non sono da prevedersi monitoraggi aggiuntivi in tal senso.

Di seguito si fornisce un riepilogo delle misure da effettuare nell’ambito del Piano e, a seguire, le metodologie operative.

5.2 CRITICITA’ E PUNTI DI MISURA

Di seguito si riportano le conclusioni principali dello studio acustico, allo scopo di circoscrivere il quadro generale.

1. L'esercizio dell'impianto non comporta alcun superamento presso nessun ricettore;
2. Nessun nucleo abitato è interessato da superamenti dei limiti, ed in nessuna fase. In particolare, non sono interessati i siti citati dalla USL 5 di Pisa, tra cui la Miniera;
3. Nessun ricettore di tipo scolastico, ospedaliero, ecc. presenta superamenti in nessuna fase;
4. Nessun ricettore è interessato dalle attività nel sito di reiniezione;
5. Nessun impatto è previsto a carico dei ricettori posti in vicinanza delle strade percorse dai mezzi di cantiere;
6. Dei 66 ricettori considerati globalmente nello studio, soltanto 4 (R3-R6) sono interessati da superamenti dei limiti. Si tratta in tutti e quattro i casi di ricettori abitativi, dei quali R4-R6 abbastanza vicini tra loro (i relativi impatti sono infatti simili). Nella tabella che segue si riporta il riepilogo della situazione;
7. Il ricettore R3 è interessato soltanto dal cantiere della centrale (ovviamente, diurno), ed è anche l'unico ricettore presso il quale tale attività determina superamenti (limite differenziale superato di 3,5 dBA). Da notare peraltro che la quantificazione delle sorgenti di cantiere risulta particolarmente sovrastimata;
8. Ad eccezione di quanto detto al punto precedente, tutti gli impatti sono da mettere in relazione con le attività di perforazione del polo di produzione. Pertanto, si è presa in considerazione, tra le possibili misure di mitigazione, anche quella di operare direttamente sull'impianto;
9. La situazione dei superamenti è quella della tabella che segue, da cui si evince, oltre a quanto già detto, che per tutti e tre i ricettori R4-R6 sussistono superamenti di una certa entità in periodo notturno, e su tutti i parametri di legge. In particolare, il limite del differenziale di immissione è sempre superato, sia di giorno che di notte. Ciò potrebbe suggerire di intervenire in modo strutturale sui ricettori, ma si deve considerare che l'attività di perforazione avrà una durata di 6-8 mesi e dunque tale intervento potrebbe risultare non coerente.

Da tutto ciò emerge che, ai fini di una efficace azione di tutela dei ricettori, è anzitutto necessaria una preventiva conferma dell'effettiva entità del disturbo, tenuto conto che, come si evince dalla tabella, in quasi tutti i casi i superamenti calcolati sono significativi (ancorchè affetti dalla sovrastima derivante dal metodo di modellizzazione scelto, così come descritta negli studi acustici per ciascuno degli scenari considerati).

Ricettore	Sorgente	Limite superato	Periodo	Superamento (dBA)	Azioni
R3	Cantiere centrale	differenziale	diurno	+ 3,5	Misure presso il ricettore prima e subito dopo l'inizio dell'attività. In caso di conferma di superamenti si adottano eventuali misure di mitigazione, ovvero solo richiesta deroga (v.sotto)
R4	Polo produzione (perforazione)	differenziale	diurno	+ 2,8	
		emissione	notturno	+ 7,0	
		immissione	notturno	+ 2,5	
		differenziale	notturno	+ 6,5	
R5	Polo produzione (perforazione)	emissione	diurno	+ 0,5	
		differenziale	diurno	+ 3,2	
		emissione	notturno	+ 7,5	
		immissione	notturno	+ 3,0	
		differenziale	notturno	+ 7,0	
R6	Polo produzione (perforazione)	differenziale	diurno	+ 2,8	
		emissione	notturno	+ 7,0	
		immissione	notturno	+ 2,5	
		differenziale	notturno	+ 6,5	

Dall'esame della tabella sopra riportata, e dalle considerazioni che precedono si evince, in definitiva, quanto segue (si veda la Figura 5-1 per riferimento):

- Le uniche criticità attese presso i ricettori interessati dal progetto riguardano quelli indicati con le sigle da R3 a R6. Per tutti gli altri ricettori non saranno previste misure specifiche, se non alcuni rilevamenti a campione, come sotto descritti;
- Per il ricettore R3 le criticità sono previste solo in fase di cantiere di costruzione della centrale. Tuttavia, anche allo scopo di verificare la qualità delle ipotesi fatte nello studio acustico per la fase di esercizio (il ricettore R3 è il più vicino alla centrale stessa) si prevede di effettuare le medesime misure anche, appunto, durante il funzionamento dell'impianto;
- Per gli altri ricettori (R4-R6) le criticità si prevedono soltanto durante la fase di perforazione dei pozzi del polo di produzione, e dunque soltanto a tale fase si estenderanno le misure di monitoraggio (durante l'esercizio i pozzi non producono rumore significativo).



Figura 5-1. Ricettori oggetto del monitoraggio del rumore

In aggiunta a quanto sopra, nei siti in questione (presso R4-R6 con una unica stazione, data la vicinanza dei ricettori tra loro e l'uniformità di base del clima acustico locale) si provvederà ad effettuare anche alcune misure ante operam (AO, secondo la nomenclatura delle LG del MATTM), allo scopo di confermare le precedenti misure del procedimento di VIA e consentire il successivo calcolo dei differenziali di immissione.

5.3 PROGRAMMA DEI MONITORAGGI ACUSTICI

Sulla base di quanto precede , il Piano dei monitoraggi previsti è il seguente (per quanto riguarda i parametri da misurare e le condizioni di misura si rimanda al par.successivo):

1) Situazione ante operam (AO)

- Ricettore R3: misura del residuo
- Ricettori R4-R6: misura del residuo

In tutti i casi, data l'uniformità del clima acustico nell'area, le misure saranno effettuate una volta in periodo diurno (orientativamente, nella mattinata) e una volta in periodo notturno.

Tali misure andranno ripetute in ulteriori due giornate, l'una delle quali con l'impianto eolico in funzione, per confermarne il contributo.

2) Situazione in corso d'opera (CO)

a. Cantiere centrale

- Ricettore R3: misura del cantiere
- Ricettori R4-R6: misura del cantiere e dei transiti sulla strada

Per ciascuna giornata le misure saranno effettuate due volte, solo in periodo diurno (orientativamente, una nella mattinata ed una nel pomeriggio). La prima fase sarà quella dei lavori di terra.

Tali misure andranno ripetute in due ulteriori giornate, l'una durante il montaggio dell'impianto, l'altra durante le prove di collaudo.

b. Cantiere polo di produzione

- Ricettori R4-R6: misura del cantiere e della perforazione

Per ciascuna giornata le misure saranno effettuate due volte, una in periodo diurno (orientativamente, nella mattinata), l'altra in periodo notturno (solo durante la perforazione) e andranno ripetute altre due volte.

Le tra fasi di tali misure riguarderanno:

- Le prime, i lavori di terra per preparare la piazzola (solo diurne)
- Le seconde, il montaggio degli impianti (solo diurne)
- Le terze, la perforazione (diurne e notturne)

3) Situazione post operam (PO)

- Ricettore R3: misura del rumore di esercizio

Per ciascuna giornata le misure saranno effettuate due volte, una in periodo diurno (orientativamente, nella mattinata), l'altra in periodo notturno, e andranno ripetute ulteriori due volte, a distanza di 6 e 12 mesi dall'entrata in esercizio.

Saranno infine previste ulteriori misure spot sui ricettori vicini (in base all'esito delle misure sopra descritte) e presso la scuola, durante il periodo diurno.

5.4 STRUMENTAZIONI E METODI

Per lo svolgimento delle attività di monitoraggio si utilizzeranno strumentazioni conformi alle indicazioni di cui all'art. 2 del DM 16/03/1998, che in particolare soddisferanno tutte le specifiche di cui alla classe 1 della norma CEI EN 61672.

I filtri e i microfoni utilizzati per le misure saranno conformi, rispettivamente, alle norme CEI EN 61260 e CEI EN 61094. I calibratori saranno conformi alla norma CEI EN 60942 per la classe 1.

In generale, sia per quanto riguarda le strumentazioni che per quanto riguarda gli altri parametri e modalità delle misure, ci si atterrà alle indicazioni delle *“Linee Guida per la predisposizione del Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) delle opere soggette a procedure di VIA (D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.; D.Lgs. 163/2006 e s.m.i.) - Indirizzi metodologici specifici: Agenti fisici-Rumore - (Capitolo 6.5.) - REV. 1 DEL 30/12/2014”*, redatte da ISPRA per conto del MATTM e del MiBACT.

Il set minimo dei dati che saranno resi disponibili sarà il seguente:

- Time History degli Short Leq, ovvero dei valori del LAeq rilevati con tempo di integrazione pari ad 1 minuto;
- Valori su base oraria dei livelli statistici cumulativi L1 (rumorosità di picco), L10 (rumorosità di cresta), L30, L50 (rumorosità media), L90 (rumorosità di fondo), L99 (rumorosità di fondo);
- LAeq sul periodo diurno e notturno, secondo gli schemi sopra indicati;
- Analisi spettrale in terzi di ottava.

Le condizioni meteo necessarie per effettuare/validare le misure saranno le seguenti:

- velocità del vento < 5 m/sec
- temperatura dell'aria > 5° C
- assenza di pioggia, di neve o nebbia.

6 MONITORAGGIO MICROSISMICO

L'attività microsismica è una caratteristica ben conosciuta dei sistemi geotermici ed è legata alla presenza e al movimento di fluidi all'interno delle rocce, quindi a fattori del tutto naturali. Recenti studi sostengono che anche l'attività di reiniezione dei fluidi geotermici possa indurre attività sismica, ma sempre di tipo microsismico.

Al fine di verificare il potenziale accadimento di microtremori il progetto prevede l'installazione di una rete di stazioni sismiche fisse. Le stazioni saranno utilizzate per consentire il controllo totale del processo produzione-reiniezione e programmare eventuali interventi correttivi sul sistema.

Come indicato nel documento "Linee guida per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia" redatte dal Ministero dello Sviluppo Economico a ottobre 2016, lo scopo del monitoraggio sismico è:

- rilevare, localizzare e determinare i principali parametri di sorgente della sismicità e microsismicità verificatasi nei domini di rilevazioni;
- migliorare a scala locale il livello di magnitudo di completezza delle rilevazioni nei domini di rilevazione;
- misurare con accuratezza le accelerazioni del suolo prodotte in superficie da terremoti in prossimità dell'area di coltivazione o stoccaggio.

35

I dati rilevati andranno a costruire un catalogo di eventi sismici che dovrà essere utilizzato per monitorare l'evoluzione nel dominio spazio-tempo-magnitudo della sismicità nei domini di rilevazioni, e per le analisi di pericolosità da sismicità indotta, anche dipendente dal tempo.

Il monitoraggio microsismico verrà utilizzato anche per il controllo sismico dell'area durante la fase di attività degli impianti. Tale attività deve pertanto essere costantemente sotto controllo per minimizzare qualsiasi tipo di rischio ambientale.

Nel proseguo si riporta una sintesi dell'attività sismica legata ai campi geotermici, per una trattazione più esauriente si rimanda all'elaborato CRT-RP01-A15-V00-Sismicità indotta-innescata.

6.1 ATTIVITÀ SISMICA NELL'AREA GEOTERMICA DI LARDERELLO-TRAVALE

I sistemi geotermici toscani si trovano su una cintura sismicamente attiva (Figura 6-1) legata alla complessa evoluzione tettonica e geodinamica della Toscana meridionale. Dagli studi condotti nell'area di Travale/Radicondoli ed a Larderello, risultano delle relazioni tra l'attività sismica e le operazioni di reiniezione dei fluidi impiegati nella produzione di energia elettrica. Tuttavia, gli eventi sismici indotti sono sempre di bassa

intensità. La rete di rilevamento installata nel 1982 ha segnalato ben 2000 sismi, con ipocentro a profondità inferiori ai 10 km ed intensità, in genere, inferiore a magnitudo 2. L'intensità massima è stata di magnitudo 3,5, che corrisponde al IV-V grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS; ENEL, 1995) (www.arp.at.toscana.it).

La reiniezione dei condensati a Larderello-Valle del Secolo iniziò nella prima metà degli anni '70 allo scopo di evitare di entrare in conflitto con la normativa per il rilascio di sostanze potenzialmente pericolose nei corpi idrici di superficie. Si temeva, che l'arrivo di acqua fredda potesse danneggiare il campo di vapore in produzione. Così i primi pozzi di reiniezione vennero collocati lontano dalle aree di sfruttamento, verso le zone marginali dove era nota la presenza di acque meteoriche. Solo in un secondo tempo venne accertato come la reiniezione potesse rappresentare una efficace via per recuperare con maggiore efficienza l'energia termica contenuta nelle rocce del serbatoio, specie in quelle zone ad elevata permeabilità e con alto grado di sovrariscaldamento del vapore.

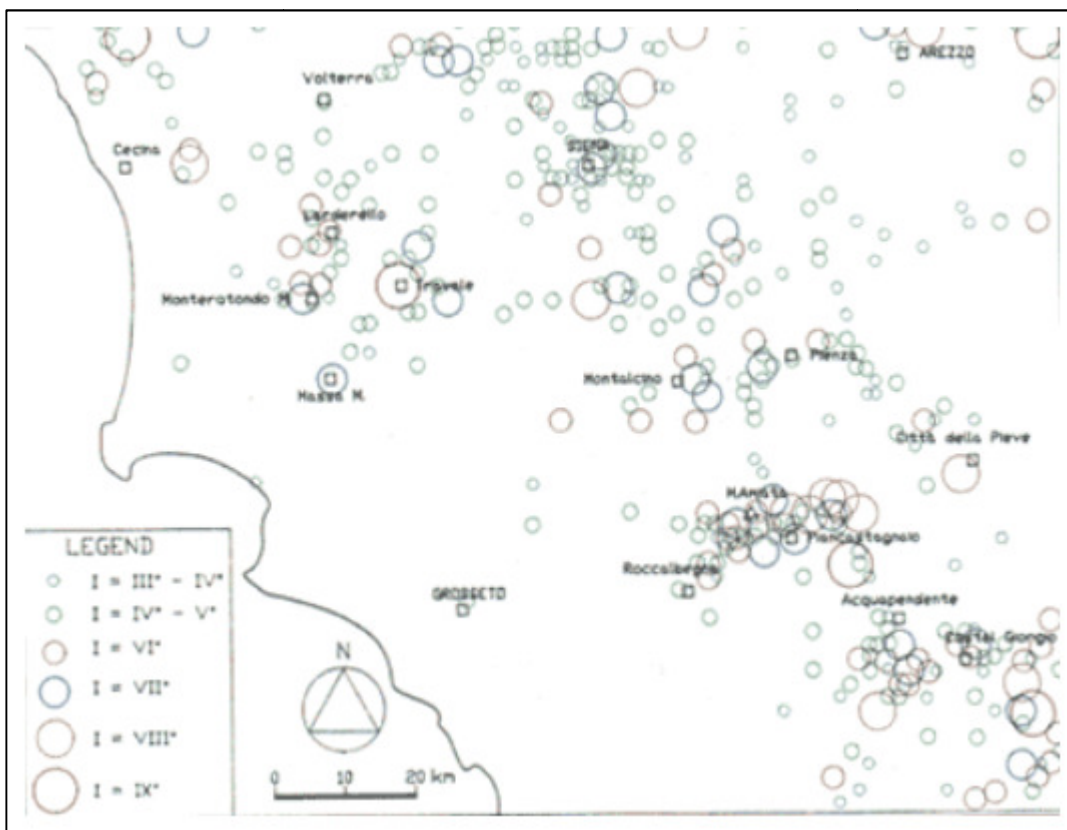


Figura 6-1. Sismicità storica locale della Toscana meridionale nel periodo 1900-1990: distribuzione degli epicentri ed intensità degli eventi (scala MCS) (ENEL, 1995, <http://www.arp.at.toscana.it/temi-ambientali/aria/aree-geotermiche/geotermia/progetto-geotermia-sismicità>).

Nel 1977 ENEL ha installato una rete di rilevamento sismico che copre un'area di circa 800 km² costituita da 26 stazioni. Nel periodo 1977-1993 questa rete di monitoraggio ha registrato più di 3000 eventi. La Figura 6-2 e la Figura 6-3 mostrano una intensa attività sismica distribuita su tutta l'area coperta dalla rete di monitoraggio, con un'alta concentrazione di terremoti localizzata ad ovest di Larderello e Monterotondo MM. e a sud di Travale. Più del 90% di eventi ha una magnitudo < 2, la massima magnitudo registrata è di 3.3 per un solo evento. I terremoti in genere avvengono ad una profondità compresa tra 1 e 8 km, solo pochi eventi sono stati registrati a profondità comprese tra 10 e 15 km (Batini et al., 1995).

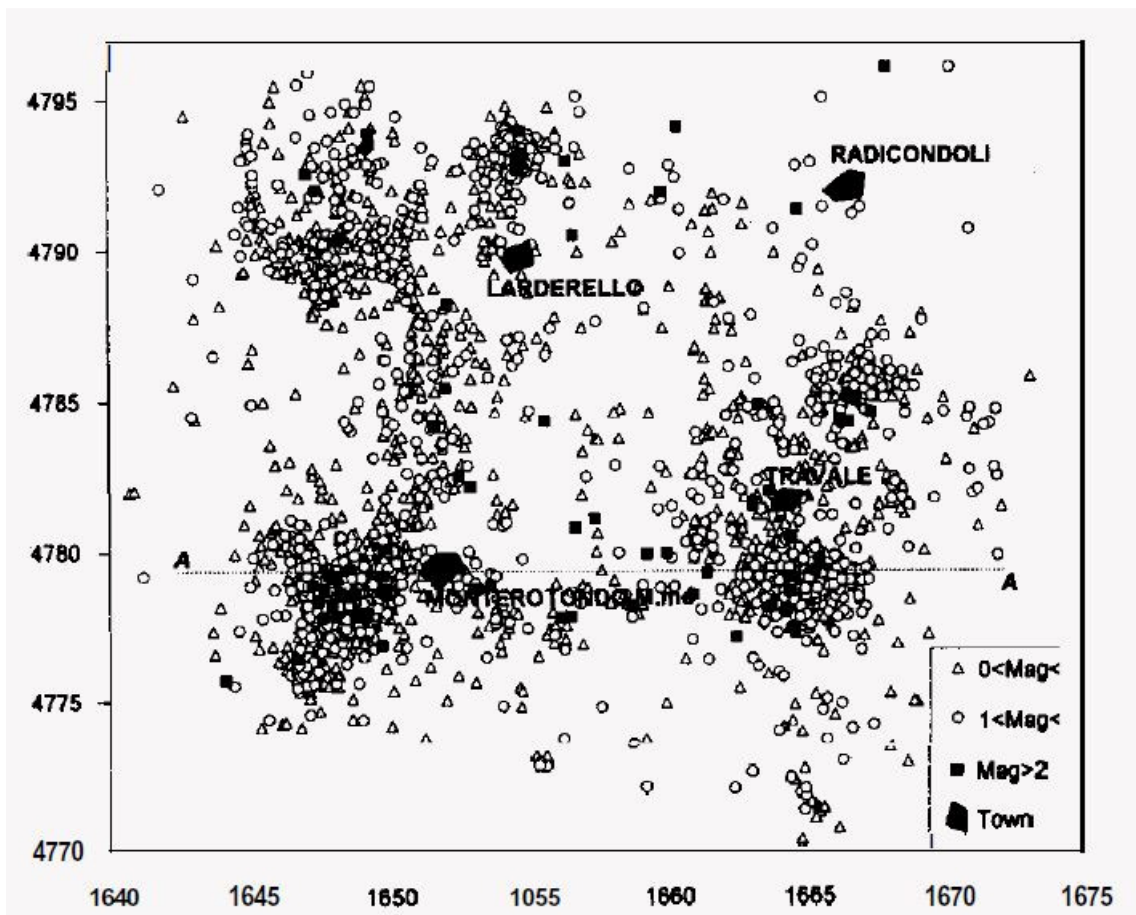


Figura 6-2. Mappa degli epicentri per l'area di Larderello-Travale per il periodo 1977-1993 (Batini et al., 1995).

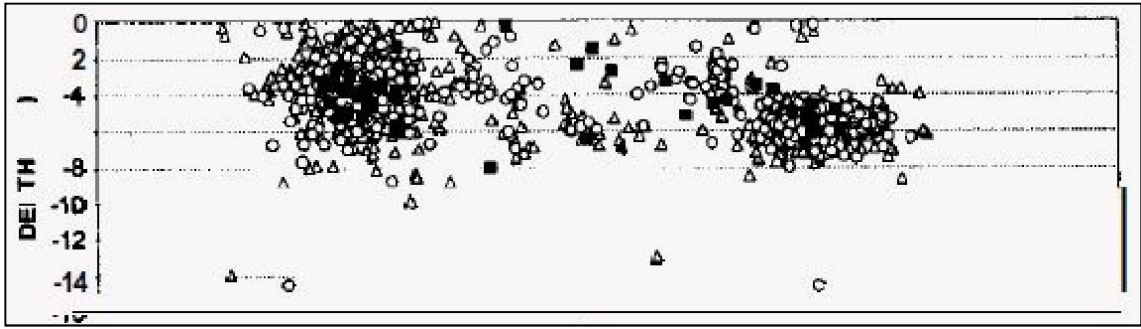


Figura 6-3. Mappa degli ipocentri per l'area di Larderello-Travale per il periodo 1977-1993 secondo la sezione AA' di Figura 6-2 (Batini et al., 1995).

Altre utili informazioni riguardanti la sismicità dell'area geotermica di Larderello-Travale possono essere ricavate dalle mappe redatte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) per gli anni 1982-2002 (Figura 6-4) e per gli anni 2000-2015 (Figura 6-5). Come è possibile vedere dalla Figura 6-4 e Figura 6-5 i terremoti si concentrano all'interno delle concessione ENEL che corrisponde all'area geotermica di Larderello-Travale. Gli eventi sismici hanno magnitudo inferiore a 4 e profondità inferiori ai 18 km, prevalentemente inferiori a 10 km (Figura 6-6). Le due figure inoltre mostrano che all'interno dell'area del permesso pilota Cortolla non sono stati registrati eventi.

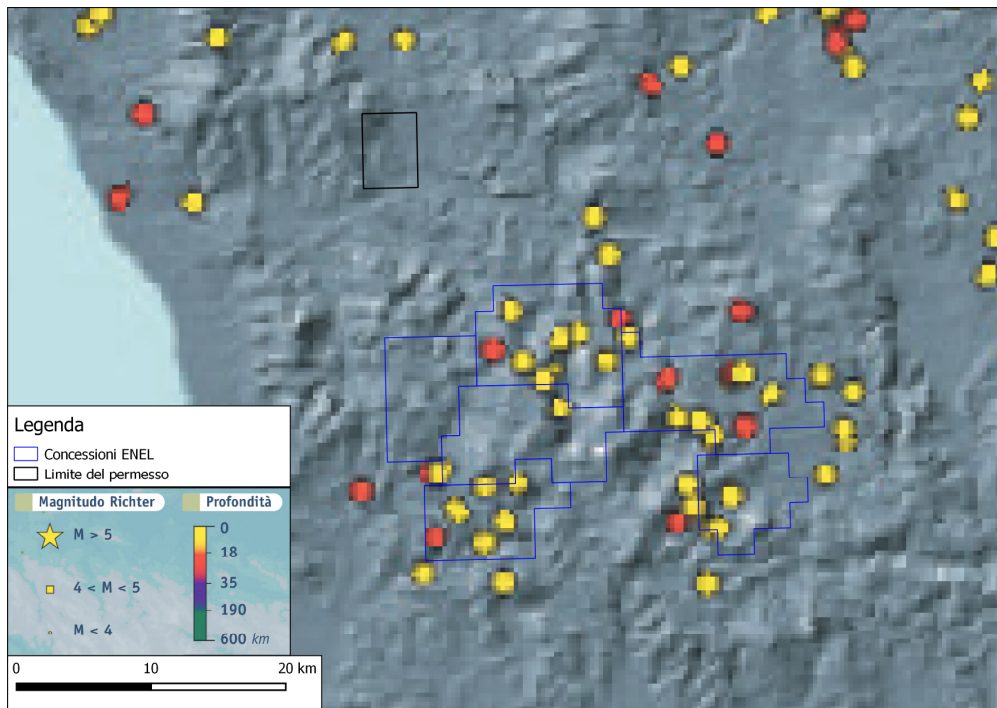


Figura 6-4. Ubicazione dei terremoti per le aree geotermiche di Larderello e Travale nel periodo 1982-2002 (Carta della sismicità in Italia, INGV 2004).

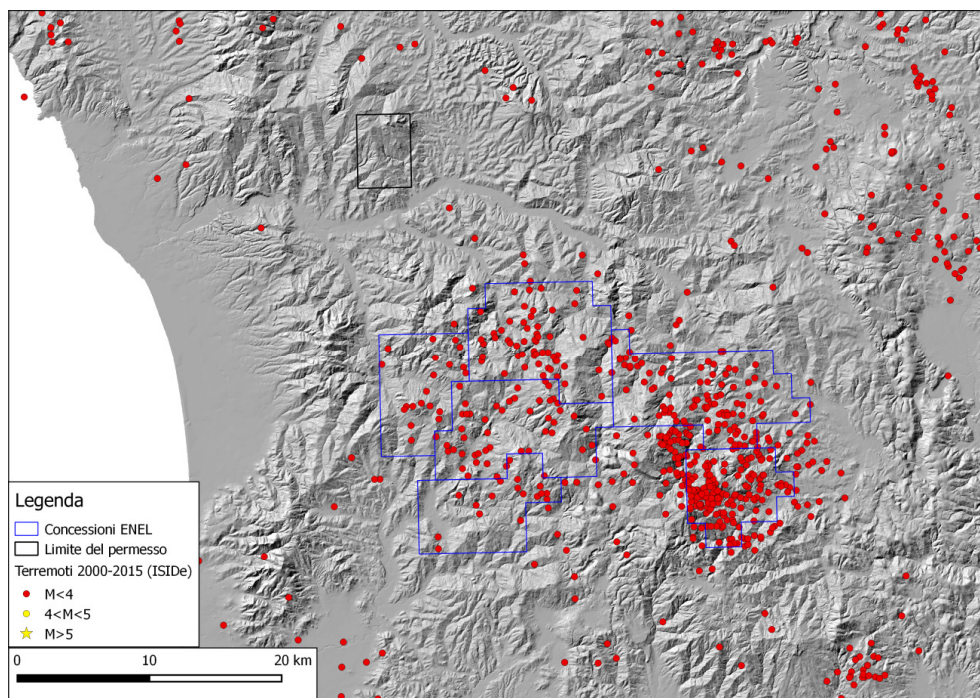


Figura 6-5. Ubicazione dei terremoti per le aree geotermiche di Larderello e Travale nel periodo 2000-2015 suddivisi per magnitudo (ISIDe-Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base).

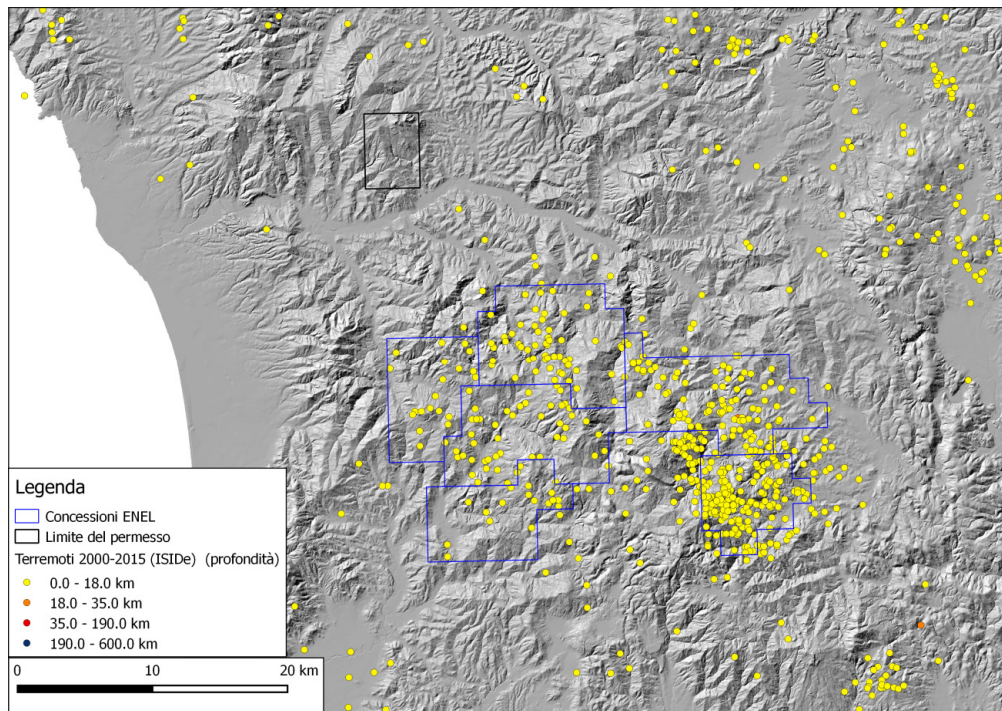


Figura 6-6. Ubicazione dei terremoti per le aree geotermiche di Larderello e Travale nel periodo 2000-2015 suddivisi per profondità (ISIDE-Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base).

6.2 MONITORAGGIO MICROSISMICO

Il monitoraggio microsismico in aree geotermiche in fase di produzione e reiniezione è un importante strumento che permette di acquisire informazioni in merito alle eventuale variazione dello stato di stress locale derivante dall'attività microsismica indotta dalle operazioni minerarie in particolare quelle legate alla reiniezione dei fluidi geotermici nel sottosuolo.

Al fine di determinare se l'attività mineraria di reiniezione dei fluidi nel sottosuolo può provocare microtremiti, risulta fondamentale acquisire un quadro oggettivo della sismicità naturale prima della messa in esercizio dell'impianto di produzione. Questo quadro conoscitivo ante-operam rappresenta lo stato di fatto della sismicità naturale locale, basato sulla localizzazione spaziale e magnitudo degli eventi registrati nell'area integrato con i dati di letteratura esistenti.

Il monitoraggio della microsismicità è stato predisposto sulla base delle Linee Guida per l'Utilizzazione della Risorsa Geotermica a media e alta Entalpia, pubblicate dal Mise ad ottobre 2016.

Per questo scopo il progetto prevede l'installazione di una rete di monitoraggio locale adeguatamente dimensionata che misurerà in continuo, prima dell'entrata in esercizio

dell'impianto, per un arco di tempo di circa 12 mesi l'attività microsismica locale. Questo arco di tempo è ritenuto sufficiente per avere informazioni e dati tali da permettere di valutare il background della sismicità naturale dell'area da confrontare con i dati acquisiti successivamente all'entrata in esercizio dell'impianto coincidente con l'inizio dell'attività di reiniezione

6.3 RETE DI MONITORAGGIO

Lo scopo del monitoraggio microsismico è quello di individuare numero, magnitudo e localizzazione (ipocentro) degli eventi sismici. Mentre la valutazione del numero e della magnitudo degli eventi sismici è legato alla sensibilità dello strumento utilizzato, la stima della posizione degli ipocentri è invece strettamente legata al numero di ricevitori che riescono a registrare lo stesso evento. E' quindi importante installare una rete di monitoraggio costituita da un numero di ricevitori che diano una buona copertura dell'area e che acquisiscano contemporaneamente per un intervallo di tempo tale da poter individuare un numero sufficientemente elevato di eventi. Sulla base delle conoscenze geologiche e geofisiche dell'area si è ritenuto opportuno prevedere l'installazione di 6 stazioni fisse disposte come in Figura 6-7 distanti più di 3.0 km l'una dall'altra. Se la posizione proposta per le stazioni sarà confermata dagli enti competenti, si procederà allo scouting sul campo per la verifica dell'accessibilità delle postazioni e alla disponibilità dei terreni.

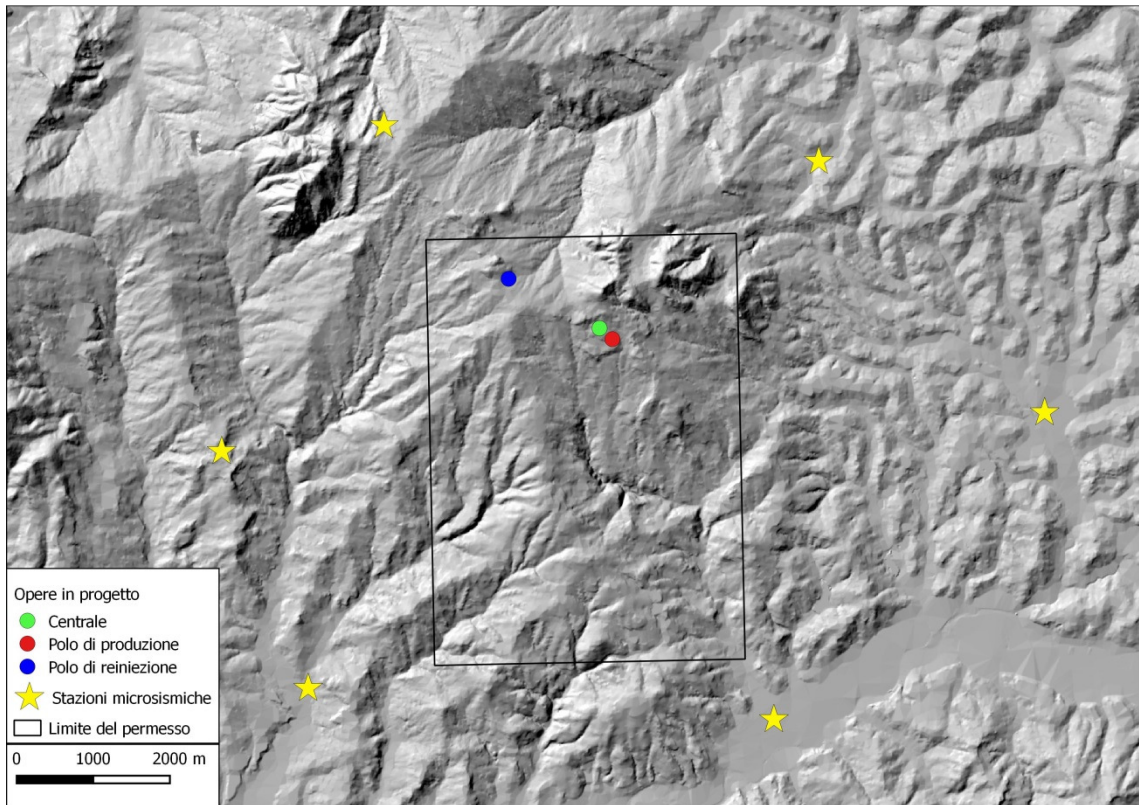


Figura 6-7. Ubicazione di massima delle stazioni di monitoraggio microsismico.

Per le stazioni fisse saranno utilizzati strumenti capaci di registrare terremoti a partire da magnitudo locale $0 \leq M_L \leq 1$ e con incertezza nella localizzazione dell'ipocentro di alcune centinaia di metri ("Linee Guida per l'Utilizzazione della Risorsa Geotermica a media e alta Entalpia, pubblicate dal Mise ad ottobre 2016"). Le stazioni fisse di monitoraggio saranno dotate delle seguenti componenti:

- Due sensori a banda larga a tre componenti (Z, N-S,E-W), uno ad elevata sensibilità (sismometro con periodo proprio non inferiore a $T=0.5$ s) e uno ad levata dinamica (accelerometro), con digitalizzatore integrato che registreranno in continuo con una frequenza di campionamento di 200 Hz per il sismometro e 100 Hz per l'accelerometro per ottimizzare la risoluzione temporale per il picking;
- Antenna GPS per sincronizzazione temporale collegata alla rete geodetica predisposta per il rilievo delle deformazioni del suolo;
- Batterie;
- Pannelli fotovoltaici;
- Sistema di trasmissione wi-fi;
- Una stazione sarà allestita con sismometro a banda larga.

Gli strumenti saranno alloggiati all'interno di un piccolo manufatto con dimensioni di circa 1 m x 1 m, dotato di chiusura di sicurezza. All'esterno del manufatto verranno posti i pannelli solari e l'antenna per la trasmissione dei dati. Il sismografo per evitare che risenta dei disturbi generati dal vento e dalla pioggia, sarà alloggiato all'interno di un pozzetto sigillato. L'area contenente la strumentazione sarà opportunamente recintata.

I dati registrati saranno trasmessi in continuo alla sede operativa del progetto all'interno della quale sarà predisposta una postazione dotata di computer dove verrà eseguito il processing dei dati e redatti periodici report sull'attività.

Il sistema di acquisizione e il formato di registrazione dei dati sarà adeguato al formato dati della rete nazionale in modo da poter integrare i dati raccolti, inoltre sarà allestito un sistema di visualizzazione e trasmissione in tempo reale dei dati attraverso un applicativo web al fine di consentire agli enti competenti (Regione Toscana, Protezione Civile) la possibilità di consultare i dati rilevati.

6.4 PROCESSING DEI DATI

Il sistema di controllo provvederà in via preliminare e in tempo "quasi reale" all'individuazione automatica degli eventi sismici e quindi alla verifica del non superamento dei limiti di soglia.

Successivamente si procederà ad una revisione e analisi manuale dei dati con l'ausilio di un adeguato software basato su differenti moduli:

- Modulo di picking. La lettura e il riconoscimento degli arrivi delle onde P-S, è basato principalmente sull'algoritmo STA/LTA classicamente utilizzato nella sismologia tradizionale e che consiste nel considerare il rapporto del valor medio di due finestre mobili, una (STA) sottoinsieme dell'altra (LTA). La finestra lunga dovrebbe contenere informazioni relative al rumore di fondo, la corta è più sensibile alle variazioni istantanee del segnale, quindi agli eventi sismici.
- Modulo di inversione. Questo modulo è utilizzato per la localizzazione spaziale dell'evento. L'algoritmo di inversione utilizzato è di tipo iterativo che utilizza un procedimento di ray-tracing di tipo pseudo-bending (Um e Thurber, 1983) e consiste nell'inversione simultanea per i parametri della sorgente e del modello di velocità utilizzando diversi grid di parametrizzazione.
- Modulo di mapping. Terminata l'inversione sono ottenuti i risultati e mappati gli ipocentri dei singoli eventi con relativa stima degli errori.

Il processing dei dati permetterà di determinare oltre alla magnitudo dell'evento e la posizione anche l'accelerazione e la velocità del moto del suolo.

7 MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA

Il presente capitolo ha lo scopo di illustrare le pubblicazioni e i dati disponibili inerenti il fenomeno della subsidenza nelle aree geotermiche della toscana e nel mondo che storicamente sono oggetto di coltivazione per la produzione di energia elettrica. Tuttavia preme sottolineare come i dati dimostrino che un corretto programma di reiniezione dei fluidi estratti porta ad una diminuzione importante dei fenomeni di subsidenza anche in campi geotermici come quelli toscani dove solo una parte del fluido estratto viene reiniettato nelle formazioni di provenienza al punto che oggi il fenomeno della subsidenza è ridotto a meno di un centimetro all'anno.

La subsidenza consiste in un lento processo di abbassamento del suolo, che può coinvolgere territori di estensione variabile. Tale fenomeno è generalmente causato da fattori geologici o comunque naturali, ma negli ultimi decenni è stato localmente associato anche all'azione dell'uomo.

La subsidenza naturale è dell'ordine di grandezza di qualche millimetro all'anno e quindi le sue conseguenze sono relativamente ridotte, in quanto tale fenomeno si manifesta in tempi molto lunghi. Diverso è il caso della subsidenza indotta dall'uomo che raggiunge valori da dieci ad oltre cento volte maggiori, e pertanto i suoi effetti si manifestano in tempi brevi, determinando, in alcuni casi, la compromissione delle opere e delle attività umane interessate (A. Cafardi).

44

Le cause naturali più comuni che danno luogo a tale fenomeno sono:

- movimenti verticali dovuti a processi tettonici profondi, su scala regionale;
- raffreddamento di magmi all'interno della crosta terrestre;
- costipamento naturale dei sedimenti sciolti recenti per carico geostatico;
- processi di ossidazione e mineralizzazione della sostanza organica che rendono tali materiali molto compressibili e pertanto soggetti a cedimenti.

Le cause antropiche della subsidenza indotta sono:

- diminuzione della spinta idrostatica di sostentamento negli strati acquiferi a seguito di processi di emungimento delle acque dal sottosuolo;
- estrazione di solidi dal sottosuolo con formazione di cavità sotterranee in corrispondenza delle quali si può verificare l'abbassamento dei terreni di copertura e/o possibili collassi;
- estrazioni di idrocarburi che con conseguente costipamento degli strati produttivi che può estendersi sino a manifestarsi in superficie;
- carico di grandi manufatti e di densi agglomerati urbani che può provocare il costipamento dei terreni al di sotto delle fondazioni, che si possono trasmettere anche su aree adiacenti.

7.1 LA SUBSIDENZA NEI CAMPI GEOTERMICI IN COLTIVAZIONE

7.1.1 Attività di subsidenza nell'area geotermica della Toscana

L'estrazione di fluidi dal sottosuolo può originare fenomeni di subsidenza più o meno marcati in funzione dell'intensità degli squilibri che si sono prodotti. Come per altre attività che prevedono l'estrazione di fluidi dal sottosuolo anche lo sfruttamento di risorse geotermiche può generare fenomeni di subsidenza. Di solito questo fenomeno risulta essere più marcato nei campi ad acqua dominante rispetto ai campi a vapore dominante.

La subsidenza è stata osservata sin dalla seconda metà degli anni '50 a Wairakei in Nuova Zelanda in assenza quasi totale di reiniezione del fluido. In questo campo geotermico si misurava un abbassamento consistente in corrispondenza della regione circostante l'area di sfruttamento che è poi andato diminuendo.

In merito alle due aree di Travale e Larderello, si riporta nei paragrafi successive alcuni studi inerenti la problematica della subsidenza indotta dalla coltivazione geotermica di ENEL.

7.1.1.1 ARPAT (www.arpat.toscana.it)

45

7.1.1.1.1 Area di Travale

Gli studi avviati all'inizio degli anni '70 nell'area di Travale-Radicondoli hanno rilevato come tra il 1973 ed il 1991 si sia avuto un abbassamento del piano di campagna sino ad oltre 40 cm, in corrispondenza del centro della zona più produttiva (Figura 7-1). Il fenomeno è stato più rapido nei primi anni di attività, divenendo poi via via meno marcato, per il raggiungimento di una condizione di deficit di massa abbastanza modesto. Attraverso misure di microgravità risultava che solo il 3% dei fluidi estratti dai pozzi nel periodo 1979-91 non veniva reintegrato. Questa situazione di stato quasi-stazionario può essere spiegata con la possibilità di ricarica da acquiferi profondi di dimensione regionale.



Figura 7-1. Subsidenza nel campo di vapore di Travale-Radicondoli per il periodo 1973-1991 (Di Filippo et al., 1995).

7.1.1.1.2 Area di Larderello

A Larderello rilievi accurati furono effettuati già nel 1922-23 per volontà del principe Piero Ginori Conti, ad opera dell'Istituto Geografico Militare. Solo nel 1985 è stato, tuttavia, messo in attività un moderno sistema di monitoraggio. La Figura 7-2 mostra un interessante confronto tra il profilo del livello del piano di campagna nel 1923 e nel 1986: in corrispondenza del centro dell'area, per qualche chilometro il suolo si è abbassato per più di un metro. Le precauzioni di oggi, consistenti nel contenimento dello sfruttamento dei campi di vapore e nella pratica della reiniezione, hanno tuttavia ridotto il fenomeno in maniera significativa: nelle vecchie zone di sfruttamento si ha una buona stabilità, mentre in quelle di più recente attivazione il fenomeno si manifesta con velocità inferiori al centimetro per anno.

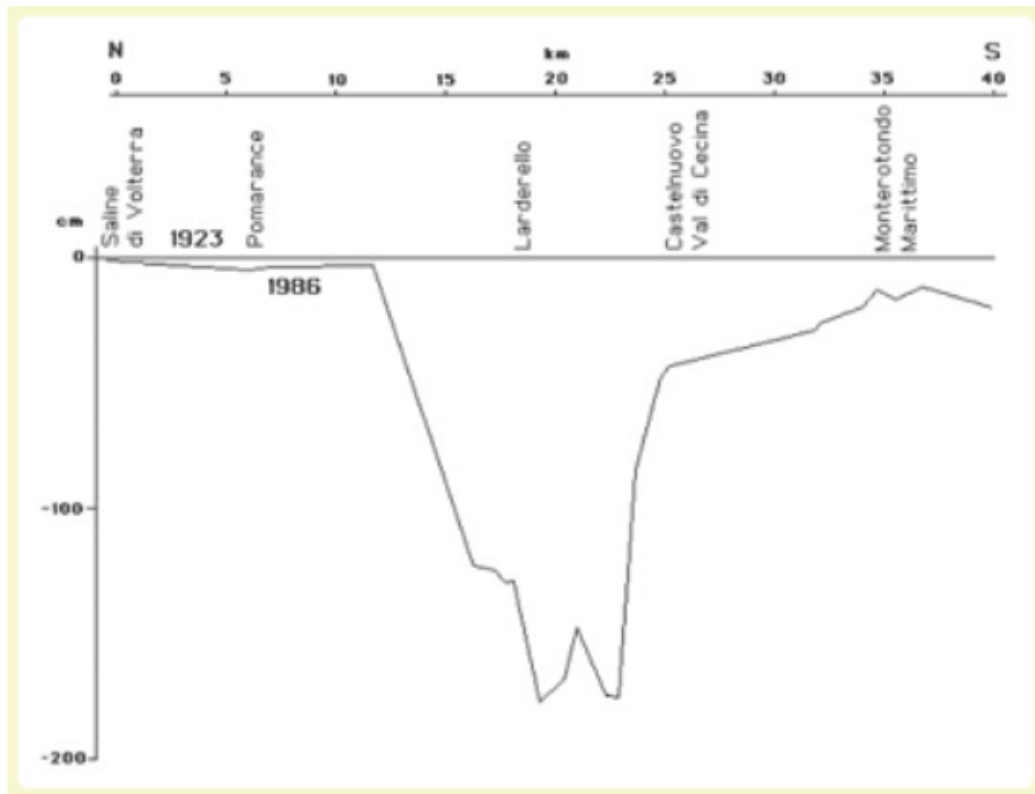


Figura 7-2. Subsidenza nell'area di Larderello tra il 1923 ed il 1986 (ENEL, 1995).

Un monitoraggio della subsidenza allo scopo di verificare gli effetti della reiniezione lungo le direttrici Castelnuovo Val di Cecina-Larderello-Pomarance è stato avviato nel 1986. Dopo 7 anni di osservazione si è potuto verificare come nell'area di Larderello si fosse verificato un abbassamento di 0-2 cm, che arrivavano sino ad un massimo di 8,5 cm nelle zone marginali, di più recente sfruttamento.

Larderello, grazie anche alle operazioni di reiniezione, risulta ormai abbastanza stabile, mentre a Castelnuovo Val di Cecina la subsidenza permane ancora apprezzabile (circa 1 cm/a, nel caso peggiore).

Secondo Celati et al. (1991), lo sfruttamento del campo di vapore, a Larderello, avrebbe influito positivamente sulle velocità di ricarica ad opera di acque superficiali che appaiono contribuire, in maniera tutt'altro che marginale, alla ricostituzione del vapore nel serbatoio. La presenza di trizio a più di 5 km dalla zona di ricarica indica una rapida circolazione dell'acqua di ricarica ed un contatto con le rocce del serbatoio molto limitato. L'ordine di grandezza della portata di ricarica naturale, a Larderello, è di 1000 t/h.

7.1.1.2 Ciulli et al. (2005). Interpreting ground deformation and microgravity changes in the Travale-Radicondoli geothermal field (Italy)”

Dal 1973, quando la coltivazione industriale del campo geotermico di Travale-Radicondoli ha avuto inizio, è iniziato anche il monitoraggio dei movimenti verticali del suolo tramite livellazioni topografiche di precisione. Nel periodo 1973-2003, sono state effettuate 18 campagne di misura lungo la rete di livellazione che comprende un'area di circa 80 km² con più di 300 capisaldi (Figura 7-3).

I risultati di questo monitoraggio hanno mostrato che:

- Dopo 30 anni di sfruttamento industriale si è registrato un valore massimo di 50 cm di subsidenza solo in corrispondenza di una piccola porzione centrale del campo;
- Il tasso iniziale di abbassamento era di 2,3 cm/anno che si è ridotto progressivamente all'attuale valore di 1 cm/anno, mentre la produzione totale è aumentata da 60 a 240 kg/s;
- le analisi eseguite sulla subsidenza portano a supporre che questo fenomeno sia generato principalmente dalla compattazione del reservoir dovuto all'estrazione dei fluidi, ma che possa esserci anche un contributo derivante dalle rocce di copertura.

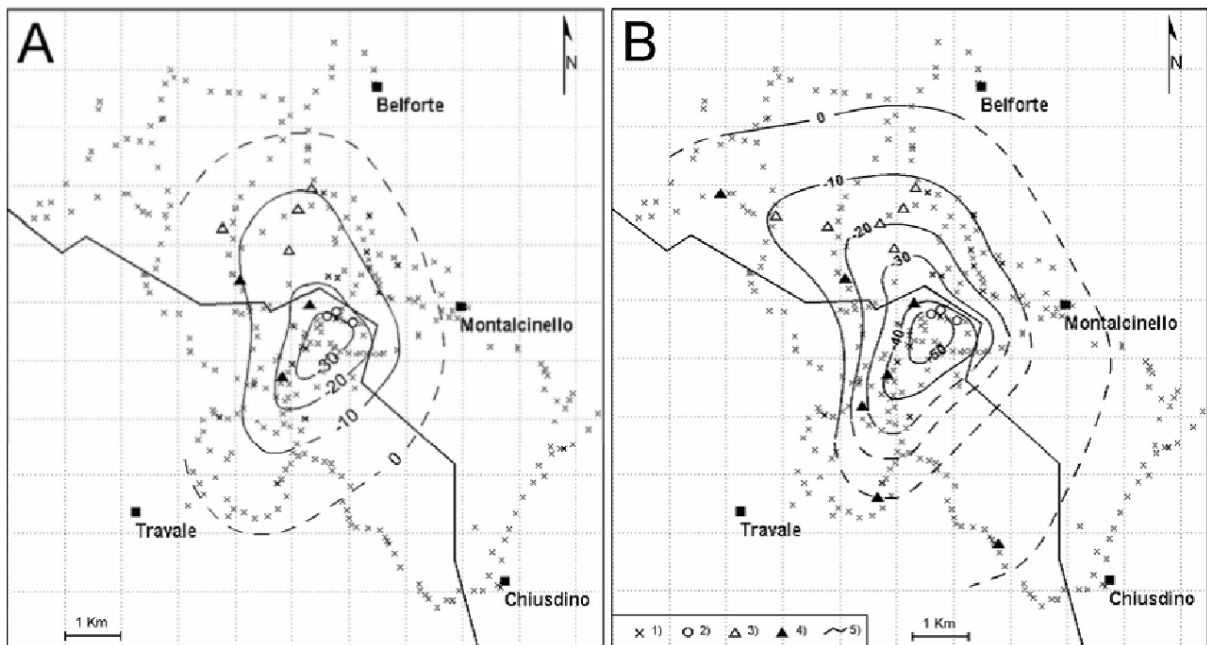


Figura 7-3. Andamento della variazione di quota (cm): A) durante il periodo 1973-1988; B) durante il periodo 1973-2003 (Ciulli et al., 2005).

7.1.1.3 Dini et al. (1995). Reinjection monitoring the Larderello geothermal field using microgravity and topographic measurements.

Nel 1986 venne istituita una rete geodetica al fine di monitorare i movimenti verticali del terreno e di gravità per l'area del campo geotermico di Larderello. Le misure di quota eseguite nel 1986 su capisaldi con il metodo della livellazione di precisione hanno mostrato che nella zona di Larderello si è avuto una subsidenza massima di 176 cm in 63 anni (media di 2.7 cm/anno). Misure sistematiche eseguite dopo il 1986 hanno evidenziato che la subsidenza si è attestata intorno a valori di 1 cm/anno. Il rilievo ha anche messo in luce che soltanto l'area del campo geotermico di recente sfruttamento manifesta tale fenomeno mentre le aree dove la coltivazione del campo era iniziata da tempo risultano relativamente stabili.

I movimenti verticali del suolo osservati alla fine dei primi 7 anni di monitoraggio (1986-1993) mostrano segni solo negativi a testimonianza che il fenomeno dominante è la subsidenza. I valori misurati variano da 0 a -2 cm nella parte centrale del campo geotermico di Larderello e da -6 a -8.5 cm nelle aree circostanti (Figura 7-4).



Figura 7-4. Variazioni di quota durante il periodo di rilevamento 1986-1993. 1) pozzi di produzione; 2) pozzi di reiniezione; 3) linee di variazione di quota (Dini et al., 1995).

In Figura 7-5 è visibile l'evoluzione della subsidenza lungo un profilo Pomarance-Larderello-Castelnuovo V.C. per i periodi di monitoraggio 1986-89, 1986-91, 1986-96 (espresse in mm) e 1923-86 (espresso in cm). Il grafo mostra che anche la zona del campo geotermico coltivata da più lungo tempo e che mostrava valori di subsidenza di 170 cm in 63 anni, risulta stabile (Figura 7-5).

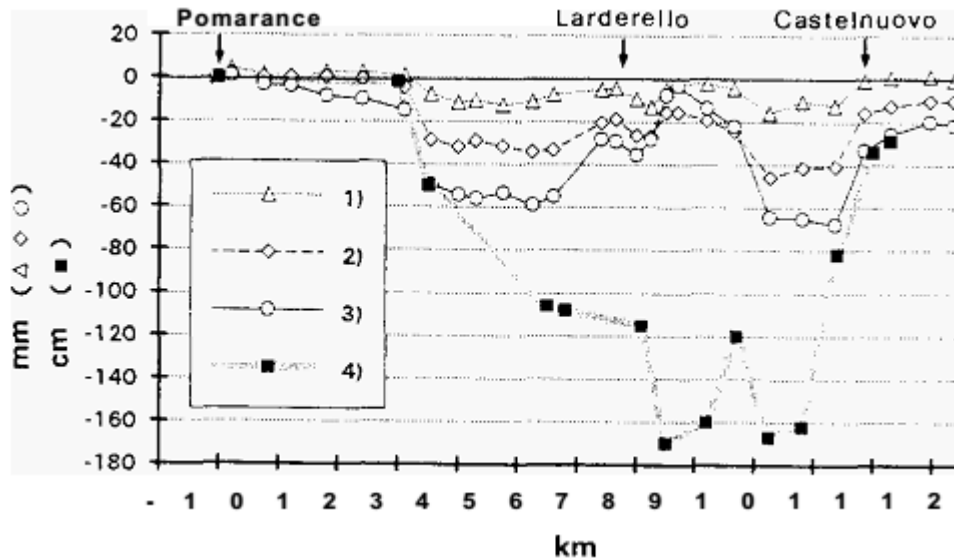


Figura 7-5. Variazione di quota lungo il profilo Pomarance-Larderello-Castelnuovo V.C.. Periodo: 1) 1989-89; 2) 1991-86; 3) 1993-86; 4) 1986-23 (Dini et al., 1995)

7.1.1.4 La risorsa geotermica per usi elettrici in Italia: Energia, Ambiente e Accettabilità Sociale” (2008) a cura dell’associazione Amici della Terra

La subsidenza, cioè l’abbassamento del terreno provocato dall’emungimento del fluido dal sottosuolo è un fenomeno provocato dalle attività estrattive, sia in campo petrolifero e minerario, sia come effetto di emungimenti consistenti di acqua di falda per usi civili e/o industriali. La manifestazione di fenomeni di subsidenza spesso coincide con la parte del campo geotermico, dove è maggiore lo sfruttamento, a volte, però gli abbassamenti del terreno sono evidenti anche nelle zone limitrofe all’area dei pozzi, e di solito sono maggiori nei sistemi a liquido dominante, dove sono estratti maggiori quantitativi di acqua rispetto ai sistemi a vapore dominante.

Questo fenomeno è comunque, indipendentemente dalla tipologia del sistema geotermico, un indicatore evidente della necessità di mantenere l’acquifero in equilibrio per evitare il depauperamento del sistema geotermico e la perdita di pressione e di portata.

Alcuni dati storici per l'area di Larderello provenienti da una campagna di rilevamento realizzata nel 1923 a cura dell'Istituto Geografico Militare sono stati confrontati con i primi rilevamenti del sistema di monitoraggio introdotto nel 1985. La comparazione dei dati raccolti ha evidenziato come nella zona si siano verificati fenomeni di subsidenza con sprofondamenti del terreno fino oltre 1 metro su una superficie di qualche chilometro.

Un monitoraggio della subsidenza lungo le direttrici Castelnuovo Val di Cecina-Larderello-Pomarance avviato nel 1986 e concluso nel 1993 ha rilevato un abbassamento del terreno di 0-2 cm per l'area di Larderello, con punte massime di 8,5 cm registrate nelle zone di più recente sfruttamento.

Anche per la zona di Travale-Radicondoli alcune indagini effettuate dal 1973 hanno rilevato che quest'area è stata interessata da fenomeni di subsidenza nell'ordine di 2,5 cm all'anno tra il 1973 e il 1983, e di 2 cm negli anni successivi. Nel 1991 da osservazioni fatte nella zona centrale dell'area, è stato evidenziato un abbassamento del suolo di circa 40 cm, con fenomeni inferiori procedendo verso i margini del campo.

Gli abbassamenti del terreno registrati nei campi di Larderello e Travale-Radicondoli sono stati generalmente più accentuati nei primi periodi di coltivazione, divenendo meno marcati negli ultimi anni, fino a raggiungere una situazione quasi stazionaria in alcune zone, in particolare per la zona di Larderello.

Questi eventi di arresto o quantomeno di mitigazione sono stati riscontrati dopo l'introduzione della tecnica di reiniezione dei fluidi nel sistema geotermico, operazione che avrebbe contribuito ad arrestare il processo di subsidenza, oltre a diminuire la parte gassosa del fluido, migliorandone la resa energetica e mitigando il potenziale d'inquinamento.

In conclusione quindi anche se la subsidenza rappresenta un effetto per così dire fisiologico dell'attività di estrazione, manifestandosi soprattutto nei primi periodi di coltivazione dei campi geotermici, le moderne tecniche di reiniezione insieme con un responsabile sfruttamento del sistema rappresentano, a oggi, efficaci misure per minimizzarne gli effetti e contribuire alla soluzione dei problemi ambientali connessi all'utilizzo energetico della risorsa.

7.1.1.5 Casagli et al. (2013). Il progetto DIANA e il monitoraggio della subsidenza in Toscana.

Casagli et al. (2013) presentano alcuni dati relativi alla subsidenza dell'area di Larderello e del Monte Amiata ricavati attraverso l'interpretazione dei dati di interferometria radar da satellite (PS-InSAR) e disponibili sul Geoportale Nazionale MinAmb (www.pcn.minambiente.it/GN/).

Per quanto riguarda l'area del Bacino del Cornia che comprende anche le aree geotermiche di Larderello, Casagli et al. (2013) hanno stimato velocità di subsidenza dell'ordine dei -20 mm/anno per Larderello e -35 mm/anno per Sasso Pisano (Figura 7-6, Figura 7-7).

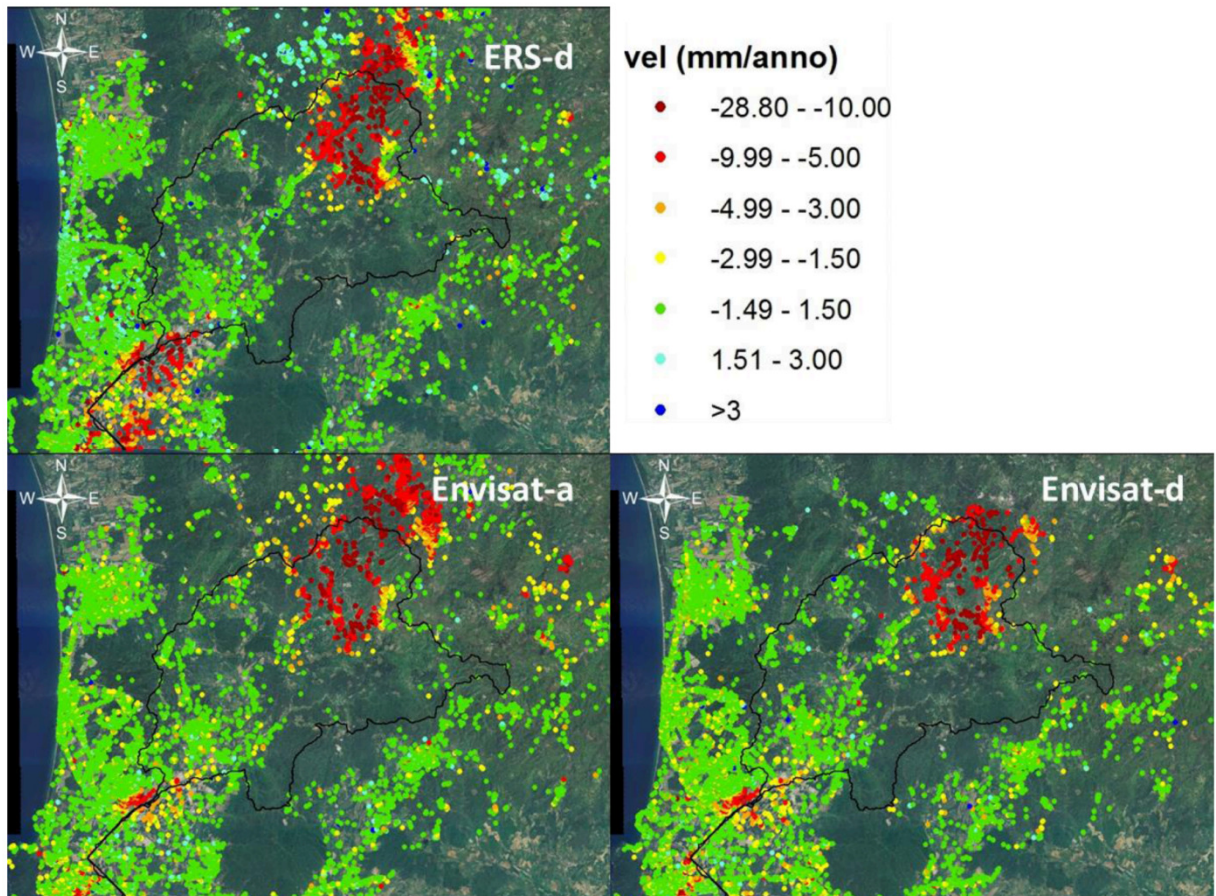


Figura 7-6. Dati ENVISAT di Velocità (mm/anno) per il periodo 2002-2010.

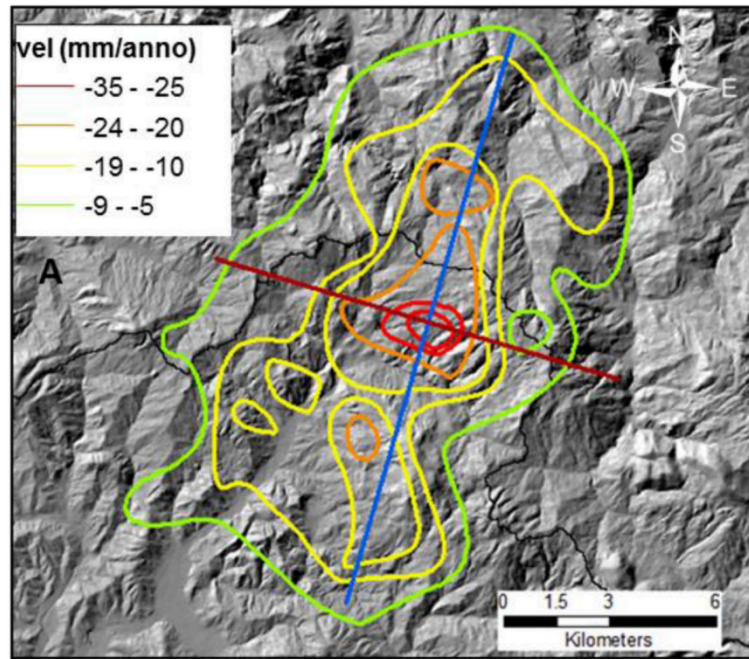


Figura 7-7. Isolinee di velocità per l'area geotermica di Larderello.

Questi autori ricavano per la zona del Monte Amiata velocità medie di abbassamento per il periodo 2002-2010 di -2.5 mm/anni (Figura 7-8, Figura 7-9).

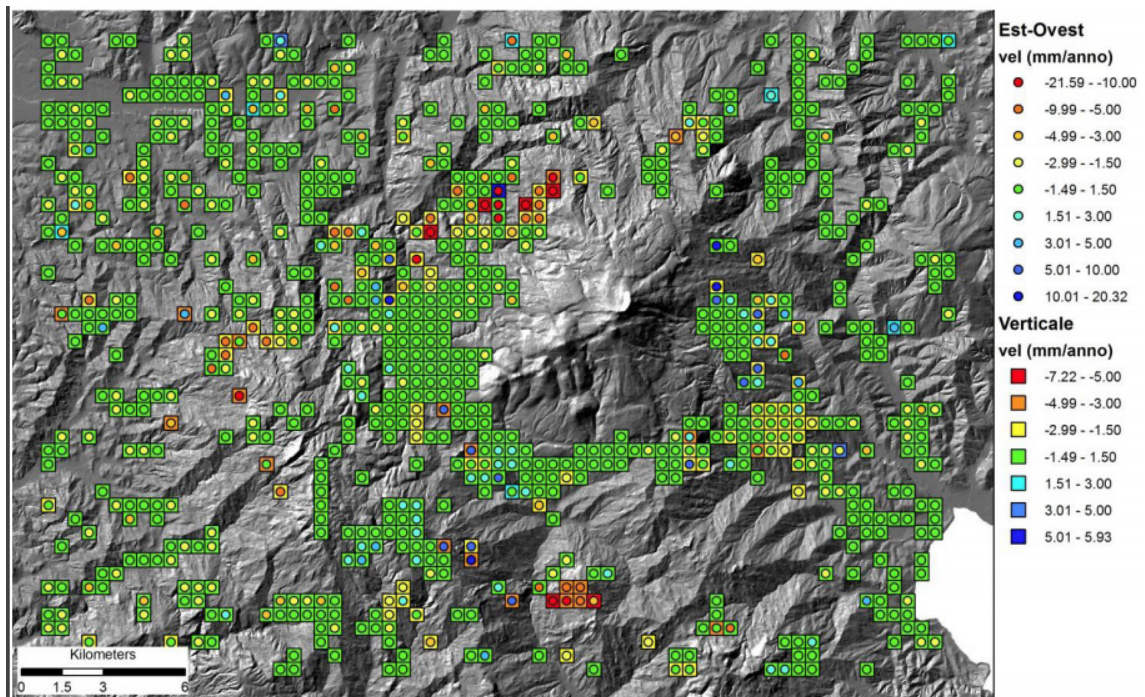


Figura 7-8. Scomposizione del moto Z-EW.

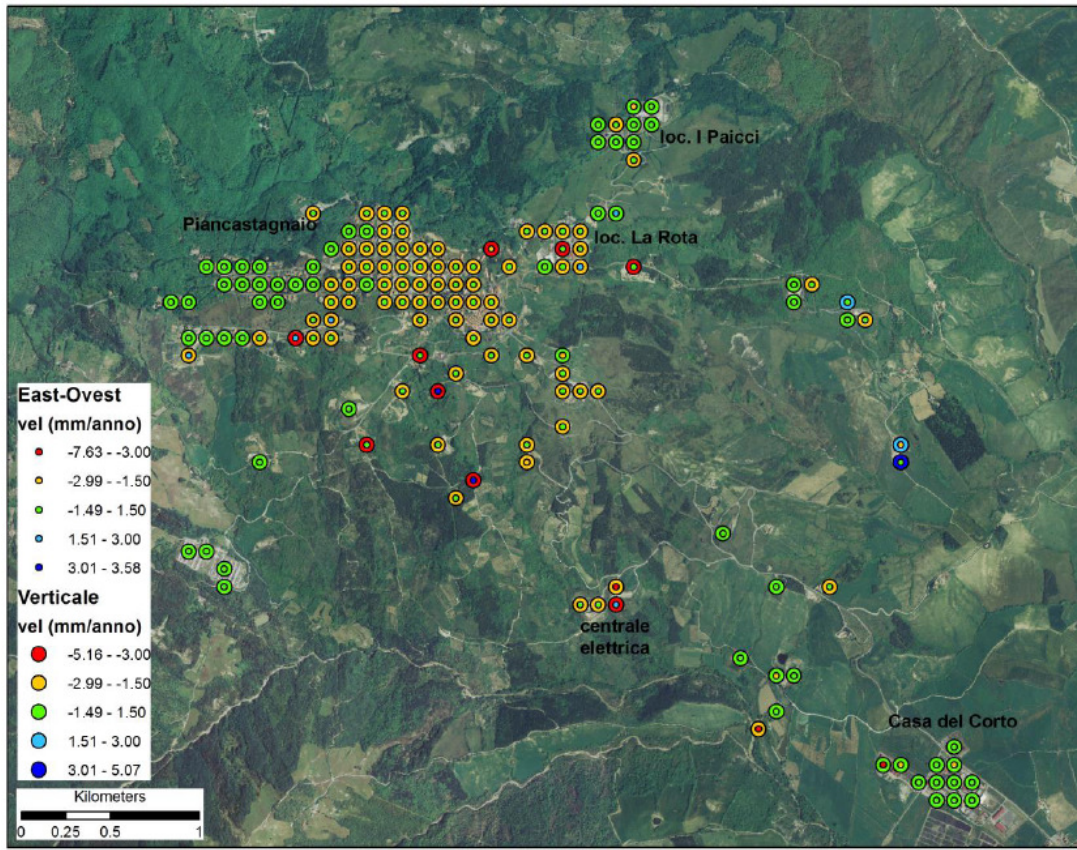


Figura 7-9. Zona di Piancastagnaio.

7.1.2 La subsidenza dei campi geotermici nel mondo

7.1.2.1 Nuova Zelanda

7.1.2.1.1 Wairakei-Tauhara

Il campo geotermico di Wairakei è in produzione dal 1958. Il serbatoio geotermico ad acqua dominante è ospitato all'interno di vulcaniti tettonizzate tipo horst e graben delimitati da faglie dirette. Il tetto del serbatoio varia da 1.2 a 2.5 km di profondità ed è caratterizzato da temperature maggiori di 200°C.

Più di 50 anni di produzione di energia elettrica a Wairakei, per lo più senza reiniezione, hanno causato un intenso declino della pressione del serbatoio e l'insorgere di fenomeni di subsidenza in superficie che localmente superano i 15 m. Tali valori sono di gran lunga superiori a quelli osservati in altri campi geotermici. Anche nel campo geotermico di Tauhara, connesso idrogeologicamente con quello di Wairakei, la diminuzione di pressione iniziata nel 1960 ha portato ad un abbassamento del suolo compreso tra 1.5 e 2.5 m (Lawless et alii, 2003).

La centrale geotermica di Wairakei è entrata in esercizio nel 1958 ed estrae circa 140000 tonnellate al giorno di fluido. Solo nel 1996 è iniziata la pratica della reiniezione nel sottosuolo e oggi solo una parte del fluido estratto viene reiniettato nel serbatoio (circa 40000 tonnellate al giorno) (Lawless et alii, 2003).

La subsidenza nel campo geotermico di Wairakey-Tauhara è ben documentata in quanto le prime livellazioni sono iniziate nel 1950 e sono continuate fino ad oggi. Recentemente dati riguardanti la subsidenza nei campi geotermici di Wairakei e Tauhara sono stati pubblicati da Bromley et alii (2015) (Figura 7-10, Figura 7-11). Le livellazioni hanno mostrato l'esistenza di due aree di circa 2 km² dove si hanno i massimi abbassamenti e dove, tra il 1960 e il 1970, la velocità di subsidenza è aumentata fino a raggiungere il picco di 500 mm/anno nel 1980 per poi abbassarsi a circa 75 mm/anno quando si è avuta anche una stabilizzazione della pressione del serbatoio. La subsidenza sta continuando ancora adesso con un tasso di circa 85 mm/anno (Hole et alii, 2005).

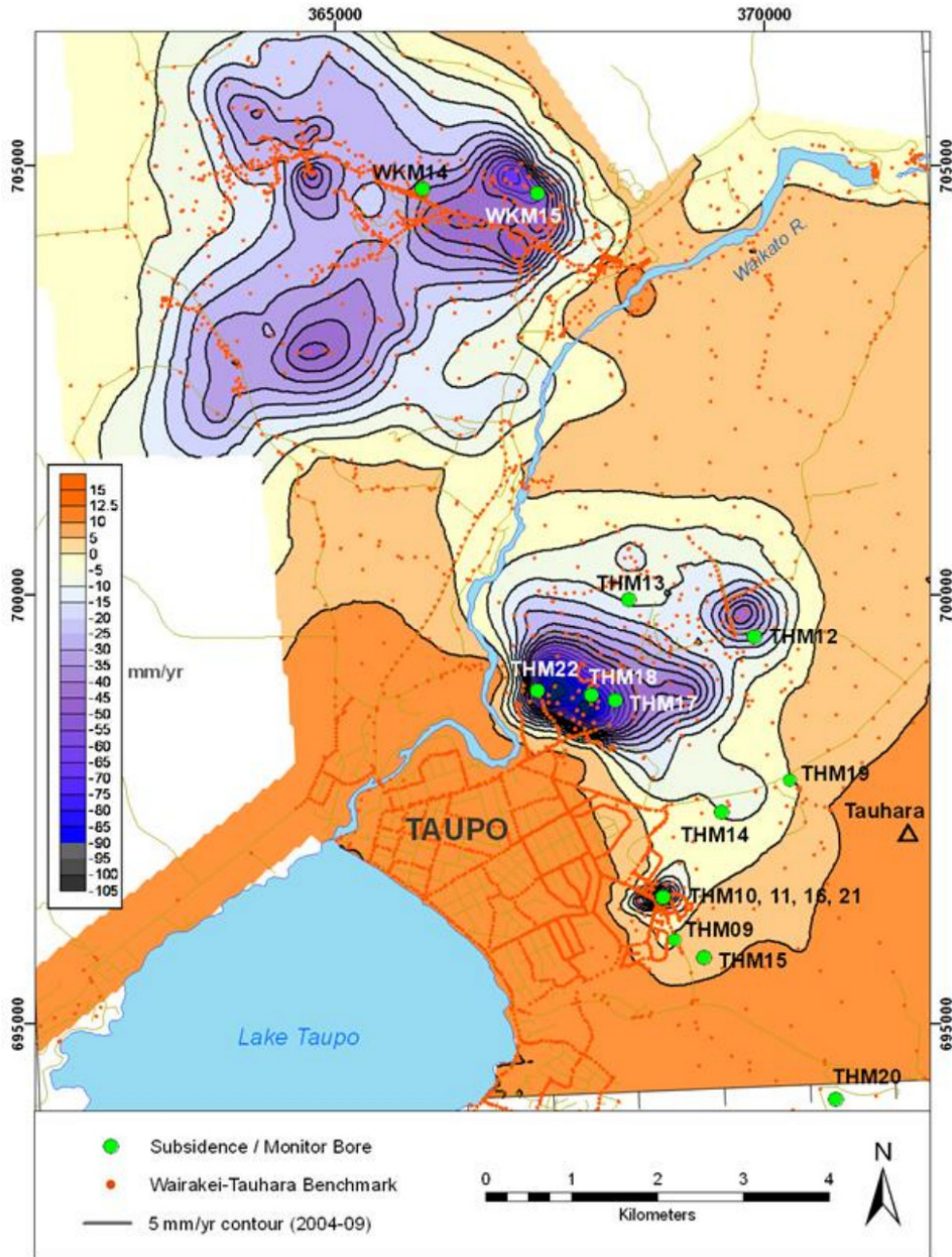


Figura 7-10. Mappa del grado di subsidenza per il campo geotermico di Wairakei-Tauhara (Bromley et alii, 2015).

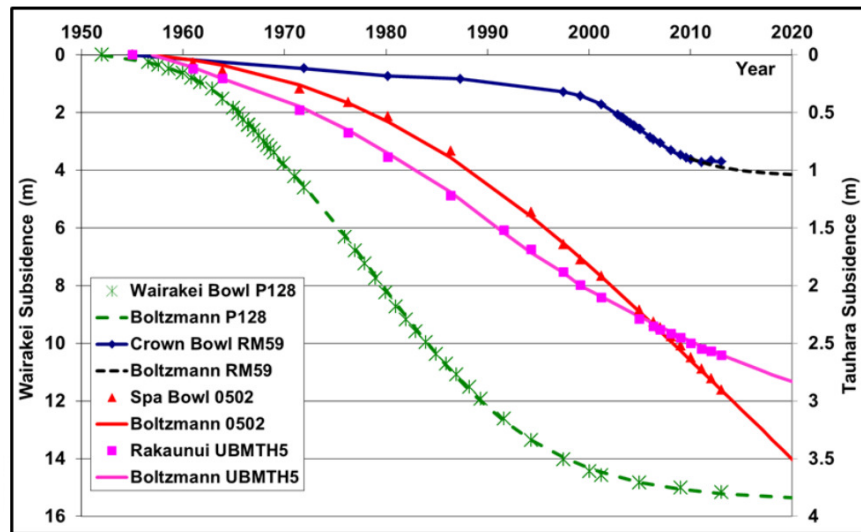


Figura 7-11. Andamento nel tempo della subsidenza per il campo geotermico di Wairakey-Tauhara (bromley et alii, 2015).

La causa della subsidenza è stata legata alla compattazione di ignimbriti, brecce e rocce sedimentarie alterate idrotermalmente che si trovano a profondità comprese tra 100 e 400 m dovuta ad un abbassamento della pressione idrostatica dell’acquifero ubicato in corrispondenza della parte del campo coltivata a scopi energetici (Lawless et alii, 2003).

7.1.2.1.2 Kawerau

Il campo geotermico di Kawerau è entrato in produzione nel 1957 mentre il monitoraggio della subsidenza è iniziato nel 1970. La quantità di fluido estratta è aumentata da 6 Mt/anno nel 1972 a 12 Mt/anno nel 1988 rimanendo poi costante fino al 2008 quando è aumentata a 36 Mt/anno con l’entrata in esercizio della centrale di Kawerau da 100 MW di potenza. La reiniezione è aumentata da 2-4 Mt/anno nel 1992 a 16 Mt/anno nel 2008. Il tasso di subsidenza, sebbene molto variabile, si aggira intorno a 1 mm/anno per ogni 1 Mt/anno di fluido estratto. L’origine della subsidenza è da attribuire al declino della pressione e della temperatura del serbatoio (Bromley et alii, 2015).

7.1.2.2 California

7.1.2.2.1 The Geysers

The Geysers è uno dei più grandi campi geotermici al mondo a vapore dominante. La produzione di energia elettrica è iniziata nel 1960 quando è stata installata una centrale da 12.5 MW. A metà degli anni 80 venivano prodotti circa 2 GW di energia. La produzione è poi calata a causa del progressivo declino della pressione di vapore nel serbatoio da una iniziale di 3.5 MPa a 1.2 MPa (Mossop & Segall, 1998).

Il serbatoio geotermico a vapore è ubicato all'interno di rocce sedimentarie fratturate ubicate al di sopra di una intrusione. Il tetto del serbatoio si trova a profondità comprese tra 300 e 1200 m slm e presenta temperature dell'ordine dei 250-300 °C.

Prima del 1968 la sorgente di vapore per la produzione di energia elettrica era il serbatoio più superficiale ma a partire dal 1970 la maggior parte del fluido viene estratto dal serbatoio profondo. La coltivazione del campo, tra il 1969 e il 1977, ha provocato un abbassamento della pressione di serbatoio di 1240 kPa che ha portato alla formazione di fenomeni di subsidenza superficiali che hanno raggiunto un tasso di circa 4 cm/anno durante il 1973-75 sceso poi a circa 2 cm/anno durante il 1975-77. Per ridurre il tasso di subsidenza e aumentare la produzione a partire dal 1969 iniziò la pratica della reiniezione dei condensati nelle serbatoio (Narasimhan et alii, 1982).

Tra il 1973 e il 1977 fu misurata una subsidenza massima di 19.2 cm con un tasso medio di 4.8 cm/anno ubicata in corrispondenza della principale area di estrazione del vapore. Nel periodo 1977-1996 (Figura 7-12) la subsidenza massima è stata di 90 cm con un tasso massimo di 4.7 cm/anno (Mossop & Segall, 1998).

Il fenomeno della subsidenza è stato correlato inizialmente al declino della pressione nel serbatoio a causa della coltivazione (Lofgren, 1981). Denlinger et alii (1981) invece osservarono che la modesta riduzione della pressione ($\Delta P \approx 1 \times 10^6$ Pa) del vapore unito ad un valore del "bulk modulus" di 3×10^{10} Pa stimato da dati sismici non era consistente con i valori di subsidenza misurati, pertanto optarono per una combinazione di deformazioni termoelastiche e poroelastiche. Secondo Mossop & Segall (1998) invece i valori di subsidenza misurati a The Geysers sembrano essere consistenti con una deformazione poroelastica e un "bulk modulus" quasi statico del serbatoio $< 3.6 \times 10^9$ Pa.

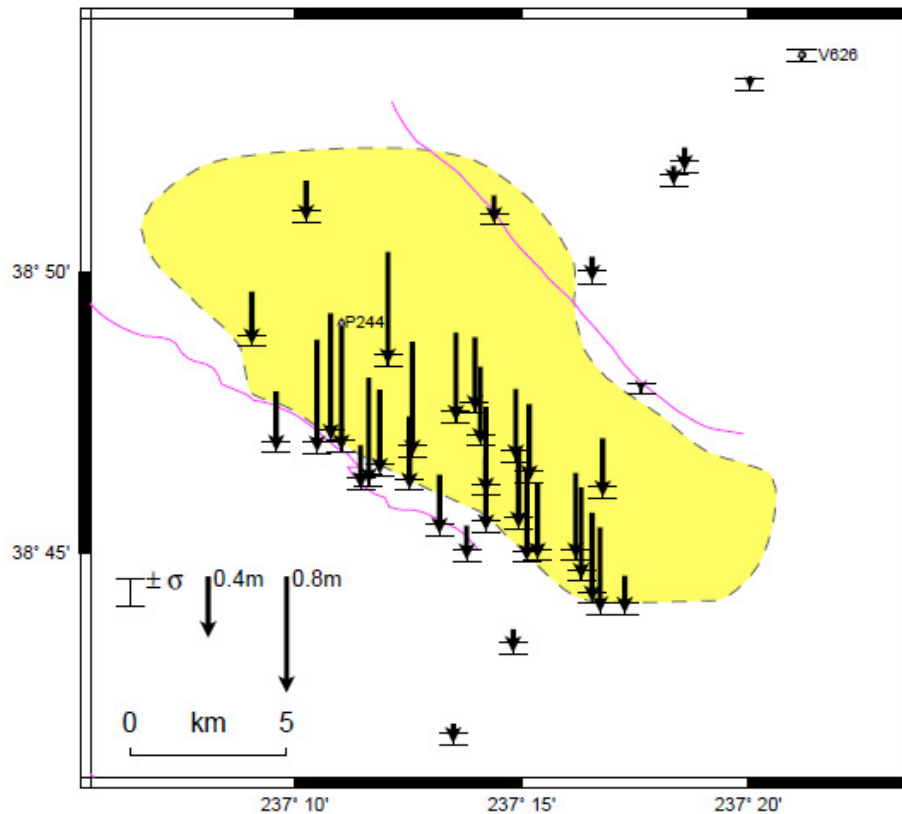


Figura 7-12. Andamento della subsidenza tra il 1977 e il 1996 (Mossop & Segall, 1998)

7.1.2.3 Messico

7.1.2.3.1 Cerro Pietro

Il campo geotermico di Cerro Prieto, ubicato nella valle del Mexicali, è un campo geotermico ad acqua dominante con temperature che variano da 280-350 °C ospitato in rocce sedimentarie. L'estrazione dei fluidi da profondità di 1500-3000 m è iniziata nel 1973 ed oggi vede una potenza installata di 720 MW. Nel 1994 la quantità di fluido estratta era di 3.2 m³/s (Glowacka et alii, 2000). La reiniezione dei fluidi è iniziata nel 1989 e ad oggi il 20% dei fluidi estratti è reiniettata a 500-2600 m di profondità (Sarychikhina et alii, 2005).

Il campo geotermico di Cerro Prieto è ubicato in una regione attiva tettonicamente, trovandosi tra placca Pacifica e quelle del Nord America, ed è caratterizzato da una serie di faglie dirette e inverse che sono responsabili di fenomeni di subsidenza di tipo naturale (Sarychikhina et alii, 2005), stimata in circa 0.45 cm/anno (circa il 4% di tutta la subsidenza osservata).

Il fenomeno della subsidenza nel campo geotermico di Cerro Prieto è ben documentato a partire dal 1960. Durante il periodo 1977-1987 è stato registrato un aumento del tasso di subsidenza a seguito di un aumento del fluido estratto. Nel periodo 1994-1997 il tasso di subsidenza è stato maggiore di 8 cm/anno, la mappa di Figura 7-13 mostra che la subsidenza aveva una forma ellittica con asse maggiore orientato NE-SO coincidente con l'anomalia termica e con l'orientamento del bacino di tipo "pull-apart" compreso tra Cerro Prieto e l'Imperial Fault. L'area di massima subsidenza (circa 11 cm/anno) coincide con l'area del campo geotermico coltivato (Glowacka et alii, 2000).

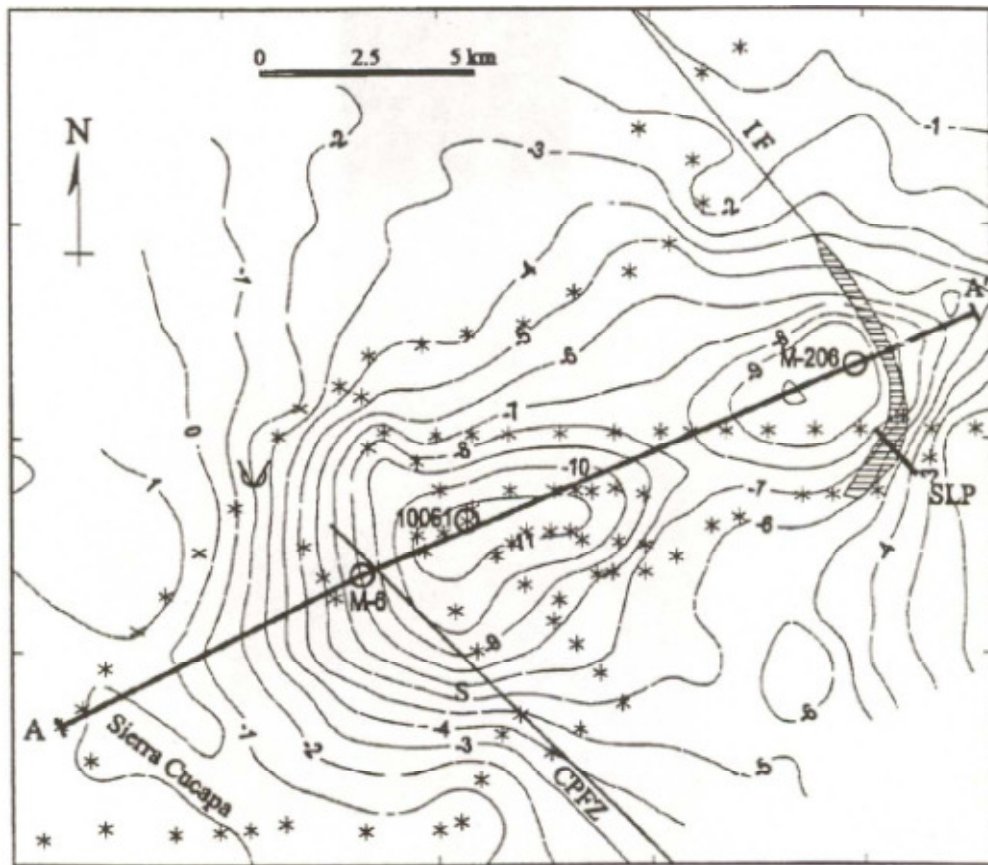


Figura 7-13. Tasso di subsidenza per il periodo 1994-1997 espresso in cm/anno (Glowacka et alii, 2000).

Il tasso di subsidenza calcolato da dati DInSAR nel 2005 è di circa 18 cm/anno e l'area interessata da questo fenomeno è limitata da due faglie, al di fuori dei pozzi geotermici (Glowacka et alii, 2015).

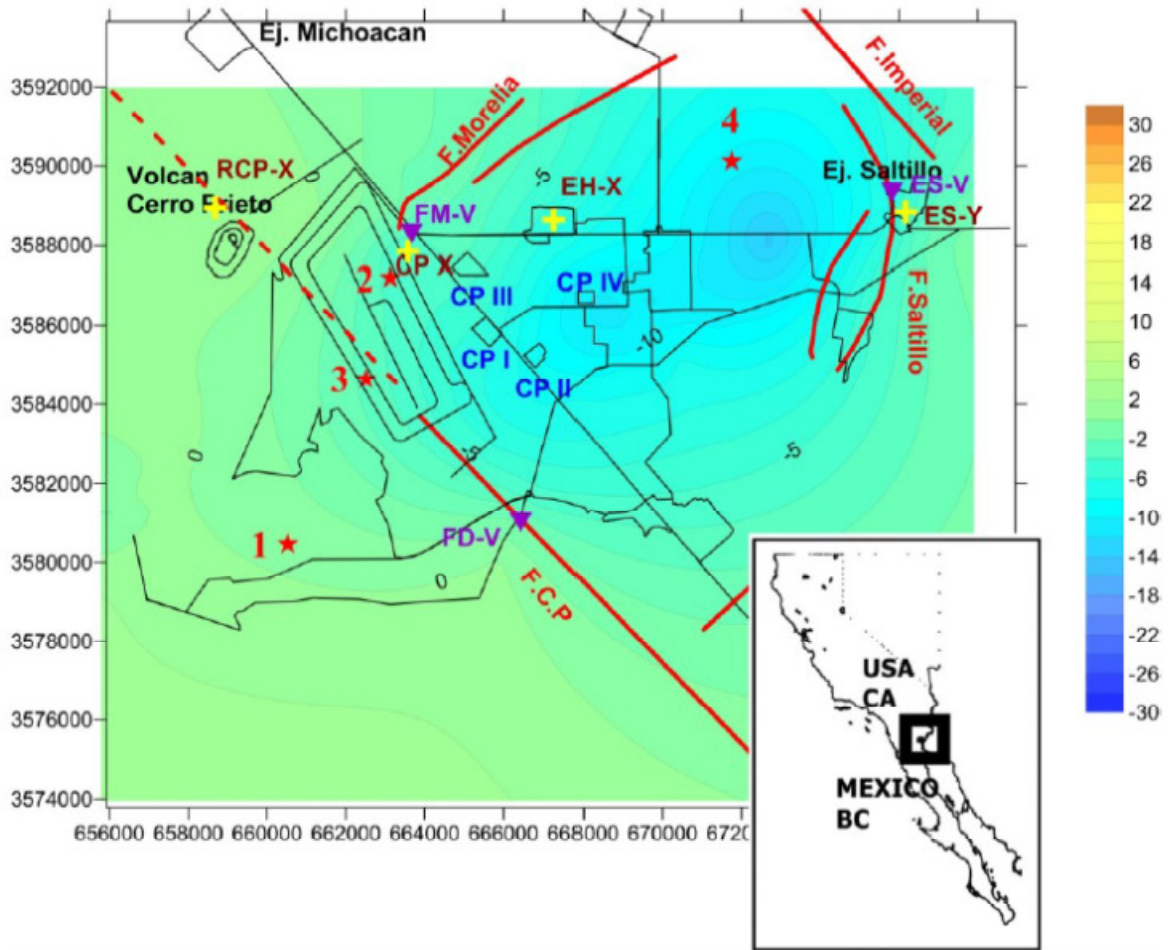


Figura 7-14. Tasso di subsidenza derivato dai dati DInSAR per l'anno 2005 (Glowacka et alii, 2015).

In generale tutti gli autori sostengono che la subsidenza è dovuta alla estrazione dei fluidi dal sottosuolo.

7.2 MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA

Il monitoraggio della subsidenza consiste nel misurare le deformazioni del terreno mediante livellazioni topografiche con strumenti ottici, misure GPS periodiche o su stazioni fisse o con tecnica InSAR, su punti fissi ubicati progressivamente più distanti a partire dall'area di estrazione del fluido geotermico.

Come è noto la subsidenza legata alla coltivazione dei fluidi geotermici deriva dall'estrazione dei fluidi stessi dal sottosuolo che può indurre una certa compattazione delle rocce serbatoio. Questo fenomeno si ripercuote nei terreni sovrastanti e in superficie si manifesta con fenomeni di abbassamento del suolo. Il fenomeno che è noto in molti campi geotermici, specialmente durante il primo periodo di coltivazione, viene contrastato in modo efficace con la pratica di reiniettare i fluidi geotermici all'interno del serbatoio a valle del loro utilizzo nella centrale di produzione. Con questa tecnica di coltivazione del campo si va a reintegrare il fluido estratto in modo da mantenere quanto più possibile costante la quantità di fluido nel serbatoio mantenendo l'acquifero geotermico in equilibrio.

Il progetto "Cortolla" prevede la reiniezione totale del fluido geotermico all'interno delle stesse formazioni da cui è stato prelevato a partire dalle prime fasi di coltivazione che coincidono con la messa in esercizio dell'impianto, pertanto per sua natura il progetto non andrà minimamente ad indurre variazioni nel contenuto di fluido disponibile nel serbatoio geotermico. Di per sé questa condizione evita variazioni di volume nel sottosuolo e quindi l'insorgere di fenomeni di abbassamento del suolo in superficie.

Nonostante ciò si è deciso ugualmente di predisporre un piano di monitoraggio al fine di verificare la possibilità di eventuali fenomeni di subsidenza. Il Piano di monitoraggio, da concordare in fase esecutiva con le Autorità Competenti e gli Enti di Controllo, prevede:

- 1) Misure di precisione tramite livellazione geometrica;
- 2) Rilievi InSAR.

Misure di precisione tramite livellazione geometrica

Si prevede di realizzare una rete di capisaldi finalizzati a misure verticali di precisione del terreno. Ogni caposaldo verrà materializzato tramite un piccolo pilastro in cemento oppure tramite un chiodo metallico posto su manufatti esistenti. Per ogni caposaldo verrà realizzata una scheda tecnica.

Le misure di quota verranno effettuate mediante l'impianto di una rete di livellazione geometrica. L'acquisizione delle misure avverrà tramite un livello ottico accoppiato a due stadie in invar. La precisione attesa è di 0,3 mm/km, ulteriormente migliorabile

attraverso calcoli numerici. Tale precisione è ritenuta sufficiente per la valutazione di eventuali deformazioni.

I percorsi lungo i quali effettuare le misure (Figura 7-15) sono stati determinati tenendo in considerazione l'esigenza di coprire in modo più omogeneo possibile l'area del permesso di ricerca compatibilmente con le strade e i sentieri esistenti e nello stesso tempo di materializzare percorsi non troppo lunghi al fine di svolgere le misure in tempi giornalieri. Come riferimenti planimetrici dai quali far partire le nuove misure sono stati utilizzati due capisaldi IGM presenti nelle immediate vicinanze del permesso di ricerca e ricavati dal sito IGM <http://www.igmi.org/geodetica/> denominati: Ponteginori (n. 112626) e Montecatini Val di Cecina (n. 112612). Tali capisaldi possono essere utilizzati come riferimenti planimetrici. Si prevede di materializzare due punti anche presso il polo di produzione e il polo di reiniezione.

In fase esecutiva, a seguito di una serie di sopralluoghi, si provvederà alla scelta definitiva delle ubicazioni dei capisaldi.

La metodologia di lavoro consiste nella misura dei dislivelli tra due punti con il metodo della livellazione geometrica dal mezzo, eseguendo misure in andata ed in ritorno ragionevolmente differenziate nel tempo in modo che le due serie di misure risultino da condizioni operative (meteorologiche, di luce, di percorso ecc.) sufficientemente diversificate in modo da ridurre eventuali possibilità di errori sistematici, ma non oltre le 24 ore successive.

Possono essere eseguite due tipologie di misurazioni:

- Alta precisione: misure ogni 40 m con precisione di 1 mm/km.
- Livellazione tecnica: misure ogni 100 m con precisione di 5 mm/km.

La produzione è generalmente di circa 3 km al giorno (6 km in andata e ritorno) effettuando misure intermedie tra i capisaldi (es. ogni 40 m).

La rete di monitoraggio proposta ha una lunghezza complessiva di circa 37 km, l'intera rete sarà coperta 1 volta prima dell'inizio della fase di perforazione in modo da ottenere un bianco ante-operm. Successivamente le livellazioni saranno eseguite a cadenze concordate in base alle esigenze (es. una volta ogni 6 mesi il primo anno, una volta ogni 12 mesi in seguito).

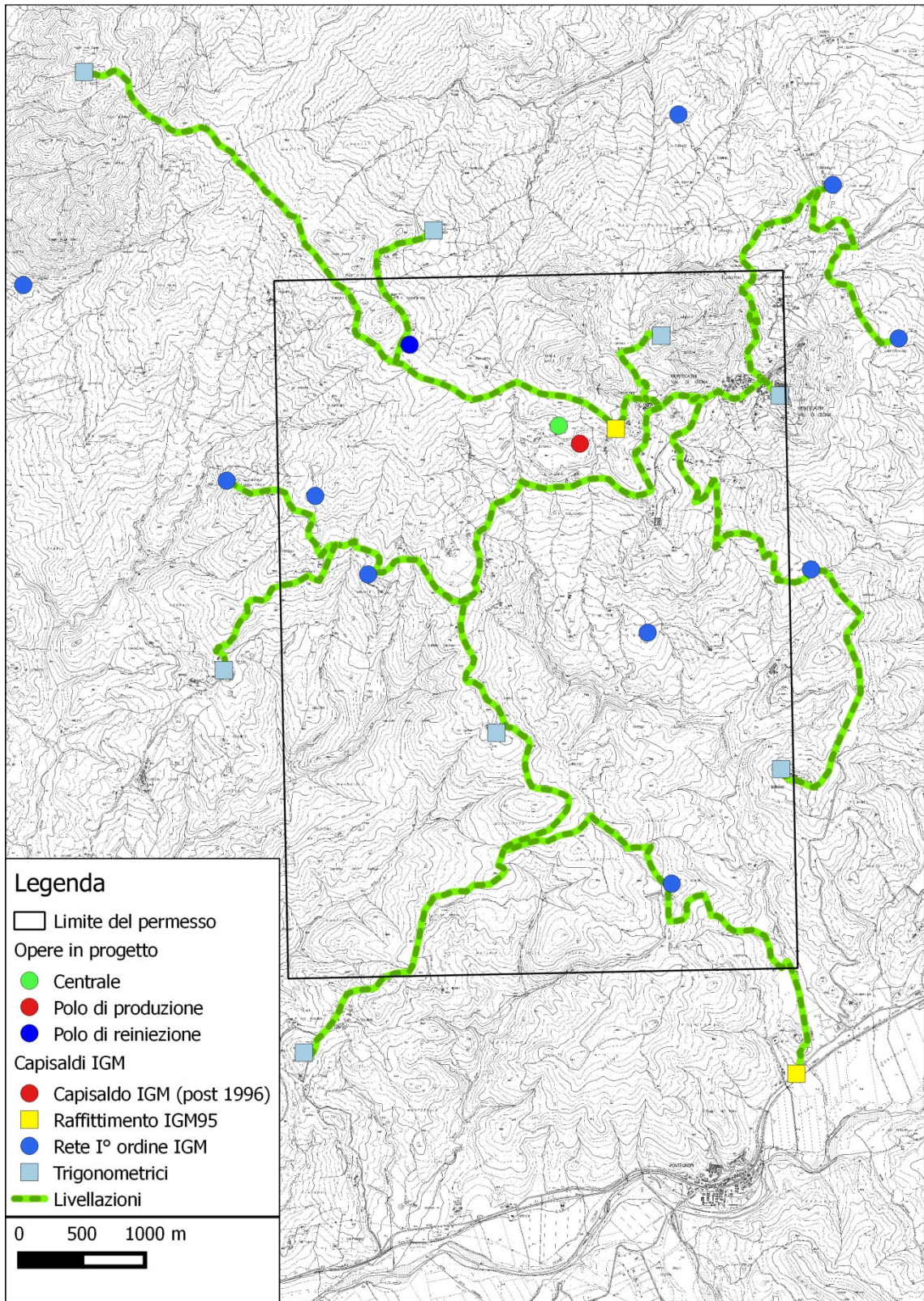


Figura 7-15. Proposta dei percorsi per l'esecuzione delle livellazioni.

Prima della messa in esercizio dell'impianto geotermico verrà effettuata una campagna di misura al fine di verificare la situazione *ante-operam* con la quale confrontare i dati derivati dalle campagne di misura successive alla messa in esercizio dell'impianto. Si prevede di effettuare una campagna di monitoraggio una volta l'anno; in caso venissero ravvisate variazioni sensibili si prevede di intensificare le campagne di misura.

Rilievi InSaR

L'interferometria mediante Radar ad Apertura Sintetica (InSAR) è una tecnica radar che viene utilizzata nell'ambito della geodesia e del telerilevamento. La tecnica InSAR permette di creare mappe dell'andamento della superficie terrestre o in alternativa dei DEM (Modelli Digitali del Terreno) utilizzando i dati provenienti da due o più radar ad apertura sintetica (SAR) attraverso le differenze di fase delle onde riflesse verso il satellite.

Con questa tecnologia è possibile ottenere informazioni ad altissima risoluzione spaziale e misurare deformazioni in un arco temporale di giorni o anni in quanto il SAR ha la possibilità di rivisitare la stessa area ad intervalli regolari (da 32 a 8 giorni a seconda del satellite utilizzato).

I satelliti percorrono orbite elio-sincrone lievemente inclinate rispetto ai meridiani, illuminando, da una quota attorno ai 500÷800 km, una striscia di terreno (swath) larga fino a 100 km. La stessa orbita nominale viene ripercorsa dopo un intervallo definito (revisiting time), consentendo così di acquisire dati relativi alla stessa area al suolo, in tempi differenti. La direzione parallela all'orbita è detta azimuth e coincide approssimativamente con la direzione Nord-Sud. La risoluzione (ovvero la capacità di riconoscere come distinti due bersagli) in azimuth vale solitamente qualche metro e per i satelliti in banda X fino a 1 metro. Dalla combinazione della rotazione terrestre con le orbite elio-sincrone risulta che una stessa area della superficie terrestre viene illuminata dalla radiazione radar sia durante il passaggio del satellite in direzione Nord-Sud, denominata geometria discendente, sia durante il passaggio del satellite in direzione Sud-Nord, denominata geometria ascendente. Ciò significa che l'area al suolo viene rilevata sotto due angoli di vista praticamente speculari. Entrambe le geometrie hanno lo stesso revisiting time (<http://treuropa.com/it/technique/sar-imagery/>).

Utilizzando la tecnica denominata Interferometria Differenziale SAR (DInSAR), in cui si confrontano (si fanno "interferire") due immagini acquisite da posizioni leggermente differenti (baseline spaziale) e in tempi diversi (baseline temporale) è possibile ottenere immagini tridimensionali della superficie terrestre, misurandone anche la topografia. Se qualcosa è cambiato, nell'intervallo di tempo tra le due acquisizioni, ossia se si rileva una deformazione del terreno tra i due passaggi successivi del sensore, questa viene visualizzata mediante una serie di strisce colorate, le cosiddette frange di interferenza o

interferogramma. Le onde elettromagnetiche utilizzate sono caratterizzate da una alternanza di creste distanziate di circa 5 cm; questa distanza è la cosiddetta lunghezza d'onda. È proprio "contando" queste creste che il radar riesce a capire a quale distanza si trova l'oggetto che sta osservando. Non solo, se l'oggetto, che può trovarsi anche a centinaia di chilometri di distanza, si sposta di appena qualche centimetro il numero di creste che caratterizzano le onde elettromagnetiche cambierà, consentendo di rilevare e misurare lo spostamento con accuratezza, appunto, centimetrica. Le tecniche interferometriche generano non solo le mappe di deformazione del suolo misurata lungo la linea di vista del sensore, ma usufruendo di una serie di immagini (invece di due sole) acquisite nel corso del tempo, consentono di seguire l'evoluzione temporale della deformazione stessa.
(http://www.irea.cnr.it/index.php?option=com_k2&view=item&id=77:interferometria-differenziale-radar-ad-apertura-sintetica&Itemid=139).

Per questi motivi la tecnologia InSAR si presta bene alla rilevazione di eventuali fenomeni di subsidenza delle aree di progetto e potenzialmente legati alla fase di estrazione e reiniezione dei fluidi nel sottosuolo.

Si prevede di acquisire i dati InSAR relativi all'area di progetto con una copertura di circa 60 km² secondo le seguenti fasi:

- Monitoraggio ante-operam: acquisizione dei dati prima dell'inizio lavori al fine di avere un bianco di riferimento;
- Monitoraggio post-operam: a seguito della messa in esercizio dell'impianto geotermoelettrico e quindi delle operazioni di estrazione e reiniezione dei fluidi geotermici, si prevede l'acquisizione dei dati InSAR una volta ogni 3/5 anni.

8 MONITORAGGIO DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

In questa sezione si presenta un Piano preliminare finalizzato ad individuare le linee principali di sviluppo di un futuro sistema di monitoraggio radiometrico associato all'impianto geotermico "Cortolla". Naturalmente, poiché l'articolazione di tale sistema passa necessariamente attraverso l'acquisizione di una serie di dati affidabili relativi al contesto locale e alle caratteristiche degli impianti, lo schema qui proposto va inteso solo come preliminare, e sarà perciò suscettibile di modifiche e affinamenti solo a valle di successivi confronti con ARPAT e di misure.

Ciò premesso, si osserva anzitutto che la geotermia non rientra tra le attività oggetto delle norme in materia di protezione dalle radiazioni ionizzanti, e in particolare del D.Lgs 230/95 e s.m.i., il quale riguarda:

- gli impianti nucleari;
- la produzione, la gestione e il trasporto di materie radioattive;
- il funzionamento delle macchine radiogene;
- determinate lavorazioni minerarie;
- gli interventi in caso di emergenza radiologica o nucleare o in caso di conseguente esposizione prolungata;
- le altre attività lavorative che implicano la presenza di sorgenti naturali di radiazioni, e in particolare quelle nelle quali tali sorgenti conducono ad un significativo aumento dell'esposizione dei lavoratori o del pubblico che non può essere trascurato dal punto di vista della radioprotezione, e cioè quelle che:
 - espongono i lavoratori e/o il pubblico a prodotti di decadimento del radon o del toron o a ogni altra esposizione in luoghi di lavoro sotterranei o in zone ben individuate o con caratteristiche determinate;
 - provocano un aumento significativo dell'esposizione dei lavoratori e/o del pubblico a seguito dell'uso e/o dello stoccaggio di materiali, ovvero la produzione di residui, abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali;
 - riguardano gli stabilimenti termali o specifiche attività estrattive;
 - riguardano il personale navigante a bordo di aerei.

- industria che utilizza minerali fosfatici e depositi per il commercio all'ingrosso di fertilizzanti;
- lavorazione di minerali nella estrazione di stagno, ferro-niobio da pirocloro e alluminio da bauxite;
- lavorazione di sabbie zirconifere e produzione di materiali refrattari;
- lavorazione di terre rare;
- lavorazione ed impiego di composti del torio, per quanto concerne elettrodi per saldatura con torio, produzione di lenti o vetri ottici e reticelle per lampade a gas;
- produzione di pigmento al biossido di titanio;
- estrazione e raffinazione di petrolio e estrazione di gas, per quanto concerne presenza e rimozione di fanghi e incrostazioni in tubazioni e contenitori.

Come si vede, si tratta dunque di una casistica piuttosto ampia, sebbene in gran parte relativa a contesti piuttosto specifici, che ricomprende diverse attività portatrici di potenziali esposizioni per i lavoratori e/o il pubblico.

Sono invece escluse dal campo di applicazione del D.Lgs 230/95 l'esposizione al radon nelle abitazioni o al fondo naturale di radiazione, e quindi i radionuclidi contenuti nell'organismo umano, nonché la radiazione cosmica presente al livello del suolo e l'esposizione in superficie ai radionuclidi presenti nella crosta terrestre non perturbata. In aggiunta, sono anche escluse le operazioni di aratura, di scavo o di riempimento effettuate nel corso di attività agricole o di costruzione (fuori dei casi in cui dette operazioni siano svolte nell'ambito di interventi per il recupero di suoli contaminati con materie radioattive).

8.1 LA GEOTERMIA E LE RADIAZIONI IONIZZANTI

Da quanto detto in premessa si evince che il D.Lgs 230/95 non include la geotermia tra le attività oggetto di specifica attenzione ai fini della relativa sorveglianza e protezione radiometrica. Ciò tuttavia non deve indurre a considerare le attività geotermiche del tutto prive di implicazioni in tal senso, e ciò per due ragioni:

- una ragione “tecnica”, e cioè il fatto che le attività geotermiche, prelevando e trattando fluidi e detriti provenienti da formazioni profonde, possono comunque essere fonte di radioattività naturale, in forma diretta (NORM, v.sotto), ovvero indotta dalla applicazione di specifici processi e tecnologie (TENORM, v.sotto);
- una ragione “normativa”, in quanto, se è vero che il D.Lgs 230/95, come visto, non inserisce la geotermia tra le attività che possono determinare esposizioni significative per i lavoratori e/o il pubblico, si deve anche considerare che il 5/12/2013 è stata approvata la Direttiva 2013/59/EURATOM “*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". Infatti all'art.23 di tale Direttiva vengono individuate le pratiche che comportano l'impiego di materiali contenenti radionuclidi presenti in natura e "che determinano un livello di esposizione dei lavoratori o individui della popolazione non trascurabile dal punto di vista della radioprotezione".

I settori industriali interessati sono riportati nell'Allegato VI e, in aggiunta a quelli già citati sopra a proposito del D.Lgs 230/95, sono presenti diversi altri, tra i quali la "produzione di energia geotermica".

Prima di entrare nel merito di quanto precede si premettono le seguenti definizioni:

- **NORM** (*Naturally Occurring Radioactive Materials*):

con questo acronimo si indicano materiali non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali in concentrazioni superiori alla media della crosta terrestre. I NORM possono essere presenti in numerose attività industriali come materia prima, ovvero prodotto o residuo delle lavorazioni. In questi casi il rischio radiologico non è elevato ed è in genere incidentale in relazione al processo.

E' da notare che i NORM sono presenti in modo diffuso nell'ambiente, ed in particolare nel suolo, nell'acqua e nell'aria, oltre che nei vegetali e negli animali. Il più conosciuto e diffuso di tali isotopi radioattivi è il Radon-222, noto semplicemente come Radon, cioè un gas appartenente alla famiglia dell'Uranio-238, la cui caratteristica principale è una emivita di quasi 4 giorni, che gli consente di raggiungere valori elevati di concentrazione in ambienti chiusi e persino nelle acque potabili, e dunque anche di essere inalato dalle persone. Per questo motivo alcune Regioni (tramite le ARPA), oltre che l'ISPRA, promuovono campagne periodiche di misura, allo scopo di migliorare il quadro conoscitivo e successivamente pianificare le azioni da intraprendere;

- **TENORM** (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*):

con questo secondo acronimo si indicano invece quei materiali utilizzati nell'industria che, pur anch'essi non considerati radioattivi, risultano oggetto di attenzione ai fini del rischio radiologico in quanto i radionuclidi naturali che essi contengono vengono ad essere concentrati in conseguenza dell'applicazione di determinati trattamenti e tecnologie, causando un aumento dell'esposizione dei lavoratori e della popolazione. Tipici TENORM sono (v. sopra) i fertilizzanti fosfatici, le sabbie zirconifere per impieghi ceramici, i residui di impianti di trattamento delle acque potabili, i residui di impianti petroliferi o di gas naturale.

Anche i TENORM costituiscono spesso una importante sorgente di esposizione della popolazione. Ciò, come detto, a causa della concentrazione di tali sostanze che si determina a seguito dell'utilizzo di NORM in determinati processi industriali.

Poste queste premesse, si osserva che una attività geotermica può essere fonte sia di NORM che di TENORM, come di seguito descritto in sintesi.

8.2 POTENZIALI SORGENTI DI NORM E TENORM NELLE ATTIVITÀ GEOTERMICHE

Si è detto che il Radon è il radioisotopo naturale più diffuso, le cui sorgenti principali sono alcune rocce della crosta terrestre (lave, tufi, graniti, ecc.) e alcuni materiali da costruzione (cementi, laterizi, ecc.), oltre che alcune falde acquifere nelle quali può trovarsi disciolto.

Ne segue che le attività di perforazione, con la conseguente estrazione di detriti e di fluidi e, successivamente, l'attività di coltivazione dei fluidi geotermici, possono causare la risalita di potenziali sorgenti di NORM, i quali, quindi, possono ritrovarsi:

- nei rifiuti prodotti dall'impianto di perforazione;
- nelle eventuali incrostazioni (scaling) che si possono formare all'interno di alcune parti dell'impianto geotermoelettrico (nel circuito del fluido geotermico nel caso di impianti di tipo binario);
- nelle emissioni di radon, che possono determinarsi in una qualunque fase.

70

Per quanto riguarda il primo punto, i rifiuti che possono contenere NORM sono quelli derivanti dalle operazioni di perforazione. Questi sono costituiti dai frammenti di roccia perforata (cuttings) e dai fanghi di perforazione eventualmente diluiti con i fluidi rinvenuti nel corso della perforazione stessa.

I residui solidi, peraltro, vengono separati dalla componente liquida e semiliquida attraverso vibrovagli e centrifughe, e quindi accumulati per poi essere portati a smaltimento esterno, mentre i fanghi, opportunamente puliti, vengono riutilizzati per la perforazione. Dunque, i NORM presenti nei materiali estratti non si ritrovano in quantità significative nei rifiuti solidi avviati all'esterno. I fanghi, invece, che vengono riutilizzati per la perforazione ed entrano nuovamente in contatto con le formazioni geologiche, possono andare incontro a lievi arricchimenti di NORM proprio grazie alle loro modalità di funzionamento, e cioè a TENORM.

Per quanto riguarda, in particolare, il fluido geotermico, fonti scientifiche dimostrano che, sebbene uranio, torio e loro prodotti di decadimento siano presenti nelle formazioni geologiche da cui viene estratto il fluido stesso, questo ne contiene concentrazioni molto

basse. Si veda, ad esempio, la seguente tabella ⁽¹⁾ da cui risulta che nei campi a vapore secco, come ad esempio Larderello, è possibile riscontrare concentrazioni di radon (nel vapore condensato) di circa 2 ordini di grandezza maggiori di quelli riscontrati in altri campi geotermici a vapore o ad acqua. E, comunque, esiste, nel primo caso, un ampio range di variabilità, dato che la concentrazione può arrivare fino a valori di diversi ordini di grandezza superiori.

Si deve inoltre osservare che per un campo ad acqua dominante, condizione simile a quella del progetto Cortolla, i valori di radon sono molto bassi rispetto ai campi a vapore e vapore secco.

Tipologia di sistema geotermico	Località	Concentrazione media di Radon (10^{-9} Bq/l)*
Dry steam	Larderello, Italy	1.28
Dry steam	The Geysers, USA	0.62
Flashing brine	Salton Sea KGRA, USA	0.11
Hot water	East Mesa, USA	0.01

* I valori di concentrazione sono riferiti ai fluidi geotermici condensati. Nei campi a vapore la concentrazione è inversamente proporzionale al volume del vapore stesso alla temperatura e pressione della testa del pozzo.

Nel caso dei sistemi a vapore, nonostante l'elevata quantità di fluido che viene estratta e che circola nell'impianto, la quantità assoluta di sostanze radioattive tende a rimanere bassa, ma le variazioni di pressione e temperatura che il fluido subisce possono produrre in alcuni punti la deposizione di radionuclidi naturali sotto forma di incrostazioni. Queste ultime, in particolare, si possono trovare sulle superfici interne delle macchine per la perforazione, ed anche in quelle destinate alla produzione (ad esempio turbine, scambiatori, valvole, ecc.) e contengono bario, carbonati, solfati e silicati.

Nello specifico di un impianto a ciclo binario come quello del progetto Cortolla le uniche parti dell'impianto all'interno delle quali si potrebbe avere la formazione di incrostazioni è quella lato fluido geotermico, in quanto nel circuito a monte dello scambiatore circola un fluido secondario che non contiene radionuclidi. Tuttavia il mantenimento di condizioni di pressioni adeguate all'interno del circuito del fluido

¹ Rapporto 15 giugno 2015 (ISPRA, ISS, ARPAT, ARPA Veneto, Lombardia e altre, ENI) – Task 03.02.01 - VALUTAZIONE DI IMPATTI RADIOLOGICI DA NORM - Convenzioni tra ISPRA e ARPA, APPA, ENEA-INMRI, CRI, ISS nell'ambito della Convenzione del 29.12.2006 MATTM-ISPRA avente per oggetto "Supporto tecnico alla DSA all'elaborazione di linee guida ed indirizzi metodologici", linea di attività "Prevenzione dai rischi dell'esposizione a radiazioni ionizzanti", tematica "Implementazione di un sistema nazionale di monitoraggio della radioattività ambientale"

geotermico impedisce, nel caso specifico del progetto “Cortolla”, la formazione di incrostazioni e con esse la deposizione di radionuclidi.

In definitiva, tutto quanto sopra suggerisce che, da un lato, in un impianto geotermico i materiali radioattivi tendono a restare confinati nell’impianto stesso, tanto più che tutti i fluidi circolano a circuito chiuso. Dall’altro, che, a seguito di interventi di manutenzione – in caso di manovre e trattamenti inadeguati – i radionuclidi potrebbero essere dispersi nell’ambiente o esporre direttamente i lavoratori che si occupano di tali manovre e trattamenti (presso l’impianto stesso e/o all’esterno). Tale esposizione può derivare da irraggiamento esterno o interno (inalazione di particolato contaminato).

Sono queste, quindi, le fasi che, unitamente allo smaltimento all’esterno dei residui, può essere opportuno monitorare.

8.3 QUADRO CONOSCITIVO

Sulla base di quanto sopra esposto si ritiene opportuno fornire alcune ulteriori informazioni, relative alla radioattività naturale nell’area di interesse.

Da tempo diversi Enti conducono campagne di misure radiometriche per caratterizzare la radioattività naturale, in particolare per quanto riguarda il Radon. A questo scopo, in aggiunta alle attività di monitoraggio condotte dalle singole Regioni, è stato avviato, nel 2002, il Piano Nazionale Radon (PNR), la cui finalità è, analogamente a quanto fatto in altri Paesi, il coordinamento a livello nazionale delle suddette attività, con l’obiettivo di ridurre il rischio di patologie associate alla relativa esposizione. Con la pubblicazione della Direttiva 2013/59/EURATOM, inoltre, tale piano nazionale diviene obbligatorio per tutti gli Stati Membri dell’UE e dovrà essere periodicamente aggiornato sulla base delle valutazioni di efficienza delle azioni adottate per la riduzione del rischio associato all’esposizione al radon.

Per quanto riguarda la Toscana, sin dagli anni 90 (tra il 1992 e il 1996) sono state condotte alcune campagne su abitazioni ubicate anche nelle aree geotermiche. In tempi più recenti, nel 2006-2010, l’ARPAT ha condotto una campagna che ha coinvolto quasi 2000 abitazioni e circa 1300 fra luoghi di lavoro e scuole, in 287 Comuni. A seguito di tale indagine è stata emanata la DGR 26 novembre 2012 n. 1019, con la quale, tra le altre cose, sono stati individuati 13 Comuni “*ad elevata probabilità di elevate concentrazioni di radon ai sensi della D.Lgs. 241/00*” (cosiddetti “radon prone”). Tali Comuni sono quelli in cui in almeno il 10% delle abitazioni si stima un superamento del livello di riferimento di 200 Bq m⁻³, e Montecatini Val di Cecina appartiene a tale lista (v. tabella sotto).

**Comuni della Toscana ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon
ai sensi del D.Lgs. 230/95 e s.m.i.**

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	Piancastagnai o	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%

N: numero di abitazioni/luoghi di lavoro

MA: media aritmetica fra le misure in un Comune, che è correlata direttamente al rischio sanitario;

MG: media geometrica fra le misure in un Comune, che rappresenta un valore centrale della distribuzione dei dati nel Comune

Va detto, peraltro, che la presenza di Montecatini VdC nel suddetto elenco non ha in sé ricadute dirette e significative sui possibili impatti derivanti dalla realizzazione e dall'esercizio dell'impianto, tenuto conto anzitutto che l'attività geotermica non dà luogo, come visto, ad emissioni incontrollate di sostanze radioattive (peraltro,

comunque deboli) ma, nel caso, soltanto ad eventuali residui ben localizzati e gestibili, e l'eventuale maggior concentrazione di radionuclidi può al più determinare una maggiore frequenza delle procedure di gestione.

Inoltre, i dati rilevati si riferiscono ad ambienti chiusi (abitazioni e luoghi di lavoro) in cui le sostanze tendono a concentrarsi, dando luogo ad un range di valori assai diverso da caso a caso, e di grande variabilità, come anche confermato dal rapporto del gennaio 2008 *“La misura del gas radon nelle scuole dei comuni dell’area geotermica in provincia di Pisa”*, realizzato dall’Università di Pisa e dalla Provincia di Pisa, Assessorato Pubblica Istruzione e Sport anche nel Comune di Montecatini Val di Cecina, che ha concluso che, pur in una ampia variabilità, *“la situazione radon nelle scuole controllate è da considerarsi tranquilla sotto il profilo sanitario”*.

Come si è detto, comunque, la caratteristica (risultante anche da rapporti pubblici relativi a casi studio) di una eventuale contaminazione, peraltro assai debole, confinata interamente all’interno dell’impianto, fa sì che, con adeguate procedure di gestione delle operazioni di manutenzione, supportate da dati conoscitivi da acquisire nel corso del funzionamento, i rischi si possano tenere sotto controllo.

Si precisa, infine, che, date le sue caratteristiche, la gestione del radon nell’ambito di un impianto appositamente predisposto e con personale specializzato è da ritenersi più sicura di quanto avviene negli edifici civili, nei quali, come noto, la penetrazione dei radionuclidi avviene dal sottosuolo e senza alcuna schermatura (o comunque con una ampia variabilità di casistiche, strettamente dipendenti dagli specifici contesti).

8.4 PROPOSTA DI UN PIANO PRELIMINARE DI MONITORAGGIO

In conclusione, premesso che i livelli di esposizione attesi sono da ritenersi, di principio, bassi, si ritiene che un piano di monitoraggio debba concentrarsi almeno sui seguenti aspetti:

1. Acquisizione di dati sulla radioattività naturale dell’area prima dell’avvio dei lavori

A questo riguardo, considerata la nota variabilità delle concentrazioni di radionuclidi naturali sia nel corso dell’anno che in relazione ai luoghi di misura, si ritiene che queste misure debbano essere preventivamente concordate con ARPAT, anche in relazione alla strumentazione da utilizzare (fermo restando che l’entità attesa del fenomeno è bassa e che quindi sembra necessario calibrare l’intervento in funzione della sua dimensione presunta);

2. Effettuazione di misure a campione sui cuttings e sui fanghi durante la perforazione

Questa attività è volta a caratterizzare i materiali coinvolti nello scavo, allo scopo sia di verificare la qualità dei rifiuti avviati a trattamento esterno, sia di incrementare il quadro conoscitivo. Anche questa attività dovrà essere concordata con ARPAT ed eventualmente meglio calibrata a valle degli esiti del monitoraggio di cui al punto 1;

3. Effettuazione di misure sui fluidi durante le prove di produzione

Questa attività è volta a caratterizzare direttamente i fluidi geotermici, completando il quadro conoscitivo di riferimento e potendo così procedere a definire con ARPAT gli step successivi, relativi all'esercizio dell'impianto.

Si ritiene che, allo stato, non sia possibile prevedere i dettagli di tali misure se non attraverso un processo conoscitivo articolato in fasi successive, come sopra descritto. Pertanto, le misure radiometriche in fase di esercizio potranno essere eventualmente definite solo in tale fase.

In tutti i casi, poi, in base agli esiti delle misure, si potrà anche decidere la frequenza e la stessa opportunità di procedere in modo sistematico con esse nel prosieguo delle attività.

In tutti i casi non si ravvisano, al momento, le condizioni per un monitoraggio di tipo continuativo.

Infine, a maggior ragione, il piano dei monitoraggi in fase di dismissione dell'impianto sarà possibile solo, a valle delle attività precedenti, e comunque, data la lunga vita attesa per l'impianto, si ritiene debba essere prodotto 1-2 anni prima della dismissione stessa, per tener conto di ulteriori informazioni acquisite e di eventuali nuove indicazioni e scelte di tipo tecnico e tecnologico.

9 CONCLUSIONI

La prima fase del monitoraggio (ante operam) delle varie matrici ambientali avrà inizio una volta che la RTI riceverà l'autorizzazione dal MISE per la fase di perforazione dei pozzi di produzione.

Per garantire la massima trasparenza delle varie fasi del monitoraggio ambientale, la RTI valuterà l'opportunità di affidare tale attività, in conto terzi, ad Enti pubblici quali ARPA Toscana, Università, CNR, INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

Saranno utilizzate per il monitoraggio, così come per tutte le operazioni di realizzazione del progetto, le migliori tecnologie e personale altamente specializzato.

Al termine di ogni fase del monitoraggio sarà redatta una relazione completa con allegata cartografia tematica riportante i risultati del monitoraggio. Le mappe tematiche consentiranno la visualizzazione cromatica delle esatte posizioni e eventuali variazioni di ogni singolo parametro sulla planimetria interessata, per cui in formato cartografico sarà possibile ottenere le mappe del territorio con individuazione delle zone di superamento (o a rischio di superamento) dei livelli di attenzione e di allarme che saranno concordati con gli enti di controllo.

L'Ente o Istituto pubblico incaricato di eseguire il Piano di Monitoraggio o la società titolare del permesso di ricerca, laddove se ne ravvisi la necessità ed a seguito di manifestate evidenze tecnico-scientifiche, possono proporre integrazioni e/o modifiche al Piano di Monitoraggio. Tali modifiche verranno comunicate agli Organi competenti, ai fini dell'approvazione. Quest'ultimi si riserveranno di convalidare le integrazioni e/o modifiche proposte, dandone notifica alla società titolare dell'autorizzazione.

Al termine delle attività relative a ciascuna fase di monitoraggio, fatta salva la salvaguardia della proprietà delle informazioni e qualunque aspetto di riservatezza, la RTI Renewem-Cosvig sarà lieta di comunicare i dati raccolti ai portatori di interesse.

10 DOCUMENTAZIONE CONSULTATA

Associazione Amici della Terra (2008). La risorsa geotermica per usi elettrici in Italia: Energia, Ambiente e Accettabilità Sociale.

Batini F., Fiordelisi A., Graziano F., Nafi Toksoz M. (1995). Earthquake tomography in the Larderello geothermal field. Proceedings of the World Geothermal Congress, Florence, Italy, May 18-31.

Cafardi A (2006). Inventario dei comuni interessati da subsidenza e reti di monitoraggio geodetico. Tesi, Ispra.

Celati R., Cappetti G., Calore C., Grassi S., D'Amore F. (1991). Water recharge in Larderello geothermal field. Geothermics, Vol. 20 (3), pp. 119-133.

Ciulli et al. (2005). Interpreting ground deformation and microgravity changes in the Travale-Radicondoli geothermal field (Italy). Proceedings World Geothermal Congress.

Di Filippo M., Geri G., Marson I., Palmieri F. Perusini P, Rossi A., Toro B. (1985). Exploitation, subsidence and gravity changes in the Travale-Radicondoli geothermal field. Geothermal Resource Council, Transaction, Vol. 9, p. 1, pp. 273-278.

www.arpat.toscana.it

www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/aria/aree-geotermiche/geotermia/progetto-geotermia-subsidenza.

www.irea.cnr.it

Lawless J., Okada W., Terzaghi S., White P., Gilbert C. (2003). Two dimensional subsidence modeling at Wairakei-Tauhara, New Zealand. International Geothermal Conference, Reykjavik, Sept. 2003.

Bromley C., Currie S., Jolly S., Mannington W. (2015). Subsidence: an update in New Zealand Geothermal deformation observations and mechanism. Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne, Australia, 19-25 April.

Hole J., Stevens N.F., Bromley C. J., Wadge G. (2005). Subsidence at the Wairakei-Tauhara geothermal field, New Zealand from 1996-2003 measured by ERS interferometry. Proceedings of the Annual Conference of the Remote Sensing and Photogrammetry Society (RSPSoc). Portsmouth, UK (CD-ROM).

Barker B.J., Gulati M.S., Bryan M.A., Reidel K.L. (1992). Geysers reservoir performance. In Monograph on the Geysers geothermal field, Special report no. 17, pp. 167, Geothermal Resources Council, 1992.

Narasimhan T.N., Goyal K.P. (1982). Subsidence due to geothermal fluid withdrawal. Geothermal Subsidence Research Management Program.

Mossop P. and Segal P. (1997). Subsidence at The Geyser geothermal field, N. California from a comparison of GPS and leveling surveys. Geophysical Research Letters, Vol. 24, No. 14, pp. 1839-1842, July 15.

Denlinger R.P., Isherwood W.P., Kovach R.L. (1981). Geodetic analysis of reservoir depletion at The Geyser steam field in northern California. Journal of Geophysical Research, Vol. 86, pp. 6091-6096.

Lofgren B.E. (1981). Monitoring crustal deformation in the geysers-clear lake region. Research in the Geyser-Clear Lake geothermal area, northern California. Geological survey Professional Paper 1141, United States Government printing office.

Sarychikhina O., Glowacka E., Pichardo A.N., Romo J.M. (2005). Modeling of subsidence in the Cerro Prieto geothermal field, B. C., Mexico. Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, April 24 - 29.

Glowacka E. Gonzalez J., Nava A. (2000). Subsidence in Cerro Prieto geothermal field, Baja California, Mexico. Proceedings World Geothermal Congress, Kyushu - Tohoku, Japan, May 28 - June 10.

Glowacka E., Sarychikhina O., Ramirez V.H.M., Nava A., Farfan F., Arthur M.A.G. (2015). Deformation around the Cerro Prieto geothermal field recorded by the geotechnical instruments network REDECVAM during 1996-2009. Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne, Australia, April 19 - 25.