

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

COMUNE DI RADICONDOLI – PROVINCIA DI SIENA

PROPONENTE:

Lucignano Pilot Project
Raggruppamento Temporaneo di Impresa



PROGETTO DEFINITIVO

NUMERO ELABORATO:

LCG-RP01-A06-V00

TITOLO:

PROPOSTA DI PIANO DI MONITORAGGIO

DATA:

Luglio 2015

PROGETTISTI:

RENEWEM S.r.l

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

UFFICI:

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

REVISIONE

DATA		NOTE
REV.1		
REV.2		
REV.3		



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

COMUNE DI RADICONDOLI – PROVINCIA DI SIENA

PROCEDURA DI VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE

PROPOSTA DI PIANO DI MONITORAGGIO

RENEWEM S.R.L.

Direzione e coordinamento:

Dott. S. Paloni

Gruppo di lavoro:

Dott. W. Luperini

Dott. F. Martini

Dott.ssa N. Pasqualoni

Dott. N. Sannino

SOMMARIO

PREMESSA	1
1 MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DEI SUOLI.....	3
1.1 PUNTI DI MONITORAGGIO	3
1.2 PARAMETRI DI CONTROLLO	5
1.3 FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO.....	5
2 MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE.....	6
2.1 PUNTI DI MONITORAGGIO	6
2.2 PARAMETRI DI CONTROLLO	8
2.3 FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO.....	8
3 MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	9
3.1 PUNTI DI MONITORAGGIO	9
3.2 PARAMETRI DI CONTROLLO	11
3.3 FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO.....	11
4 CRITERI PER LA DEFINIZIONE DELLE CONCENTRAZIONI “BIANCO” DEI LIVELLI DI GUARDIA	12
4.1 PIANO DI INTERVENTO IN CASO DI SUPERAMENTO DELLE SOGLIE.....	13
5 MONITORAGGIO MICROSISMICO.....	14
5.1 ATTIVITÀ SISMICA NELL'AREA GEOTERMICA DI LARDERELLO-TRAVALE.....	14
5.2 MONITORAGGIO MICROSISMICO	18
5.3 RETE DI MONITORAGGIO	19
5.4 PROCESSING DEI DATI.....	20
6 MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA	21
6.1 ATTIVITÀ DI SUBSIDENZA NELL'AREA GEOTERMICA DELLA TOSCANA.....	21
6.1.1 <i>ARPAT (www.arpat.toscana.it)</i>	22
6.1.1.1 Area di Travale.....	22
6.1.1.2 Area di Larderello.....	23
6.1.2 <i>Ciulli et al. (2005). Interpreting ground deformation and microgravity changes in the Travale-Radicondoli geothermal field (Italy)</i> ”	24
6.1.3 <i>Dini et al. (1995). Reinjection monitoring the Larderello geothermal field using microgravity and topographic measurements.</i>	25

6.1.4	<i>La risorsa geotermica per usi elettrici in Italia: Energia, Ambiente e Accettabilità Sociale” (2008) a cura dell’associazione Amici della Terra</i>	26
6.2	MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA	28
7	CONCLUSIONI	32
8	DOCUMENTAZIONE CONSULTATA	33

PREMESSA

La Lucignano Pilot Project srl (LPP) prevede di implementare tutte le fasi relative al progetto pilota “LUCIGNANO” 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 LPP 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 microsismico;
- monitoraggio di fenomeni di subsidenza;
- monitoraggio emissioni.

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 LPP 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 LPP 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 LPP 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 LUCIGNANO, 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 10 campioni (Figura 1-1, Figura 1-2).

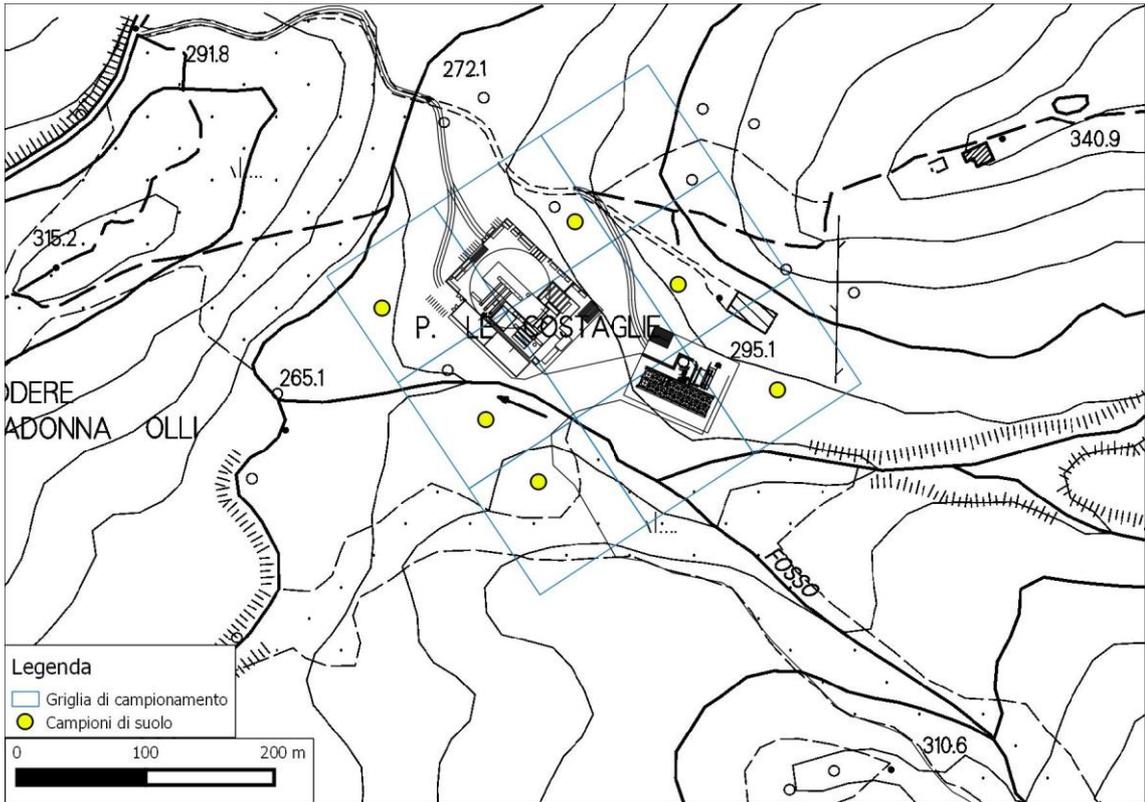


Figura 1-1. Proposta di ubicazione dei punti di monitoraggio dei suoli presso il polo di produzione e la centrale geotermoelettrica.

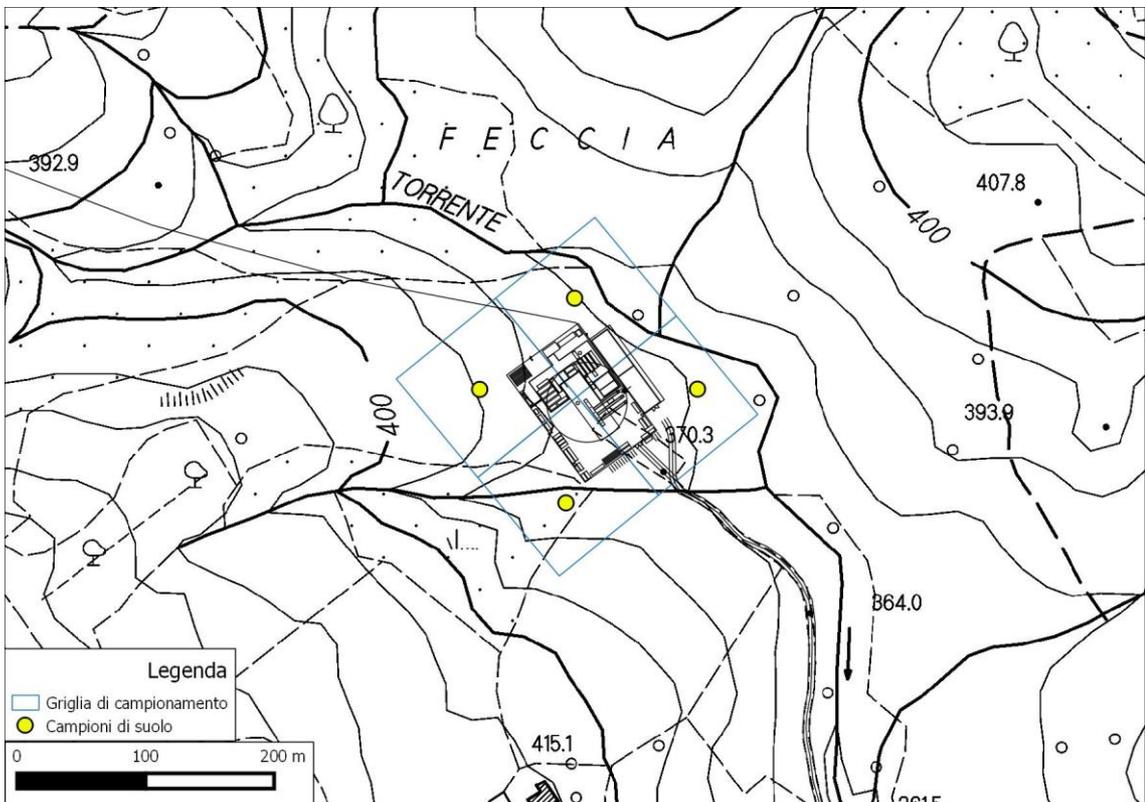


Figura 1-2. Proposta di ubicazione dei punti di monitoraggio dei suoli presso il polo di reiniezione

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 10 campioni prima dell'apertura dei cantieri;
- Prelievo di 6 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 6 campioni a seguito della messa in produzione dell'impianto.

5

Questi 10 prelievi saranno ripetuti a cadenza annuale per tutta la durata di esercizio dell'impianto.

2 MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE

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.

Le potenziali criticità 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.

2.1 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.

Per il monitoraggio delle acque sotterranee si propone il monitoraggio dei corsi d'acqua superficiali, presenti subito a valle delle aree di progetto in 5 punti (Figura 2-1, Figura 2-2). Non si prevede la presenza di falde sotterranee vista la natura poco permeabile dei depositi, tuttavia se nel corso delle indagini geognostiche previste in fase esecutiva si ravvisasse la presenza di una falda superficiale si provvederà all'installazione di un piezometro di controllo adatto anche al prelievo di campioni di acque.

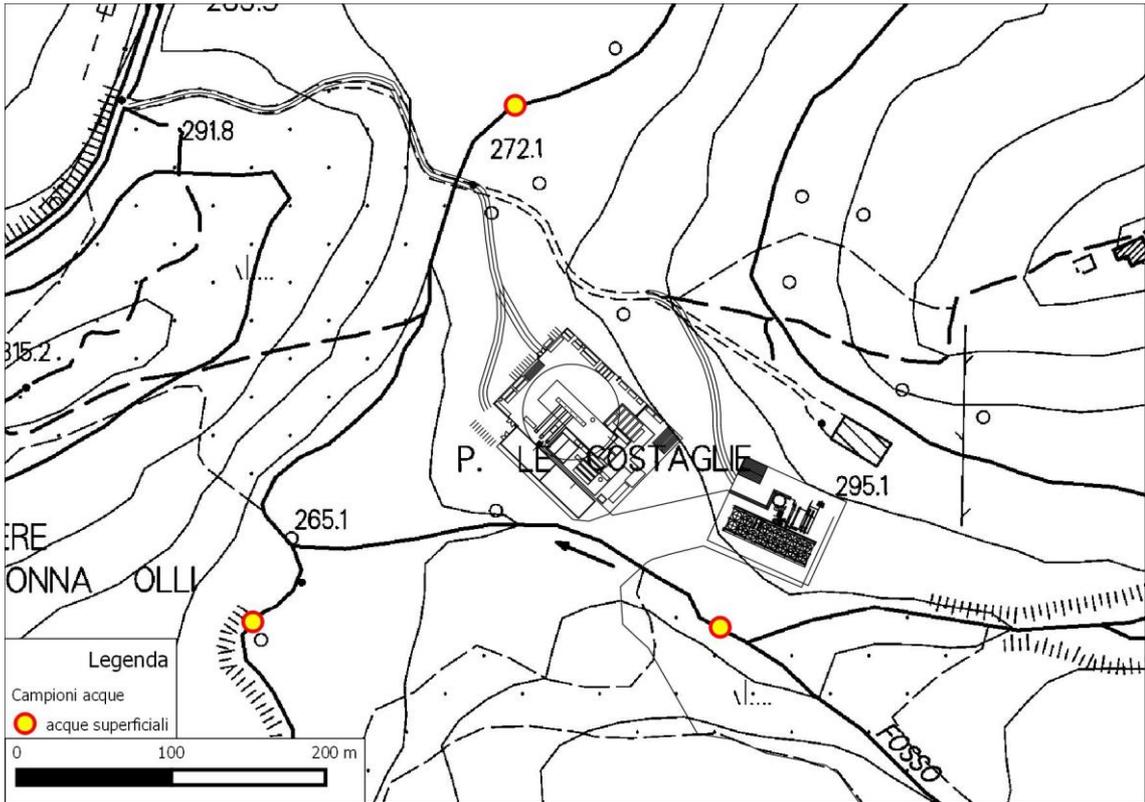


Figura 2-1. Proposta di ubicazione dei punti di monitoraggio per il polo di produzione e la centrale.

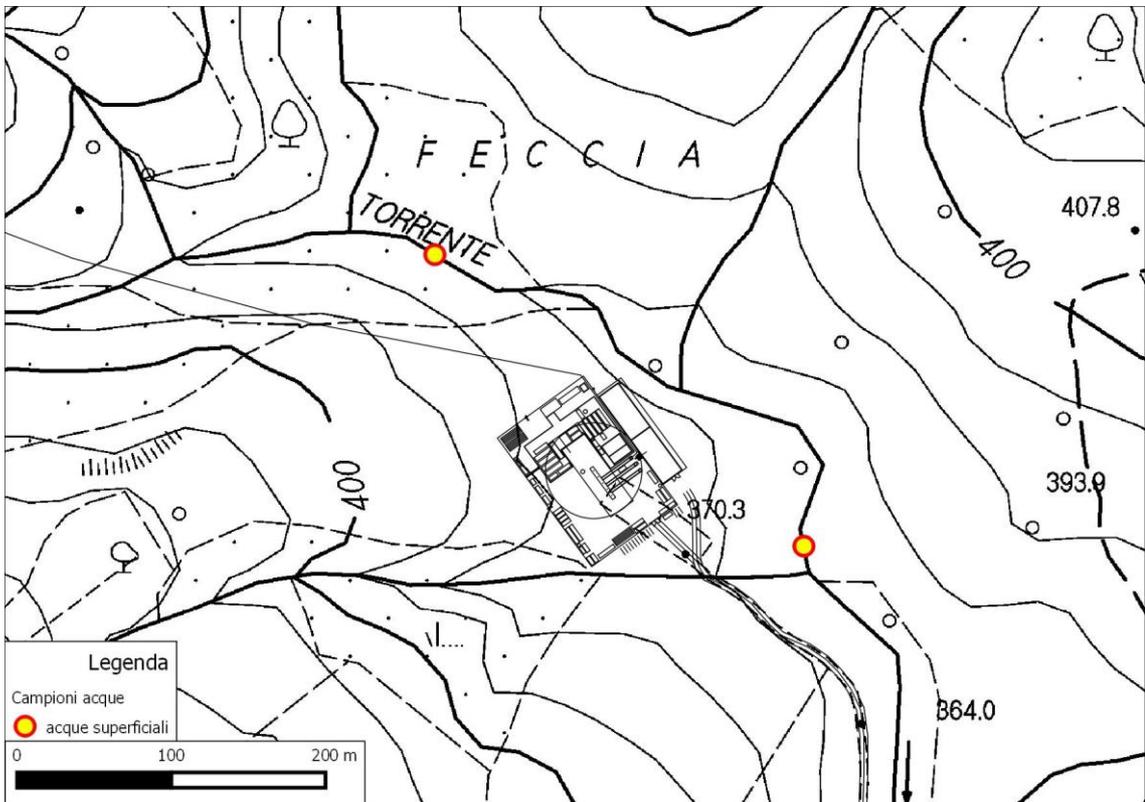


Figura 2-2. Proposta di ubicazione dei punti di monitoraggio delle acque per il polo di reiniezione.

2.2 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:

- Livello della falda;
- Temperatura dell'acqua;
- pH;
- Conducibilità elettrica;
- Torbidità;
- Anioni (Bromuri, Cloruri, Fluoruri, Nitrati, Ortofosfato, Solfati);
- Cationi (Ammoniacca, Calcio, Potassio, Sodio);
- Acido Solfidrico;
- Idrocarburi totali;
- Metalli pesanti (Mercurio, Piombo, Arsenico, Boro).

2.3 FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO

Viste le fasi nelle quali si articola il progetto si prevedono i seguenti campionamenti su ogni piezometro e 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;

Campionamento durante la fase di esercizio:

- Un campione a distanza di un mese a partire dal completamento dell'impianto ORC. Da ripetersi a cadenza annuale per tutta la durata di esercizio dell'impianto.

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, Figura 3-2) Considerando oltre ai ricettori sensibili di misurare anche presso le aree di lavoro, si stima un numero totale di punti pari a 4.

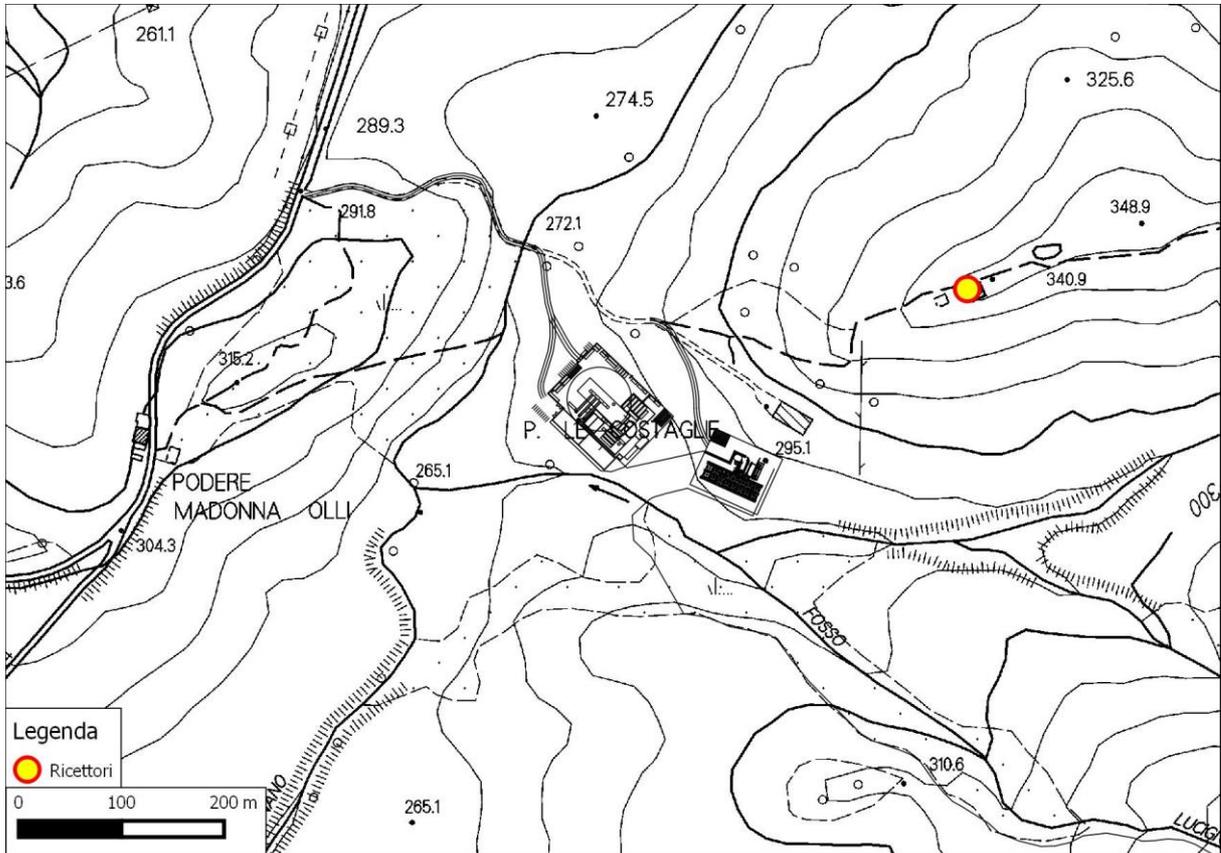


Figura 3-1. Ubicazione dei ricettori sensibili nei pressi del polo di produzione e della centrale.

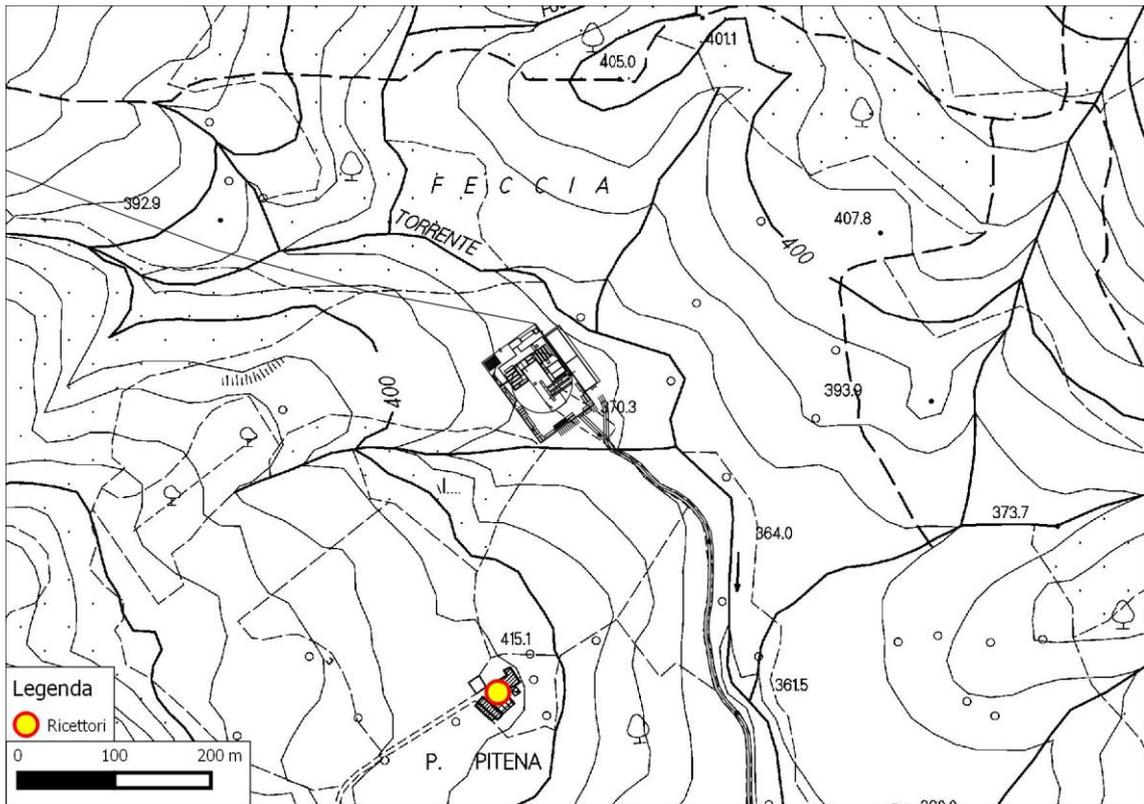


Figura 3-2. Ubicazione dei ricettori sensibili neo pressi del polo di reiniezione.

3.2 PARAMETRI DI CONTROLLO

11

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 (PM2.5);
- 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 ricettore e presso le aree di lavoro prima dell'inizio dell'attività di cantiere;

Misure in corso d'opera:

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

Misure in fase di esercizio:

- tre misurazioni per ogni ricettore e presso la piazzola 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 “BIANCO” DEI LIVELLI DI GUARDIA

12

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 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 microtremiti 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.

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.

5.1 ATTIVITÀ SISMICA NELL'AREA GEOTERMICA DI LARDERELLO-TRAVALE

I sistemi geotermici toscani si trovano su una cintura sismicamente attiva (Figura 5-1) 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.arpato.toscana.it).

14

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.

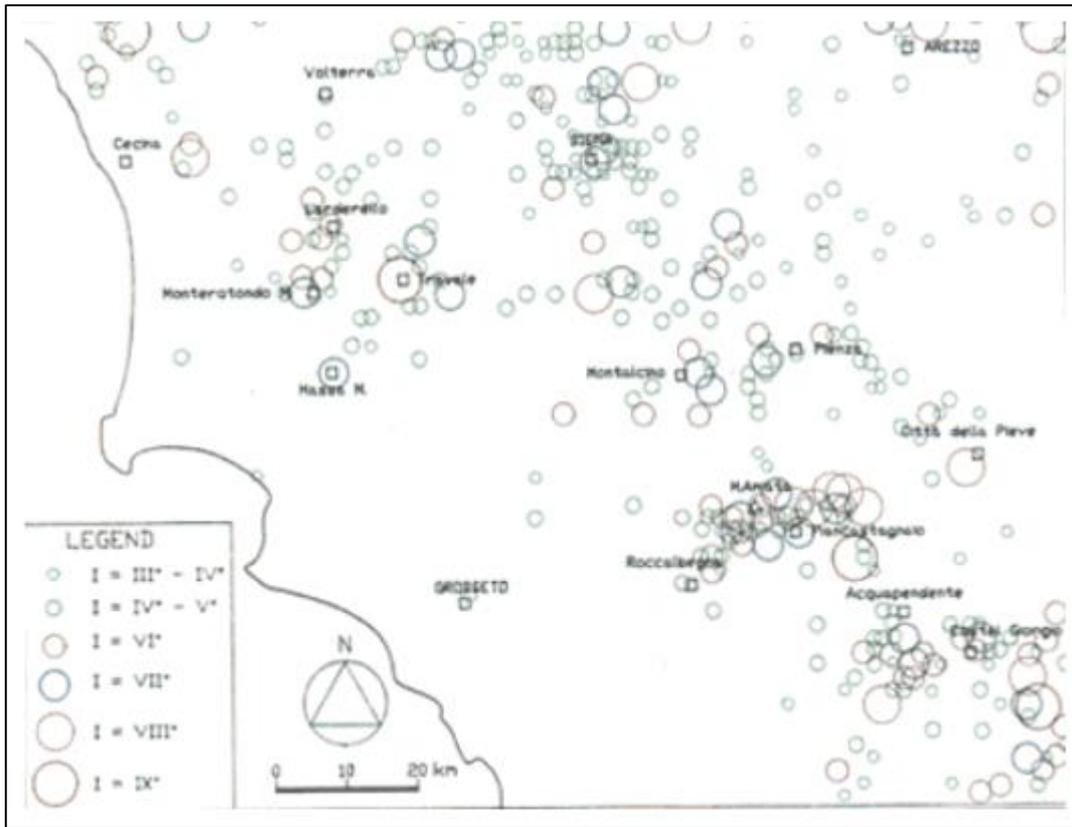


Figura 5-1. Sismicità storica locale della Toscana meridionale nel periodo 1900-1990: distribuzione degli epicentri ed intensità degli eventi (scala MCS) (ENEL, 1995, <http://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/aria/aree-geotermiche/geotermia/progetto-geotermia-sismicita>).

15

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 5-2 e la Figura 5-3 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).

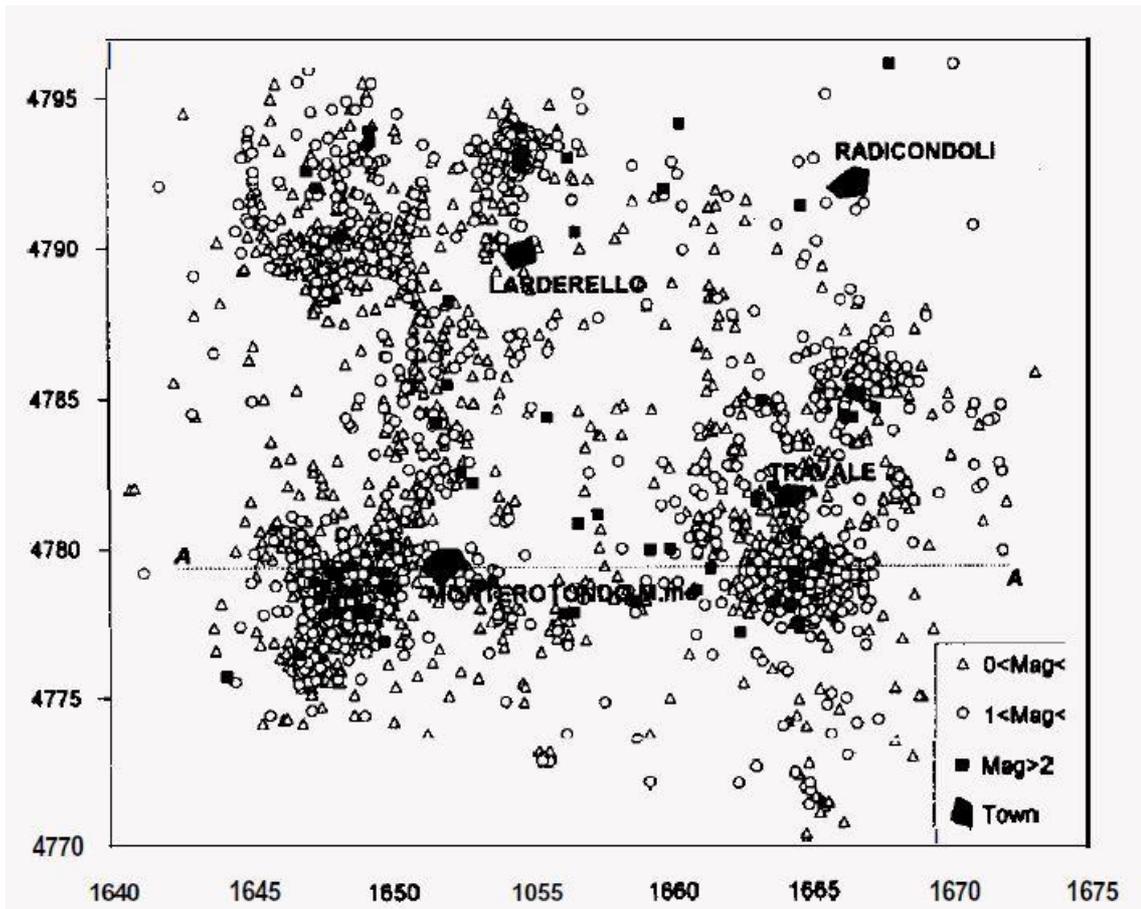


Figura 5-2. Mappa degli epicentri per l'area di Larderello-Travale per il periodo 1977-1993 (Batini et al., 1995).

16

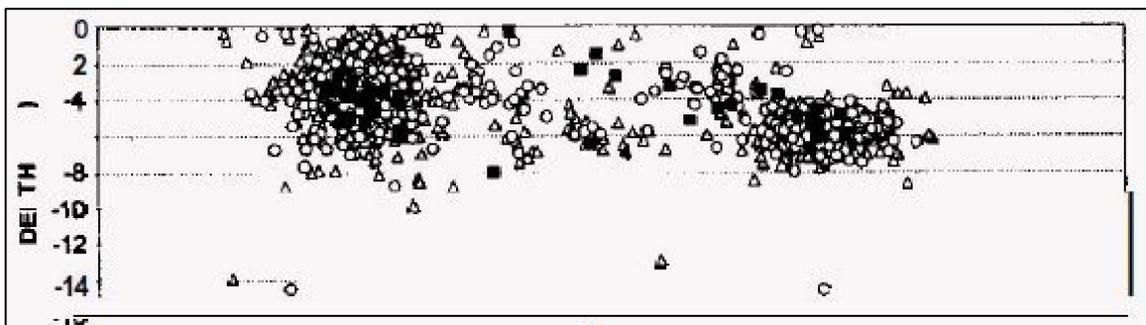


Figura 5-3. Mappa degli ipocentri per l'area di Larderello-Travale per il periodo 1977-1993 secondo la sezione AA' di Figura 5-2 (Batini et al., 1995).

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 5-4) e per gli anni 2000-2015 (Figura 5-5). Come è possibile vedere dalla Figura 5-4 e Figura 5-5 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 5-6). Le due figure inoltre mostrano che all'interno dell'area del permesso pilota Lucignano si sono già verificati eventi sismici con $M < 4$ e profondità comprese tra 0 e 18 km.

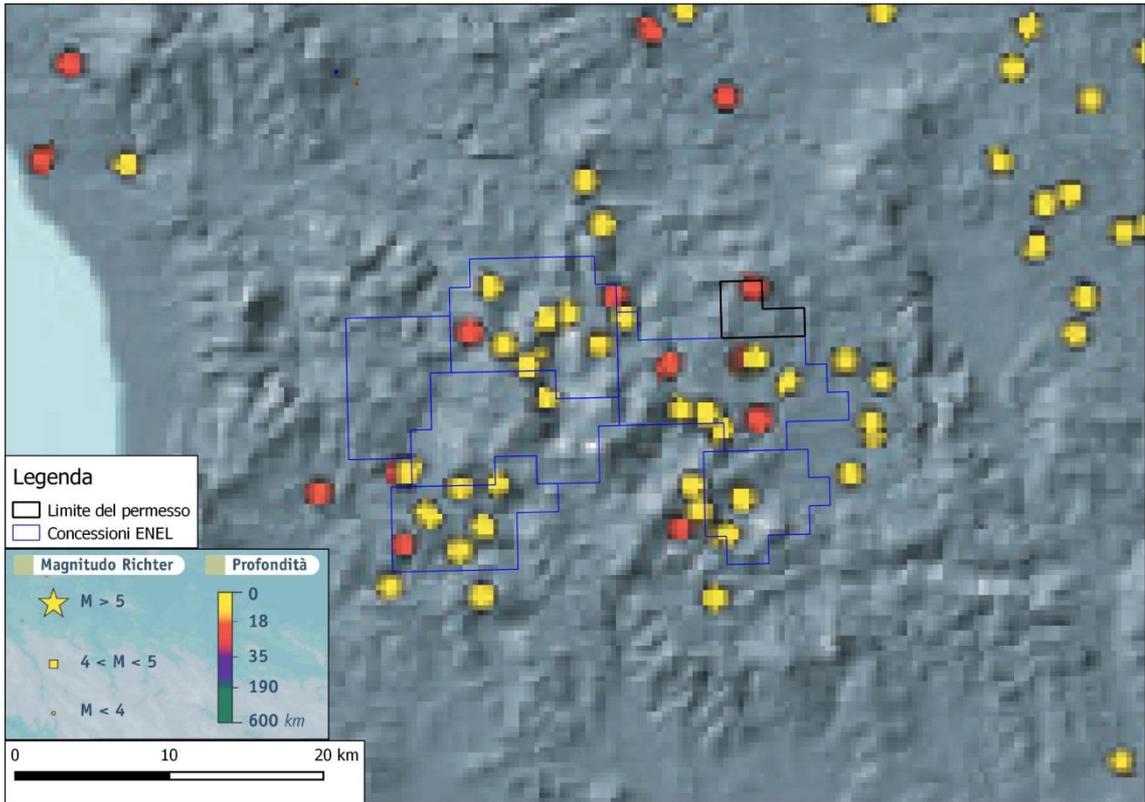


Figura 5-4. Ubicazione dei terremoti per le aree geotermiche di Larderello e Travale nel periodo 1982-2002 (Carta della sismicità in Italia, INGV 2004).

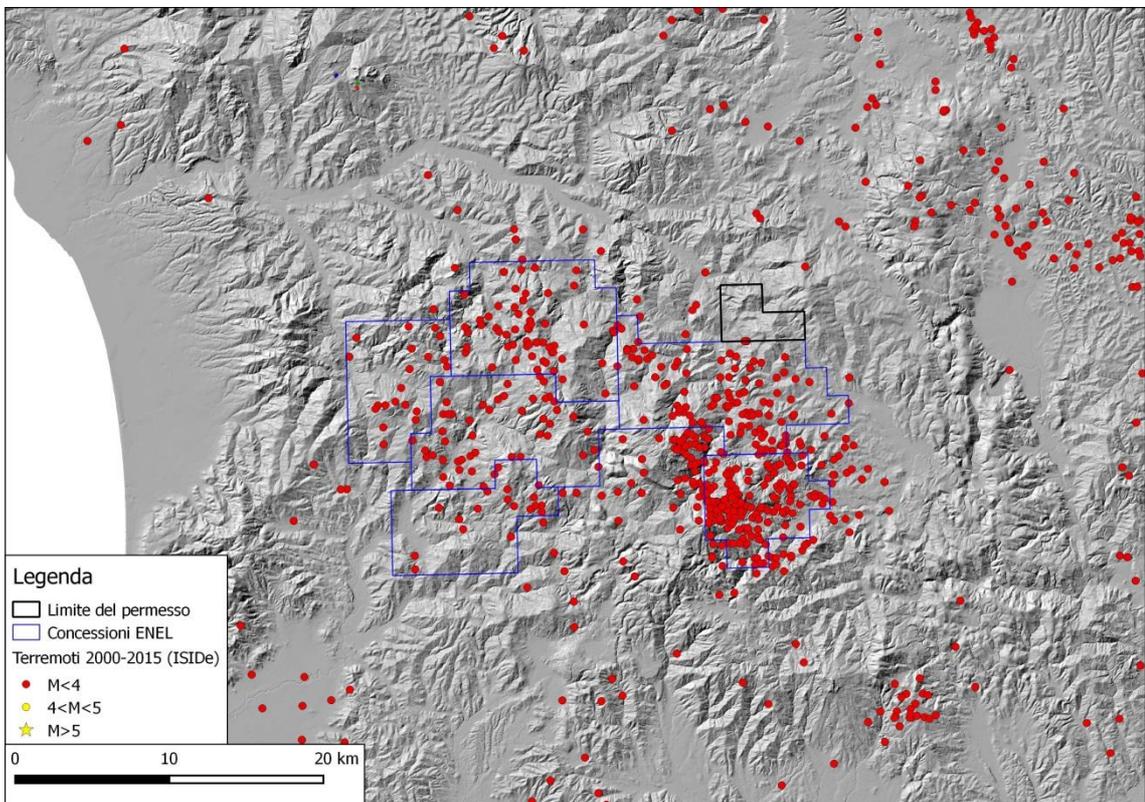


Figura 5-5. Ubicazione dei terremoti per le aree geotermiche di Larderello e Travale nel periodo 2000-2015 suddivisi per magnitudo (ISIDe-Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base).

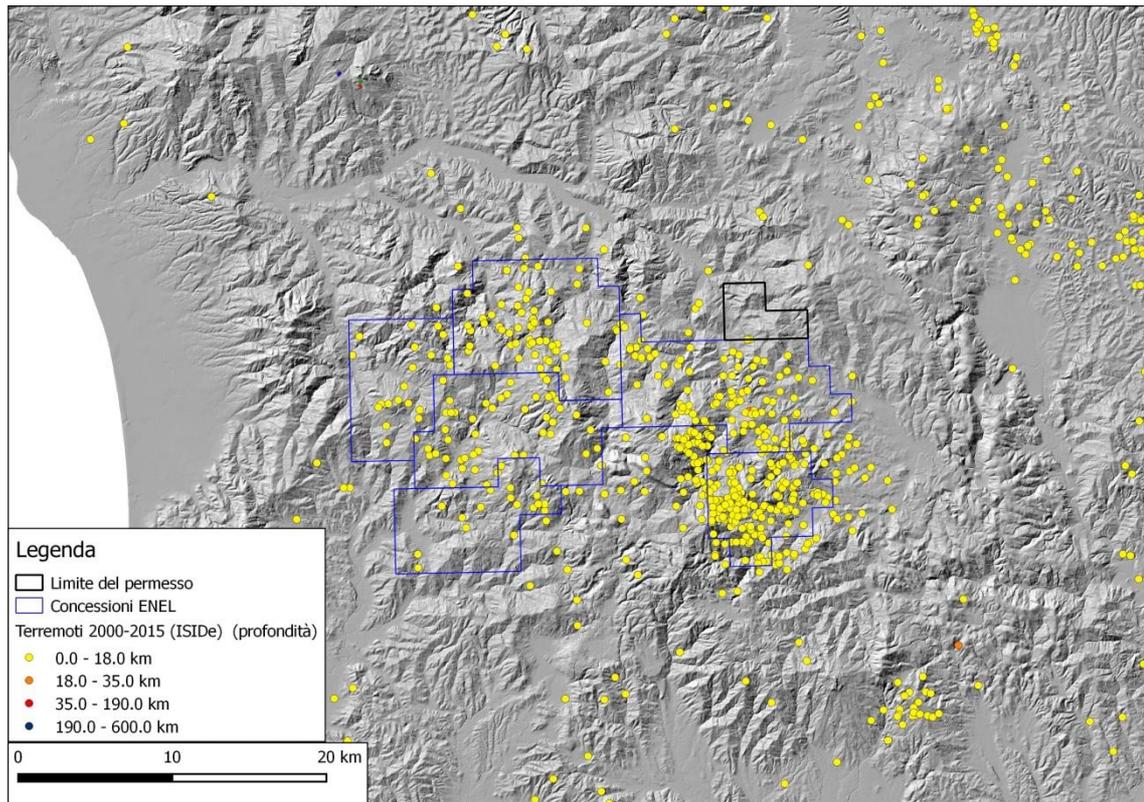


Figura 5-6. Ubicazione dei terremoti per le aree geotermiche di Larderello e Travale nel periodo 2000-2015 suddivisi per profondità (ISIDE-Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base).

5.2 MONITORAGGIO MICROSISMICO

18

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 possa 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.

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.

5.3 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 5-7 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.

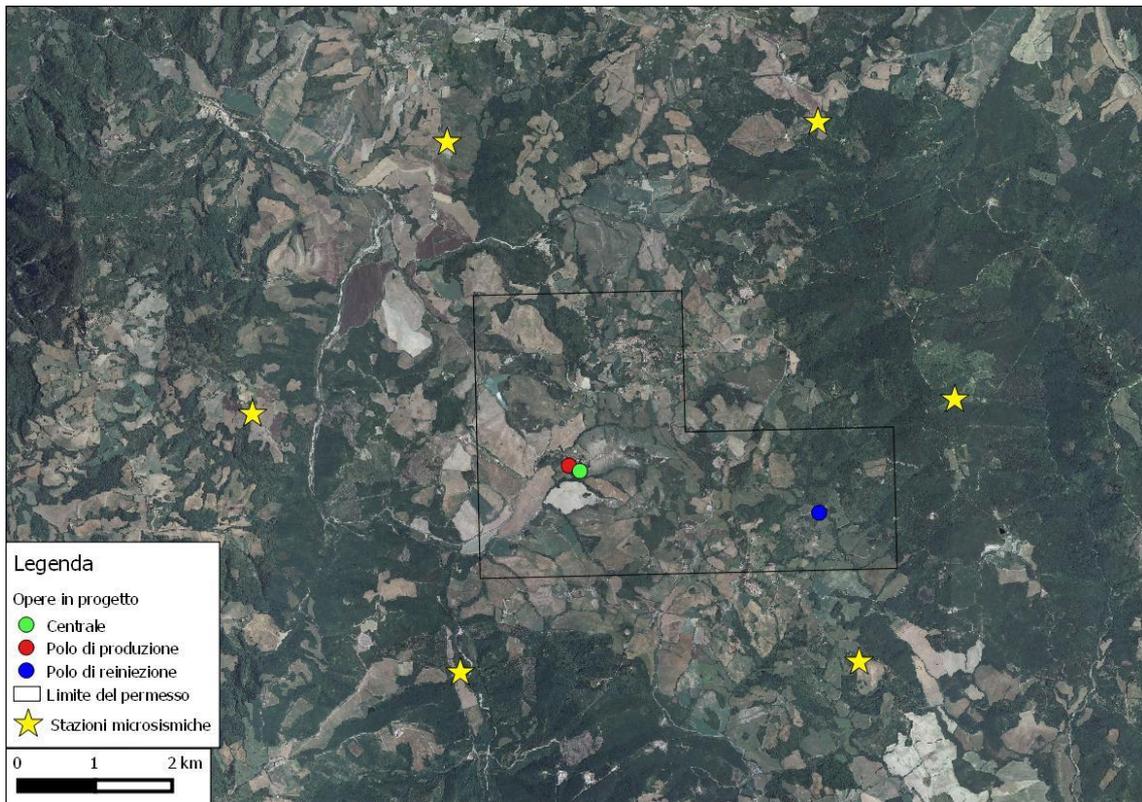


Figura 5-7. Ubicazione di massima delle stazioni di monitoraggio microsismico.

Per le stazioni fisse saranno utilizzati strumenti capaci di registrare terremoti a partire da magnitudo locale $0 \leq M_L \leq 1$. Le stazioni fisse di monitoraggio saranno dotate delle seguenti componenti:

- Sensori a banda larga a tre componenti (Z, N-S,E-W) con digitalizzatore integrato che registreranno in continuo con una frequenza di campionamento di 200 Hz 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.

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.

5.4 PROCESSING DEI DATI

I dati acquisiti verranno processati con un adeguato software basato di differenti moduli:

- Modulo di picking. La lettura e il riconoscimenti 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

6 MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA

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)

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:

21

- 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.

6.1 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.

6.1.1 ARPAT (www.arpat.toscana.it)

6.1.1.1 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 6-1). 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.

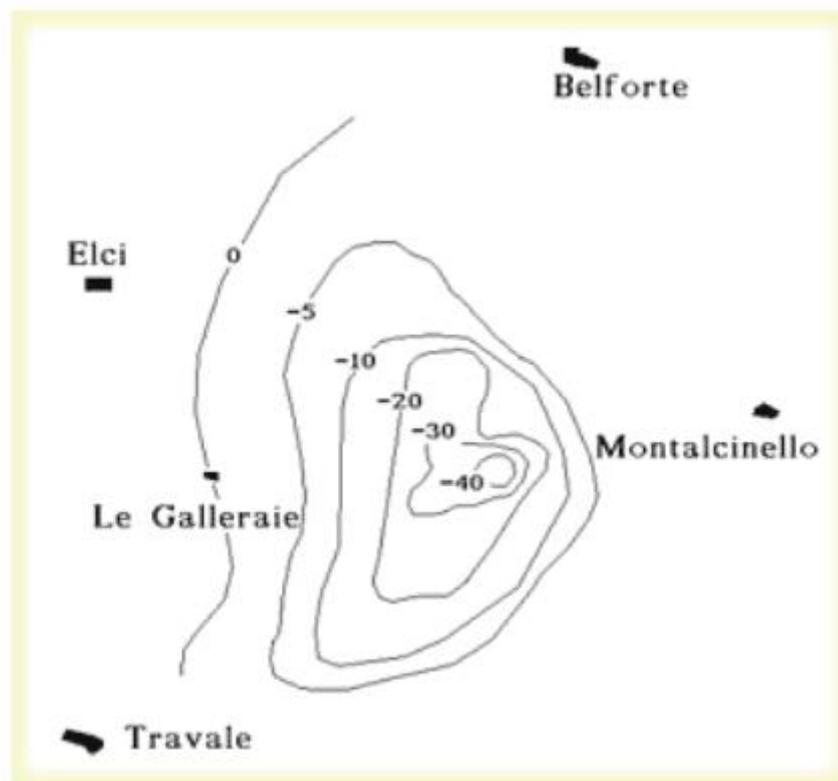


Figura 6-1. Subsidenza nel campo di vapore di Travale-Radicondoli per il periodo 1973-1991 (Di Filippo et al., 1995).

6.1.1.2 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 6-2 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.

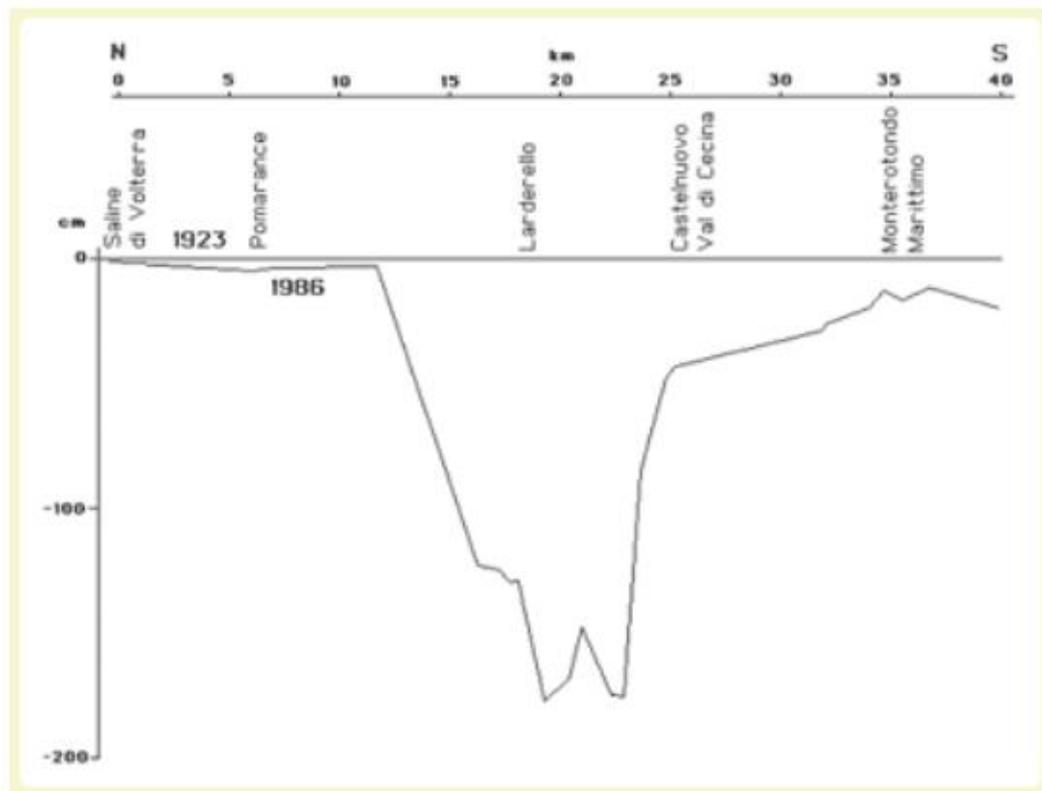


Figura 6-2. Subsidenza nell'area di Larderello tra il 1923 ed il 1986 (ENEL, 1995).

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.

6.1.2 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 6-3).

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.

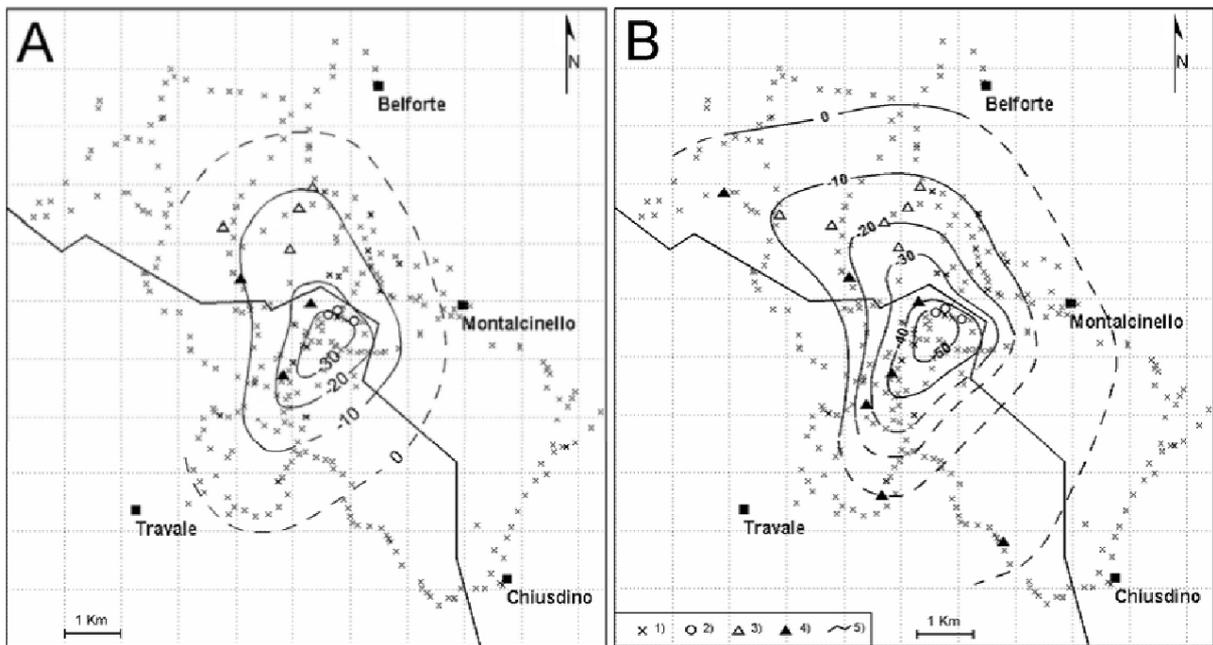


Figura 6-3. Andamento della variazione di quota (cm): A) durante il periodo 1973-1988; B) durante il periodo 1973-2003 (Ciulli et al., 2005).

6.1.3 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.

25

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 6-4).

In Figura 6-5 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 6-5).

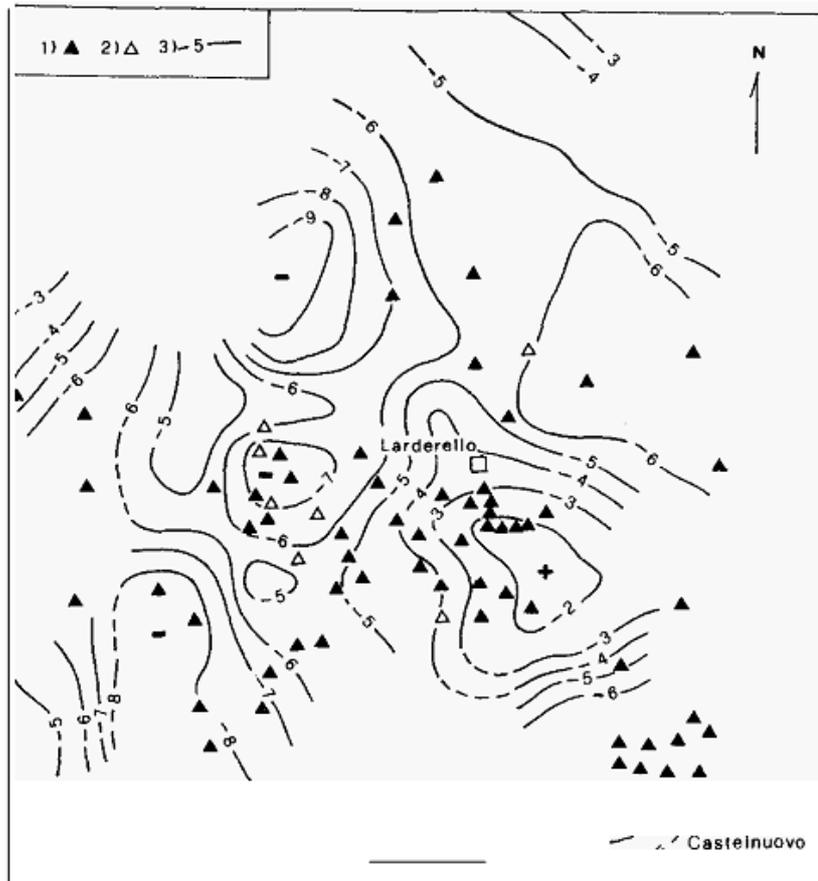


Figura 6-4. Variazioni di quota durante il periodo di rilevamento 1986-1993. 1) pozzi di produzione; 2) pozzi di reiniezione; 3) linee di variazione di quota (Dini et al., 1995). 26

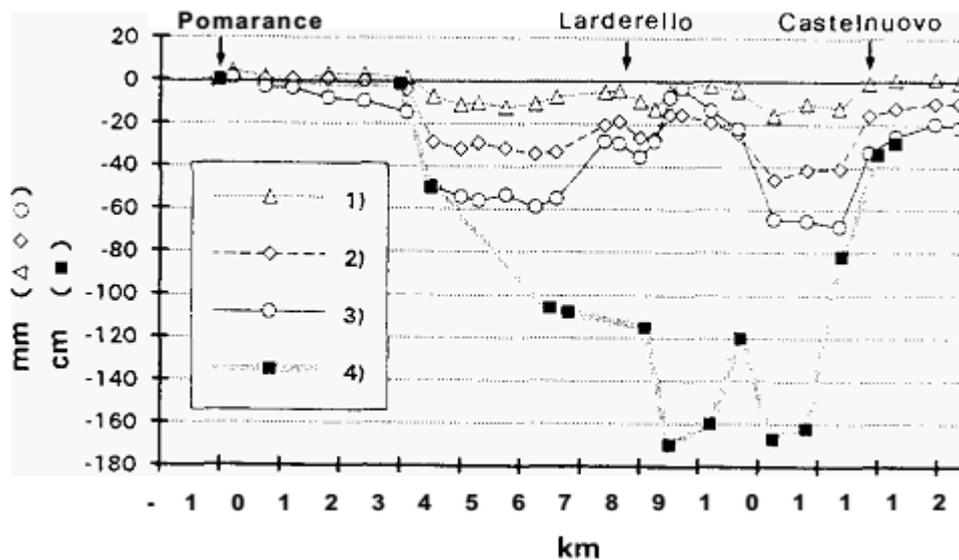


Figura 6-5. Variazione di quota lungo il profilo Pomarance-Larderello-Castelnuovo V.C.. Periodo: 1) 1989-89; 2) 1991-86; 3) 1993-86; 4) 1986-23 (Dini et al., 1995)

6.1.4 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.

6.2 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 circa costante la quantità di fluido nel serbatoio mantenendo l'acquifero geotermico in equilibrio.

Il progetto "Lucignano" 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 6-6) 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: Poggio Casalone (n. 120904) e Ponte Cecina (n. 120610). 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.

29

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 47.6 km, l'intera rete sarà coperta 1 volta prima dell'inizio della fase di perforazione in modo da ottenere un bianco ante-operam. 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).

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.

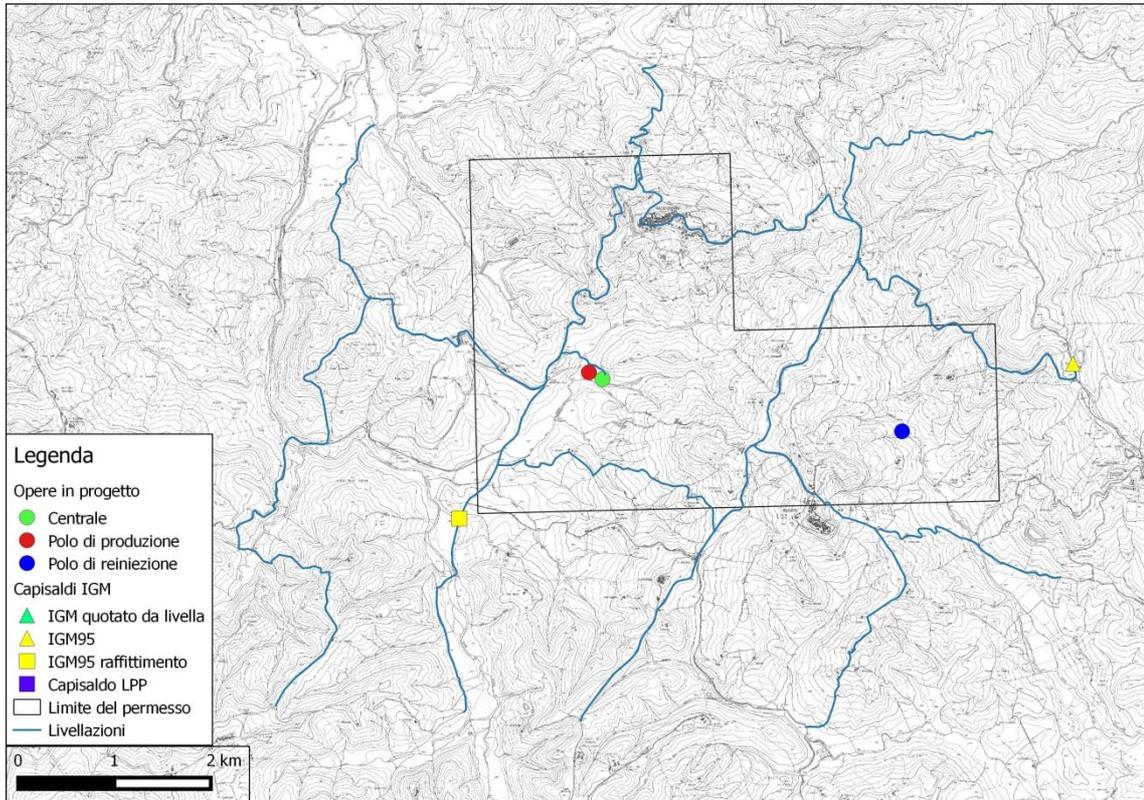


Figura 6-6. Proposta dei percorsi per l'esecuzione delle livellazioni.

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.

31

(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 64 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 con cadenza annuale.

7 CONCLUSIONI

La prima fase del monitoraggio (ante operam) delle varie matrici ambientali avrà inizio una volta che la LPP 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 LPP 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.

32

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

8 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