



**Regione Toscana**

**Studio conoscitivo  
ai sensi art. 1 Legge regionale 16 febbraio  
2015, n. 17  
*“Disposizioni urgenti in materia di geotermia”***

**Settembre 2015**

**Il presente documento è stato redatto da personale interno alla Regione Toscana**

**Coordinamento : *Carla Chiodini, Franco Gallori***

**Gruppo di Lavoro**

***Gabriella De Pasquale***

***Ilaria D'Urso***

***Alessandro Fignani***

***Giorgio Galassi***

***Giovanni Mugnai***

***Vincenzo Naso***

***Oreste Neri***

***Luigi Paldino***

***Alice Pippucci***

***Stefania Maria Remia***

***Simona Signorini***



# Indice

<b>1.INQUADRAMENTO E CARATTERIZZAZIONE DELL'OGGETTO DI STUDIO.....</b>	<b>6</b>
<i>1.1La geotermia: quadro normativo di riferimento e rilevanza strategica per il sistema energetico toscano.....</i>	<i>6</i>
1.1.1Sviluppo delle geotermia in Regione Toscana.....	10
<i>1.2L'esplorazione geotermica fase 1: esplorazione di superficie.....</i>	<i>12</i>
1.2.1Rilevamento geologico strutturale.....	13
1.2.2Rilevamento geochimico.....	13
1.2.3Rilevamento gravimetrico.....	13
1.2.4Rilevamento Magnetotellurico (MT).....	14
1.2.5Rilevamento Sismico - Prospezione sismica a riflessione.....	15
1.2.6Rilevamento termometrico.....	17
1.2.7Realizzazione pozzetti Slim-hole.....	17
<i>1.3L'esplorazione geotermica fase 2: pozzi esplorativi.....</i>	<i>18</i>
1.3.1Modalità realizzative del pozzo esplorativo.....	20
<i>1.4Pozzi produttivi.....</i>	<i>21</i>
<i>1.5Impatti ambientali delle attività di ricerca.....</i>	<i>22</i>
1.5.1Impatti attività fase 1: esplorazioni di superficie.....	23
1.5.2Impatti attività fase 2: pozzi esplorativi.....	23
1.5.2.1Uso del suolo.....	24
1.5.2.2Rumori dovuti ai mezzi operativi durante la ricerca.....	24
1.5.2.3Contaminazione di acque superficiali per effetto delle lavorazioni.....	25
1.5.2.4Contaminazione di falde.....	25
1.5.2.5Contaminazione di falde a diversa profondità per collegamento reciproco dovuto ai pozzi.....	26
1.5.2.6Altri rischi.....	26
1.5.3Impatti dell'attività di realizzazione pozzi produttivi.....	26
1.5.3.1Impatti dei test e delle prove di produzione.....	27
<b>2.QUADRO CONOSCITIVO TERRITORIALE, AMBIENTALE ED IN TERMINI DI RISORSE.....</b>	<b>29</b>
<i>2.1Titoli minerari per risorse geotermiche (Concessioni e Permessi di Ricerca).....</i>	<i>29</i>
<i>2.2Infrastrutture geotermiche sul territorio.....</i>	<i>38</i>
2.2.1Centrali.....	38

2.2.2	Catasto Regionale Pozzi Geotermici.....	40
2.2.3	Vapordotti.....	45
2.2.4	Reti di Teleriscaldamento.....	47
2.3	<i>Vincoli ambientali e paesaggistici.....</i>	<i>47</i>
2.3.1	L'implementazione paesaggistica del PIT.....	47
2.3.2	Il livello regionale del P.P. e la risorsa geotermica.....	48
2.3.3	Beni paesaggistici e la risorsa geotermica.....	50
2.3.4	Il livello d'ambito del P.P. e la risorsa geotermica.....	54
2.3.5	Conclusioni.....	63
2.4	<i>Caratterizzazione della componente aria.....</i>	<i>65</i>
2.4.1	Premessa.....	65
2.4.2	Regolamentazione per l'esercizio delle centrali geotermoelettriche .....	66
2.4.3	Il quadro emissivo e le aree territoriali.....	67
2.4.4	La tutela della qualità dell'aria.....	71
2.4.5	Lo stato della qualità dell'aria.....	72
2.4.6	Completamento del quadro conoscitivo.....	80
2.4.7	Effetti derivanti dalle prove di produzione.....	81
2.5	<i>Caratterizzazione del clima acustico.....</i>	<i>82</i>
2.5.1	Normativa di riferimento.....	82
2.5.2	Stato della pianificazione acustica del territorio dell'area di interesse geotermico.....	83
2.5.3	Impatto acustico delle attività connesse allo sfruttamento dell'energia geotermica.....	84
2.5.3.1	Metodologia di studio.....	85
2.5.3.2	Previsione dell'impatto acustico delle attività temporanee.....	93
2.5.3.3	Previsione dell'impatto acustico in fase di esercizio.....	95
2.5.3.4	Monitoraggio acustico.....	100
2.5.3.4.1	Monitoraggio dell'impatto acustico nelle fasi di perforazione e prova di un pozzo.....	101
2.5.3.4.2	Monitoraggio dell'impatto acustico prodotto dal traffico indotto.....	103
2.5.3.4.3	Monitoraggio dell'impatto acustico di una centrale geotermica in fase di esercizio.....	103
2.5.3.4.4	Monitoraggio dell'impatto acustico in fase di disservizio della centrale.....	107
2.6	<i>Caratterizzazione geologica e idrogeologica del territorio.....</i>	<i>109</i>
2.7	<i>Analisi della componente radioattività.....</i>	<i>115</i>
2.7.1	Introduzione.....	115
2.7.2	Normativa.....	115
2.7.2.1	Limiti di dose per la popolazione.....	116
2.7.3	Dati ed indagini regionali e di Enel.....	116
2.7.3.1	Indagine regionale 2006-2010 sulle concentrazioni di radon in	

abitazioni e luoghi di lavoro.....	116
2.7.3.2Carta del contenuto di radioattività del territorio della regione Toscana.....	117
2.7.3.3Documento ENEL R.G27.11.00.00.008.00 ottobre 2006 “Valutazione dell’esposizione a radiazioni ionizzanti dovuta agli impianti geotermoelettrici dell’area del Monte Amiata”.....	120
2.7.3.4Rapporto CISE 4742 Indagini relative alla radioattività naturale del suolo della zona circostante gli impianti di Larderello: Rn-222, Pb- 210 (Battaglia, De Pasquale, Quaini) 1989.....	122
2.7.4Sintesi impatto attività geotermica.....	123
2.8Caratterizzazione della risorsa geotermica.....	123
3.L’ELABORAZIONE E L’ANALISI DEI DATI.....	138
3.1Introduzione.....	138
3.2Analisi in termini rischio minerario.....	151
3.3Elaborazione dei dati relativi all'inquinamento acustico.....	162
3.3.1Area Potenzialmente Utilizzabile.....	162
3.3.2Indicatore di impatto.....	168

# **1. INQUADRAMENTO E CARATTERIZZAZIONE DELL'OGGETTO DI STUDIO**

Il presente documento è elaborato con lo scopo di fornire i dati conoscitivi necessari alla formulazione di un piano di sviluppo della geotermia nel territorio toscano, così come previsto dalla L.R. 17/2015, a partire dalla determinazione del numero massimo di pozzi esplorativi da assentire e dei criteri e parametri per la loro corretta distribuzione sul territorio.

## ***1.1 La geotermia: quadro normativo di riferimento e rilevanza strategica per il sistema energetico toscano***

La produzione di energia elettrica da fonte geotermica rappresenta una peculiarità specifica della Toscana, non essendo presente in nessun'altra regione italiana ed essendo caratterizzata dalla coltivazione di fluido geotermico ad alta entalpia, ovvero un fluido estratto che ha una temperatura superiore ai 150 °C.

La prima norma in materia mineraria dell'ordinamento italiano, tuttora in vigore, è il Regio Decreto 29 luglio 1927 n. 1443, basato sul principio che la disponibilità del sottosuolo dovesse essere svincolata da quella della superficie, per cui veniva stabilito un regime di tipo concessorio per la ricerca e la coltivazione mineraria.

Successivamente, fu adottata una legge specifica in materia di geotermia: la legge n.896 del 9 dicembre 1986 e il suo Regolamento di Attuazione, il DPR n. 395 del 9 dicembre 1991, costituirono, per diversi anni, la normativa di riferimento per il rilancio e la disciplina della geotermia in Italia.

Il decentramento amministrativo, realizzato con la legge n. 59 del 15 marzo 1997, delegava alle Regioni la competenza amministrativa in materia di risorse geotermiche conservando allo Stato il potere legislativo e di indirizzo. Il successivo decreto legislativo n. 112 del 31 marzo 1998, quindi, all'art. 34, stabiliva che le funzioni degli uffici centrali e periferici dello Stato, relative ai permessi di ricerca ed alle concessioni di coltivazioni di minerali solidi e risorse geotermiche sulla terraferma, fossero delegate alle regioni, che le esercitavano nell'osservanza degli indirizzi della politica nazionale nel settore minerario e dei programmi nazionali di ricerca.

La legge 23 luglio 2009, n. 99, nota come "legge sviluppo", all'articolo 27, comma 28, delegava il Governo ad adottare uno o più decreti legislativi per determinare un nuovo assetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche che in particolare garantisse un regime concorrenziale per l'utilizzo delle risorse geotermiche ad alta

temperatura. In attuazione della delega contenuta nell'art. 27 di cui sopra, è stato infine emanato il D.Lgs. 11 febbraio 2010, n. 22 di riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche, successivamente modificato ed integrato con D.Lgs. 3 marzo 2011 n. 28.

Secondo la classificazione proposta nell'art. 1 comma 2 del D.Lgs. 22/2010, sulla base della temperatura che presenta il fluido, vengono distinte:

- Risorse geotermiche ad alta entalpia con temperatura del fluido > 150°C;
- Risorse geotermiche a media entalpia con temperatura compresa tra 90 e 150°C;
- Risorse geotermiche a bassa entalpia con temperatura < 90°C.

Come citato nell'art.1 comma 1 *“La ricerca e la coltivazione a scopi energetici delle risorse geotermiche effettuate nel territorio dello Stato, nel mare territoriale e nella piattaforma continentale italiana...sono considerate di pubblico interesse e di pubblica utilità e sottoposte a regimi abilitativi ai sensi del presente decreto”.*

Per quanto riguarda le risorse geotermiche rinvenute in terraferma, le Autorità competenti per le funzioni amministrative, per il rilascio del permesso di ricerca e della concessione di coltivazione, comprese le funzioni di vigilanza, sia per le risorse d'interesse nazionale che per quelle d'interesse locale, sono le Regioni o gli enti da esse delegati nel cui territorio le stesse sono rinvenute. L'Autorità competente per le risorse geotermiche in aree marine è, invece, il Ministero dello Sviluppo Economico, di concerto con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Il permesso di ricerca rappresenta un titolo minerario esclusivo, che consente di svolgere l'insieme delle operazioni volte all'accertamento dell'esistenza e della consistenza delle risorse geotermiche. Il permesso viene rilasciato a soggetti, anche in contitolarità, in possesso di adeguata capacità tecnica ed economica contestualmente all'approvazione del programma dei lavori presentato, a seguito dell'esito positivo della procedura di valutazione di impatto ambientale (laddove prevista).

Il rilascio del permesso, resta subordinato alla presentazione di un'idonea fideiussione bancaria o assicurativa commisurata al valore delle opere di recupero ambientale previste al seguito delle attività. Il permesso di ricerca richiesto può coprire una superficie massima di 300 km<sup>2</sup> e ha una durata di 4 anni, prorogabile per altri 2. Il titolare del permesso di ricerca che abbia individuato fluidi geotermici è tenuto a darne tempestiva comunicazione all'Autorità competente, che riconosce il carattere nazionale o locale delle

risorse rinvenute e ne dà immediata comunicazione pubblica. Il titolare ha il diritto di presentare la richiesta di concessione di coltivazione entro sei mesi dal riconoscimento del carattere nazionale o locale della risorsa da parte dell'Autorità competente, trascorsi i quali essa potrà essere richiesta in concorrenza da altri operatori.

La concessione di coltivazione di risorse geotermiche è accordata dall'Autorità competente (con una durata di trenta anni) a seguito dell'approvazione del programma dei lavori, del progetto geotermico, dell'esito positivo di un procedimento unico, cui partecipano le amministrazioni interessate, e dell'esito positivo della procedura di valutazione d'impatto ambientale. Anche il rilascio della concessione di coltivazione è subordinato alla presentazione, da parte del richiedente, di una fideiussione bancaria o assicurativa commisurata al valore delle opere di recupero ambientale previste a seguito delle attività.

**Procedura per il conferimento di un permesso di ricerca per risorse geotermiche**

La richiesta di permesso di ricerca, completa della documentazione da allegare, deve essere prodotta ai sensi del D.Lgs. 22/2010 e del D.P.R. 395/1991.

Gli allegati tecnici più importanti da presentare, oltre al piano topografico, sono il programma di lavoro, la relazione tecnico-mineraria di supporto al programma e lo studio ambientale:

- la relazione tecnica deve contenere un inquadramento geomorfologico, geologico-strutturale, idrogeologico, geochimico, geofisico e geotermico specifico, relativamente all'area di interesse, al fine di caratterizzare preliminarmente e qualitativamente l'obiettivo minerario da raggiungere.
- il programma di lavoro deve contenere la descrizione dell'insieme degli studi e delle operazioni che il richiedente del permesso di ricerca intende svolgere per l'accertamento dell'esistenza, la delimitazione e la valutazione delle unità geostrutturali capaci di fornire fluidi geotermici, nonché delle possibilità tecnico-economiche di utilizzazione dei relativi fluidi. Tali operazioni consistono normalmente nell'esecuzione di rilievi geologici, geofisici e geochimici, di pozzi di gradiente, di pozzi esplorativi e di verifica, di prove di produzione anche prolungate e di utilizzazione pratica dei fluidi geotermici, da eseguire anche mediante impianti pilota. Le operazioni in programma devono essere descritte nella maniera più dettagliata possibile in relazione alle conoscenze già disponibili per l'area oggetto dell'istanza e per le zone adiacenti, agli

**obiettivi minerari perseguiti, all'estensione dell'area richiesta ed alla conformazione dei territori interessati. In particolare il programma di lavoro deve comprendere, per ciascun tipo di rilievo proposto, l'indicazione degli strumenti e delle specifiche tecniche da utilizzare, le tempistiche ed il preventivo di spesa.**

**Per quanto riguarda la componente ambientale, i progetti rientrano tra quelli di cui alla lettera a) dell'allegato B1 della L.R. 10/2010 "Attività di ricerca sulla terraferma delle sostanze minerali di miniera di cui all'art. 2, comma 2, del Regio Decreto 29 luglio 1927, n. 1443, ivi comprese le risorse geotermiche, incluse le relative attività minerarie", ed è quindi prevista l'applicazione della procedura di Verifica di assoggettabilità di cui all'art. 20 D.Lgs. 152/2006 ed agli artt. 48 e 49 della L.R. 10/2010, di competenza della Regione; l'Autorità, qualora non ravveda impatti ambientali significativi, può disporre l'esclusione dalla procedura di V.I.A. Qualora invece si ritenesse che il progetto possa avere impatti significativi, si applicano le disposizioni inerenti alla procedura di V.I.A di cui agli articoli 21 e seguenti del D.Lgs. 152/2006. Nel caso il progetto ricada anche parzialmente all'interno di aree naturali protette pSIC, SIC, ZCS E ZPS, il medesimo è soggetto alla procedura di VIA.**

**Al fine di assicurare la rapida e contestuale acquisizione di autorizzazioni, nulla-osta, pareri, assensi necessari per il conferimento del titolo minerario, deve essere effettuata una Conferenza dei Servizi con le Amministrazioni interessate (Regioni, Comuni, altri Enti). A seguito della suddetta Conferenza dei Servizi, e dell'esito positivo della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (o esclusione da questa procedura), viene rilasciato il permesso di ricerca.**

**Il D.P.R. 395/1991 disciplina l'esercizio del permesso di ricerca, la condotta dei lavori e individua gli obblighi cui è tenuto il titolare. Nello specifico, il titolare di permesso di ricerca è tenuto a seguire il programma di lavoro approvato dall'Autorità competente, rispettando i tempi stabiliti per l'esecuzione dei rilievi geologici, geofisici e geochimici indicati all'atto del rilascio. Qualora il titolare intenda apportare modifiche rilevanti al programma di lavoro, deve sottoporre il nuovo programma all'Amministrazione competente per l'approvazione.**

**Il permissionario è tenuto a comunicare all'Autorità competente, al completamento di ogni quadrimestre solare, lo stato di avanzamento dei lavori e dei risultati ottenuti.**

**Il permissionario ha inoltre la facoltà di richiedere la proroga della vigenza, presentando apposita domanda almeno sessanta giorni prima della scadenza del permesso di ricerca; ha inoltre la facoltà di rinuncia totale o parziale al**

permesso di ricerca. In caso di rinuncia totale, il titolare deve allegare all'istanza una relazione conclusiva sui lavori effettuati, sui risultati conseguiti e sulla valutazione finale in merito all'interesse geotermico dell'area del permesso e sulle motivazioni che alla rinuncia.

A norma dell'art. 8 del D.Lgs. 22/2010, dal momento in cui l'Autorità competente riconosce il carattere nazionale o locale della risorsa, il titolare del permesso di ricerca entro sei mesi ha il diritto di richiedere la concessione di coltivazione della risorsa geotermica. Qualora scadano i termini, la concessione può essere rilasciata a chiunque ne faccia richiesta purché in possesso dei requisiti di capacità tecnica ed economica.

### 1.1.1 Sviluppo delle geotermia in Regione Toscana

Il D. Lgs. 28/2011 prevede che le Regioni concorrano al raggiungimento dell'obiettivo nazionale, dettato da normativa comunitaria, del 17% di energia prodotta da fonti rinnovabili sul Consumo Finale Lordo di energia, mediante la ripartizione dell'obiettivo nazionale in obiettivi regionali ( il cosiddetto Burden Sharing - condividere un obiettivo - appunto), individuati da parte del Ministero dello Sviluppo Economico con l'emanazione di un suo decreto.

Con tale decreto è stato assegnato a ciascuna Regione un obiettivo al 2020, suddiviso in step di controllo biennali e differente a seconda delle potenzialità della Regione stessa in base alle elaborazioni effettuate nel Piano di Azione Nazionale (PAN) sulla promozione delle rinnovabili, consegnato alla UE ai sensi della DIR 2009/28/CE.

	Obiettivo regionale per l'anno [%]					
	<i>Anno iniziale di riferiment o</i>	<i>2012</i>	<i>2014</i>	<i>2016</i>	<i>2018</i>	<i>2020</i>
Toscana	6,2	9,5	10,8	12,3	14,1	16,5

Tabella 1- Trend obiettivi Burden Sharing Toscana

In particolare, come si desume dalla tabella precedente, alla Regione Toscana è stato assegnato un obiettivo del 16,5% di energia da fonti rinnovabili sul Consumo Finale Lordo di energia: poiché il PAN, su cui si basa lo schema di Decreto sul Burden Sharing, studia, fonte per fonte, come si può arrivare al 17% di rinnovabili entro il 2020, lo stesso schema di Decreto propone le modalità, con cui la Regione Toscana dovrebbe raggiungere al 2020 l'obiettivo del 16.5 %; tali modalità sono comunque non obbligatorie ma indicative e per quanto riguarda l'energia geotermica sono riassumibili come



segue.

Energia Elettrica da fonte geotermica	Geotermia diretto e/o teleriscaldamento
<i>[GWh]</i>	<i>[kTEP]</i>
6.450	
<i>[kTEP]</i>	43,9
555	

*Tabella 2- Previsioni Produzione Geotermia al 2020 (fonte PAN)*

Per completare il quadro mancherebbe il dato sulle pompe di calore geotermiche che, però non è scindibile da quello globale delle pompe di calore nel loro complesso.

In base a quanto sopra riportato e considerando che:

1. a fine 2014 in Toscana risultavano operanti sul territorio 34 centrali geotermoelettriche per un totale di 821 MW di Potenza efficiente Lorda (915,5 MW Potenza nominale installata) installata che hanno prodotto 5'659,2 GWh (produzione Lorda), corrispondenti a 486,7 kTEP (dato all'incirca costante da 10 anni a questa parte);
2. si puo' ipotizzare cautelativamente un funzionamento di 7000 ore equivalenti per le centrali realizzate in futuro

si ricaverebbe che al raggiungimento dell'obiettivo del 2020 mancherebbero da installare 113,7 MW.

Come è stato, pero', già specificato, la modalità di raggiungimento dell'obiettivo in termini di singole fonti è indicativo e non vincolante: all'interno del Piano Ambientale Energetico Regionale di recente approvazione (Del. 10/2015), infatti, si ritrova che al 2020 si stima un incremento di potenza (rispetto al 2011 anno di riferimento delle stime del PAER) per gli impianti geotermoelettrici così articolata:

1. 15 MW dalla realizzazione di impianti Pilota;
2. 40 MW dalla realizzazione della Centrale di Bagnore 4 (autorizzata e già in funzione da fine 2014);
3. 20 MW dalla realizzazione della Centrale di Monterotondo 2 (per cui si è concluso il procedimento di VIA, insieme alla relativa Concessione denominata Milia);

**4. 150 MW dalla realizzazione delle nuove centrali connesse ai Permessi di ricerca vigenti.**

Il raggiungimento di tale stima di potenza installata (in totale 225 MW) supera abbondantemente le necessità inerenti la sola Geotermia per quanto riguarda il Burden Sharing, ma risulta necessaria in quanto andrebbe a sopperire carenze che la nostra regione ha su altre fonti energetiche.

Per quanto attiene il calore si possono effettuare stime ottenute per regionalizzazione dei dati Nazionali GSE 2013 considerando forfettariamente una quota del 35% del dato nazionale per gli usi diretti della geotermia e del 75 % per i teleriscaldamenti geotermici.

	Produzione attuale al 2013 (stime su dati GSE) [ktep]	Previsione Burden Sharing [ktep]	Situazione a oggi rispetto obiettivo Burden Sharing [ktep]
<i>Usi diretti</i>	41,70	43,9	8,67
<i>Teleriscaldamento</i>	10,87		

*Tabella 3- Prospetto riassuntivo Usi diretti e Teleriscaldamento fonte geotermica*

Se le stime, attualmente di carattere empirico, fossero confermate una volta approvata la metodologia di calcolo per misurare il grado di raggiungimento degli obiettivi regionali definiti in attuazione dell'articolo 2, commi 167 e 170 della legge n.244/2007, per quanto riguarda il calore da usi diretti e teleriscaldamenti geotermici, gli obiettivi assegnati dal Burden Sharing risulterebbero già raggiunti e superati.

### ***1.2 L'esplorazione geotermica fase 1: esplorazione di superficie***

L'esplorazione geotermica si divide in due principali fasi di ricerca: per la prima si tratta di realizzare una esplorazione di superficie, mentre la seconda porta avanti una esplorazione profonda.

A seguito di una elaborazione delle carte tematiche di base, con la ricostruzione dei dati geologici, geofisici e geochimici del sito, viene programmata la fase di esplorazione superficiale, al fine di aumentare il grado di affidabilità del modello tridimensionale dell'eventuale sistema geotermico. Mediante prospezioni geologiche, geofisiche e geochimiche viene ricostruita la struttura geologica profonda, individuata l'eventuale presenza di corpi magmatici, determinate le proprietà meccaniche, petrofisiche e termodinamiche dei potenziali serbatoi geotermici.

I dati registrati vengono sottoposti a complessi processi di elaborazione, con

la finalità di individuare una struttura geologica nell'ambito della quale sia possibile ipotizzare la presenza del fluido geotermico ricercato. In gergo minerario è questa la “trappola” che determina il serbatoio o giacimento minerario o, ancora, campo produttivo.

Naturalmente la ricerca è guidata dalla conoscenza delle carte geologiche di base dell'area geografica: è noto che il fluido geotermico ad alta entalpia nella Regione Toscana è collocato nelle formazioni carbonatiche del basamento metamorfico ad una profondità variabile tra 3000 e 4500 metri circa.

Le principali metodologie di indagine superficiali sono: rilevamenti geologici strutturali, geochimici, gravimetrici, magnetotellurici, sismici, pozzetti termometrici, pozzetti slim-holes.

### 1.2.1 Rilevamento geologico strutturale

Con il termine di rilevamento geologico si intendono una serie di operazioni compiute sul terreno allo scopo di ricavare il massimo numero di informazioni sulla costituzione geologica di una certa area. Tutte le informazioni ricavate dovranno poi essere rappresentate su una base topografica, in modo da realizzare così una Carta geologica, cioè una rappresentazione grafica e simbolica di quella che si ritiene essere la geologia dell'area esaminata. Il lavoro del rilevatore comprende quindi sia una adeguata raccolta di dati direttamente sul terreno, sia una elaborazione degli stessi in modo da realizzare un prodotto comunicabile ad altri geologi.

### 1.2.2 Rilevamento geochimico

Le prospezioni geochimiche forniscono informazioni sulla temperatura sia sulla composizione chimica dei fluidi presenti nel serbatoio fornendo indicazioni utili sull'origine dei fluidi. Vengono pertanto effettuati campionamenti ed analisi chimiche su campioni di gas e acqua presenti all'interno dell'area del permesso di ricerca.

### 1.2.3 Rilevamento gravimetrico



Consiste nella misurazione delle anomalie dell'accelerazione di gravità, prodotte da contrasti anomali di densità tra corpi presenti nel sottosuolo, che portano il campo gravimetrico reale a discostarsi sensibilmente da quello gravimetrico teorico. Le anomalie di gravità (o anomalie di Bouguer) sono positive o negative in funzione delle caratteristiche dei corpi presenti nel sottosuolo.

*Fig. 1- Gravimetro*

Una anomalia positiva (negativa) indica la presenza di un corpo con densità maggiore (minore) rispetto a quella dell'ambiente circostante. La misura delle anomalie è eseguita con il gravimetro. I valori misurati vengono riportati su mappe dove si tracciano le linee che uniscono i punti dotati di uguali valori di anomalia (isoanomale di Bouguer). La mappa di Bouguer dà indicazioni di carattere regionale, in quanto racchiude in sé l'effetto di una serie di anomalie prodotte da masse poste a diversa profondità nel sottosuolo.

Oltre che sulla terraferma, il rilievo gravimetrico può essere effettuato anche in mare o da un aereo (gravimetria). Nel campo geologico e minerario questo metodo è utilizzato soprattutto per avere informazioni sugli allineamenti strutturali del sottosuolo.

#### 1.2.4 Rilevamento Magnetotellurico (MT)



*Fig. 2- Rilievo Magnetotellurico*

profondità.

La prospezione Magnetotellurica è una tecnica elettromagnetica ad ampio spettro che utilizza come sorgente le variazioni naturali del campo magnetico terrestre e come output le variazioni indotte al campo elettrico naturale del terreno. Questa metodologia è impiegata per rilevare, in analogia con i metodi geoelettrici, le variazioni di resistività del terreno dalla superficie fino in

Il campo magnetico viene misurato nelle sue tre componenti ( $H_x, H_y, H_z$ ) tramite l'utilizzo di tre bobine interrate entro i primi 50 cm di terreno, mentre le due componenti orizzontali del campo elettrico ( $E_x, E_y$ ) tramite dipoli ed elettrodi infissi nel terreno. La lunghezza dei sensori magnetici è inferiore al metro, mentre per i dipoli, diversamente da quanto avviene con il metodo geoelettrico tradizionale, sono sufficienti stendimenti di 100–200 m e, soprattutto, non viene immessa corrente elettrica nel terreno. La squadra di acquisizione, normalmente composta da 6–8 persone che si muovono con automezzi leggeri lungo strade esistenti, è in grado di eseguire alcuni sondaggi nell'arco della giornata. Al termine del rilievo non viene lasciata alcuna traccia permanente sul territorio. L'elevata profondità di investigazione del metodo è particolarmente utile per l'interpretazione congiunta con i dati della sismica a riflessione. Inoltre, l'elevato grado di risoluzione delle anomalie conduttive rende il metodo particolarmente indicato nell'individuazione di orizzonti con circolazione di fluidi geotermici.

### 1.2.5 Rilevamento Sismico – Prospezione sismica a riflessione



*Fig. 3- Camion per prospezioni sismiche*

La prospezione sismica a riflessione consiste nell'immissione nel terreno di segnali sismici e nella registrazione in superficie della loro componente riflessa. Si prevede l'applicazione di un dispositivo di acquisizione a "copertura multipla" con

stendimenti dei ricevitori (geofoni) lungo profili il più possibile rettilinei e con sorgente sismica generata da vibratori meccanici semoventi. Questa sorgente di energia è costituita da 3-4 masse vibranti montate su trattatrici gommate che si muovono lungo la viabilità esistente e/o percorsi fuori strada, nelle immediate vicinanze dello stendimento dei geofoni.

Nei punti di energizzazione, distanziati tra loro alcune decine di metri, viene immessa energia sismica con frequenza compresa tra 10 e 80 Hz e durata di circa 20-30 s. Le vibrazioni sono avvertibili solo nel raggio di pochi metri dalla sorgente e non provocano alcun effetto sui manufatti (abitazioni, ponti, ecc).

Per ogni profilo si procede al posizionamento temporaneo (alcuni giorni) sul terreno di numerosi ricevitori sismici aventi dimensioni di pochi centimetri e collegati tra loro da cavi per la trasmissione dei segnali al laboratorio d'acquisizione automontato.

Al termine del rilievo di campagna, tutto il territorio interessato viene accuratamente ripristinato, rimuovendo ogni traccia del rilievo stesso.

In alternativa, la sorgente energetica potrebbe essere generata da cariche esplosive attivate all'interno di pozzetti perforati ad aria e/o acqua a profondità massima di 12 - 15 m, con diametro di 10 cm e completati con un rivestimento di tubi in PVC da 82 mm. La perforazione è eseguita da gruppi di perforazione costituiti da una perforatrice automontata su piccoli trattori. Viene impiegata anche una piccola autobotte per il trasporto di acqua per la perforazione.

Dopo l'allocazione delle cariche esplosive (almeno 3 Kg), viene effettuato il "borraggio" del foro con sabbia, argilla o ghiaia calcarea a piccola matrice, dal fondo pozzo fino alla profondità di 2-3 m dal piano campagna, e con terreno di risulta del foro stesso, opportunamente pressato, fino al piano campagna. Ciò garantisce che al momento dello scoppio non si verifichino

**fenomeni di blow-out del materiale di costipamento.**

### 1.2.6 Rilevamento termometrico

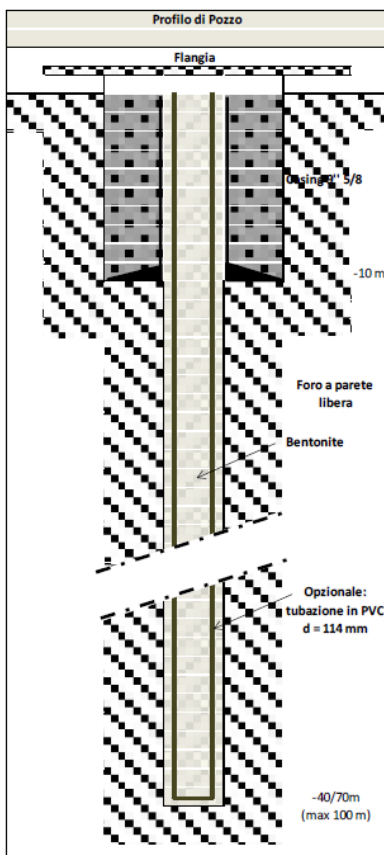


Fig. 4- Schema pozzetto termometrico

Il rilievo consiste nella misura della temperatura a varie profondità, utilizzando sonde termometriche, e nella determinazione del gradiente termico verticale lungo il sondaggio. Per avere valori di gradiente termico affidabili è opportuno che le misure vengano eseguite all'interno di terreni di copertura sostanzialmente impermeabili, quali i sedimenti pliocenici, neogenici o le formazioni argillitiche in facies di flysch. Le letture vengono fatte a profondità fisse a intervalli di tempo predefiniti sino a completa stabilizzazione termica del sondaggio; tali misurazioni vengono effettuate mediante la realizzazione di pozzetti termometrici della profondità variabile da poche decine di metri fino a 100 metri circa. Durante la perforazione vengono, di norma, effettuati carotaggi con prelievi di campioni indisturbati per poter eseguire analisi di laboratorio, tra le quali la determinazione del peso specifico, del calore specifico e misure di conducibilità termica.

Nell'immagine è schematizzato un profilo tecnico tipo di un sondaggio geognostico.

Il casing ha lo scopo di:

- disporre di un ancoraggio per la flangia;
- confinare e proteggere eventuali acquiferi superficiali;
- evitare che eventuali vene d'acqua superficiali penetrino nel perforo

.Al termine della perforazione e delle misure termometriche di pozzo, verrà eseguita la chiusura mineraria del pozzo, lo smantellamento del cantiere e sarà eseguita la bonifica del terreno fino a completo ripristino dell'area con smaltimento in discarica autorizzata di tutti i rifiuti prodotti durante l'attività.

### 1.2.7 Realizzazione pozzetti Slim-hole

Per slim-hole si intendono pozzi a piccolo diametro a profondità inferiore a 1000 m, che permettono di campionare sia il fluido che la roccia del serbatoio, misurando direttamente temperatura, permeabilità e pressione.



Generalmente vengono effettuati con la tecnica Wire-Line, ovvero la perforazione a carotaggio continuo. Ciò si ottiene attraverso la rotazione di una colonna tubolare alla cui estremità è presente un utensile tagliente che avanza sul fondo del foro attraverso un taglio circolare che ingloba i terreni. Tale colonna costituisce il rivestimento del pozzo ed accoglie al suo interno un carotiere non rotante che accoglie i terreni attraversati. Il carotiere viene di volta in volta estratto dalla colonna tubolare attraverso un apposito dispositivo di aggancio, calato per mezzo di una fune di manovra che scende all'interno della colonna. Le carote estratte durante la perforazione vengono sistemate in apposite cassette catalogatrici, identificate da un numero progressivo e dalla profondità di riferimento.

Al termine della perforazione e delle misure termometriche di pozzo verrà eseguita la chiusura mineraria del pozzo, lo smantellamento del cantiere e sarà eseguita la bonifica del terreno fino a completo ripristino dell'area con smaltimento in discarica autorizzata di tutti i rifiuti prodotti durante l'attività.



*Fig. 5- Macchina perforatrice*

La perforazione è eseguita mediante una macchina perforatrice automontata di dimensioni comprese entro la sagoma di un normale semirimorchio. Per l'esecuzione del foro, con diametri decrescenti da circa 7 a circa 3 pollici, è richiesto l'utilizzo di un fluido (acqua o fango bentonitico) mantenuto in circolazione mediante l'ausilio di una pompa di supporto.

La bocca pozzo di perforazione dovrà disporre di un blow-out preventer anulare o a ganasce in grado di contrastare pressioni di almeno 80 bar.

Al termine della perforazione e delle misure termometriche di pozzo verrà eseguita la chiusura mineraria del pozzo, lo smantellamento del cantiere e sarà eseguita la bonifica del terreno fino a completo ripristino dell'area con smaltimento in discarica autorizzata di tutti i rifiuti prodotti durante l'attività.

### ***1.3 L'esplorazione geotermica fase 2: pozzi esplorativi***

Una volta individuata la struttura geologica ritenuta interessante, in base ai risultati della prima fase di ricerca, al fine di verificare la presenza della risorsa mineraria in essa eventualmente intrappolata, si prende in considerazione la possibilità di effettuare un pozzo esplorativo che deve raggiungere in via diretta la struttura e dare conferma o meno della mineralizzazione.



Questo tipo di perforazione è cosa totalmente diversa dalle perforazioni menzionate per la ricerca preliminare di superficie; qui parliamo di pozzo profondo che ha un significativo impatto sull'ambiente e che si attua con tecniche e metodologie complesse e codificate nel settore estrattivo (idrocarburi/geotermia).

Il primo elemento che emerge, quindi, è che il pozzo esplorativo (sondaggio profondo), non può essere ubicato in maniera aleatoria in superficie in quanto strettamente legato alla sottostante struttura geologica.

Il pozzo esplorativo può confermare la presenza della risorsa ma può anche fornire un esito negativo e quindi si presentano due opzioni.

Se non è confermata la presenza della risorsa il pozzo deve essere chiuso minerariamente cioè deve attuarsi un programma di messa in sicurezza che preveda la cementazione a stadi del foro, la saldatura di flangia cieca a circa un metro sotto il piano campagna e quindi il ripristino ambientale con rimodellazione del terreno alla originaria configurazione orografica e originaria destinazione.

Se il pozzo invece conferma la mineralizzazione, sarà evidente l'interesse a mettere in valore la risorsa attraverso la sua coltivazione. Sarà questo un nuovo iter che l'Amministrazione dovrà vagliare ed eventualmente ratificare mediante l'emanazione di apposito titolo concessorio che contempli uno specifico programma di sfruttamento della risorsa o meglio, di coltivazione.

Il pozzo esplorativo che ha determinato i presupposti per la messa in valore della risorsa diventa, di fatto, il primo pozzo di coltivazione del nuovo campo geotermico.

Lo scenario che si prospetta è, però, piuttosto laborioso perchè la scoperta della risorsa all'interno della struttura impone l'adozione di precise metodologie atte a valutare le caratteristiche del fluido ed a stimare le riserve presenti nella struttura, il tutto per definire in maniera appropriata la più opportuna modalità di coltivazione del campo nel tempo.

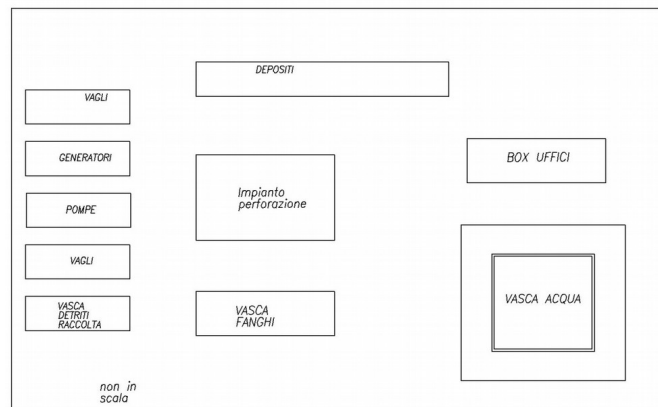
Questi dati si ottengono con le cosiddette “prove di produzione” che richiedono la necessità di far produrre il pozzo per un tempo adeguato.

Al fine di minimizzare costi ed impatti ambientali, negli ultimi anni si è sviluppata la tecnica delle perforazioni deviate con scostamenti tra punto di ubicazione in superficie e punto di ubicazione dell'obiettivo in profondità di alcune centinaia di metri e questo consente di coltivare il campo da più punti, come sopra detto, ma da un'unica piazzola di superficie. Tale tecnica è largamente in uso da tempo anche nella Regione Toscana per i pozzi geotermici.

### 1.3.1 Modalità realizzative del pozzo esplorativo

I pozzi esplorativi vengono situati nelle posizioni più promettenti derivanti dagli studi pregressi. Viene così realizzata una piazzola per il montaggio dell'impianto di perforazione.

Dato che i pozzi sono parte del programma di ricerca mineraria, durante la perforazione vengono raccolte più informazioni come ad esempio il prelievo di campioni di carote, misure di temperatura, etc.



*Fig. 6- Schema piazzola perforazione*

Una piazzola tipica per la perforazione di pozzi profondi, le cui dimensioni tipiche sono di 45x90m, è rappresentata nella figura seguente:

Passando all'attività di perforazione, la creazione di un foro è basata sulla compressione esercitata dallo scarpello multidentato sulla roccia da perforare. Nello standard della perforazione geotermica è utilizzata la tecnica “Rotary”, ovvero una batteria di aste, alla cui estremità è collegato uno scarpello, è appesa ad una tavola ruotante. La perforazione avviene mediante l'utilizzo di un fluido di perforazione, generalmente costituito da acqua e bentonite. La funzione del fluido è:

- Rimuovere frammenti di roccia;
- Raffreddare lo scarpello;
- Lubrificare la batteria di perforazione;
- Impedire il crollo del pozzo durante la perforazione.

Il fluido viene pompato all'interno della batteria di aste di perforazione fino ad arrivare allo scarpello da dove fuoriesce tramite degli ugelli. Attraverso l'intercapedine esistente tra la batteria delle aste e la parete del pozzo, il fluido risale fino alla boccapozzo. Arrivato in superficie passa attraverso dei vagli in modo che la frazione solida, analizzata dal geologo, viene rimossa

dalla liquida. Il fluido, una volta raffreddato viene reimmesso nelle aste di perforazione.

L'obiettivo della perforazione è lo scovare zone con fratturazioni naturali. Al momento che la batteria di perforazione incontra le zone fratturate, il fluido di perforazione non risale verso la bocca pozzo e la perforazione prosegue in perdita totale di circolazione.

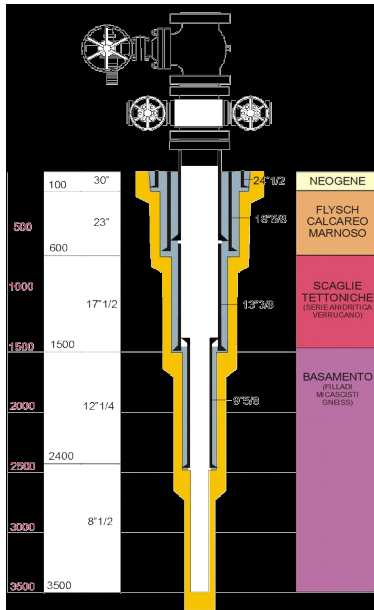


Fig. 7- Schema Pozzo

A step incrementali all'interno del foro viene inserito un casing del diametro inferiore alla sezione perforata. Ultimata l'installazione del casing la fase successiva è rappresentata dalla cementazione del pozzo, ovvero viene iniettato del cemento miscelato con additivi di volume leggermente maggiore al volume anulare tra l'interno del foro e l'esterno della carcassa.

Raggiunto l'obiettivo ricercato, la base del pozzo può essere lasciata a foro aperto oppure possono essere inseriti dei casing forati in modo tale che il fluido geotermico possa defluire all'interno del tubo. Un profilo tipo di tubaggio per un pozzo profondo è rappresentato nella figura.

Terminata la fase di perforazione viene avviata la prova di produzione. Il pozzo viene messo in erogazione per valutarne la potenzialità. Nella figura successiva viene rappresentato un pozzo nella fase di prova di produzione. Nel dettaglio il pozzo (San Pompeo 2A) ha una profondità di 2200 m con una produzione di 42 ton/h.



Fig. 8- Pozzo San Pompeo 2A

### 1.4 Pozzi produttivi

Passiamo ad un breve cenno sui pozzi produttivi, che presentano caratteristiche assai variegata l'uno rispetto all'altro sia per portata che per pressione e temperatura; esistono pozzi con portata di 3/5 ton/h ed altri

intorno a 90 ton/h . Per mantenere le giuste caratteristiche atte ad azionare le turbine detti pozzi sono normalmente spaziati in un raggio di circa km 2 o poco più rispetto alle centrali di produzione elettrica. Le condotte di trasporto, con dovuti accorgimenti di coibentazione, garantiscono di conservare tali caratteristiche a queste distanze. Anche qui la rete dei vapordotti è da considerare non solo per estensione chilometrica ma, soprattutto per interconnessione in corrispondenza dei singoli campi geotermici. Ciò consente di ottenere una più equilibrata distribuzione del vapore nelle centrali collegate a quella rete ed il contenimento significativo degli effetti ambientali in occasione delle manutenzioni agli impianti (revisione centrali in primis).

Le centrali attualmente in esercizio sono quasi tutte di taglia convenzionale di 20 MW, alcune da 60 MW e quella di Valle Secolo da 120 MW. La centrale da 20MW immette in rete una potenza netta pari a circa 17/18 MW.

Si fornisce il dato indicativo della quantità di vapore necessaria per MW: circa 7t/h in funzione dei valori di temperatura e pressione.

### ***1.5 Impatti ambientali delle attività di ricerca***

La Toscana è interessata da fenomeni geotermici nella parte meridionale delle province di Pisa e Siena (colline metallifere) e nella parte orientale della Provincia di Grosseto (Amiata), zone che sono sempre state interessata da fenomeni di emissioni naturali di vapore, con concentrazioni apprezzabili di acido solfidrico dal caratteristico odore di uova marce. Gli impatti delle attività antropiche si sommano quindi al fondo emissivo naturale con effetti difficilmente distinguibili.

I principali impatti attinenti alle attività di ricerca ed a quelle esplorative possono ritenersi limitati per la temporaneità delle operazioni nel caso in cui i ripristini ambientali vengano correttamente eseguiti, e possono essere riassunti in:

1. rilascio di inquinanti nell'aria;
2. incremento concentrazione di elementi chimici nelle zone contermini;
3. contaminazione acque superficiali a causa delle lavorazioni, specialmente durante la fase di ricerca;
4. contaminazione di falde;
5. contaminazione di falde a diversa profondità per collegamento reciproco dovuto ai pozzi;
6. rumori dovuti ai mezzi operativi durante la ricerca e costruzione ed alle centrali durante l'esercizio;

7. effetti sulla salute umana, su flora, fauna ed habitat;
8. modifiche al paesaggio ed al panorama percepibile;
9. possibile innesco o induzione di sismicità;
10.       subsidenza

### 1.5.1 Impatti attività fase 1: esplorazioni di superficie

Gli impatti ambientali legati alla realizzazione delle attività propedeutiche, quali prospezioni geologiche e geofisiche, possono ragionevolmente considerarsi temporanei e di entità limitata. Solitamente vengono effettuati rilievi geologici, sismici, VLF (onde elettromagnetiche a bassa frequenza), gravimetrici, geoelettrici, geochimici e termografici che, pur comportando attività di campagna, producono effetti di disturbo privi di significatività. Al completamento di questa fase, comunque, una volta prescelta l'area più interessante, occorre analizzare il serbatoio geotermico in modo diretto. Allo scopo una volta venivano utilizzati pozzi esplorativi, di caratteristiche analoghe a quelli produttivi, che verranno descritti più avanti.



*Fig. 9- Perforazione pozzo Slim Hole*

Da qualche anno a questa parte vengono invece preferiti pozzi diagnostici di piccolo diametro (8-12 cm) detti slim hole, che permettono di campionare sia il fluido che la roccia del serbatoio, misurando direttamente temperatura, permeabilità e pressione. Anche l'impatto ambientale di questi pozzi può ragionevolmente considerarsi limitato e temporaneo. Solitamente occorre realizzare una piazzola ghiaiaata, una vasca ed un

eventuale pozzo di servizio, la piazzola avrà dimensioni modeste, atte ad ospitare attrezzature autotrasportabili, i volumi di materiale estratto sono solitamente limitati a qualche mc e le attività non superano il mese, dopo di che i siti possono essere ripristinati. I rischi connessi ad emissioni di vapori e gas sono ridotti per presenza di sistemi di allarme montati sulle sonde e di sistemi di chiusura di sicurezza montati sulle bocche-pozzo, mentre i rischi di inquinamento o di connessione tra falde, pur non essendo completamente eliminabili, possono ritenersi estremamente ridotti grazie alle tecnologie disponibili.



*Fig. 10- Vista da satellite piazzola*

### 1.5.2 Impatti attività fase 2: pozzi esplorativi

Anche le perforazioni esplorative hanno lo scopo di raggiungere fisicamente il serbatoio geotermico, per

valutarne le caratteristiche in modo diretto ed in termini quantitativi. I pozzi sono di dimensioni paragonabili a quelli produttivi, e possono in seguito essere utilizzati per tale scopo o per reiniettare i fluidi nel sottosuolo.

Le maggiori dimensioni e le maggiori profondità che possono essere raggiunte con questa tipologia di pozzi comporta maggiori impatti potenziali.

I volumi di materiale estratto raggiungono qualche centinaio di mc ed i rischi legati alla perforazione sono simili a quelli sopra descritti, seppur di maggiore entità. I momenti più critici per la produzione geotermoelettrica, infatti, corrispondono con le operazioni di perforazione e di manutenzione ordinaria e straordinaria dei pozzi. Improvvise eruzioni possono inquinare le acque superficiali, ma vengono di solito evitate installando speciali valvole di sicurezza, in particolare quando sono perforati pozzi previsti ad alta pressione e ad elevata temperatura. Inoltre durante la perforazione e le prove di portata dei pozzi, possono essere emessi nell'atmosfera gas inquinanti. Queste operazioni modificano la morfologia dell'area e possono danneggiare l'ecosistema, tuttavia i maggiori impatti sono temporanei e la presenza di sistemi di allarme e di sistemi di chiusura di sicurezza consentono di contenere i rischi.

#### ***1.5.2.1      Uso del suolo***

L'installazione di un impianto di perforazione e degli equipaggiamenti accessori comporta la costruzione di strade d'accesso e di una piazzola di perforazione, che deve essere livellata ed inghiaiaata per permettere l'operatività dei mezzi impiegati. Quest'ultima copre una superficie che va da 200-500 m<sup>2</sup> per un piccolo impianto automontato, in grado di raggiungere una profondità di 300-700 m, a 1200-1500 m<sup>2</sup> per un impianto medio in grado di raggiungere i 2000 m.

In corrispondenza dei pozzi vengono realizzate solette in c.a. per sostenere gli impianti ed anche in questo caso occorrono delle vasche, pozzi e/o impiego di autobotti.

#### ***1.5.2.2      Rumori dovuti ai mezzi operativi durante la ricerca***

Per valutare gli effetti della rumorosità dei macchinari impiegati per la ricerca occorre una specifica valutazione di impatto acustico da condursi in riferimento agli elementi recettori presenti sul territorio.

Deve essere considerata la pianificazione acustica della zona prescelta, le emissioni sonore prodotte, il livello acustico complessivo e quello differenziale determinati in corrispondenza dei recettori precedentemente

individuati.

Comunque il rumore prodotto durante le perforazioni è sostanzialmente paragonabile a quello di un camion in marcia e pertanto le postazioni di ricerca devono essere ubicate a ragionevole distanza da luoghi abitati.

Inoltre, durante le operazioni di costruzione dei piazzali necessari alla ricerca e durante le operazioni stesse di ricerca, si producono rumori inusuali in ambienti che solitamente ne sono privi. Tali rumorosità possono essere di disturbo per la fauna locale ed impattare su specie più sensibili, o essere di maggior disturbo in momenti particolari, quali quelli di riproduzione.

#### ***1.5.2.3 Contaminazione di acque superficiali per effetto delle lavorazioni***

Possibili contaminazioni del suolo e delle acque superficiali durante le



*Fig. 11- Perforazione*

operazioni di ricerca, possono essere dovute alla dispersione di fanghi bentonitici o di additivi chimici, allo sversamento accidentale di carburanti e lubrificanti, o alle acque di dilavamento dei piazzali e devono essere evitati tramite una idonea organizzazione dei cantieri e controllo dei lavori. Relativamente ai fanghi si può comunque osservare che l'acqua porta

al rigonfiamento delle argille, che tendono così a sigillare le zone permeabili. Pertanto il fango disperso che possa infiltrarsi non costituisce grave rischio di inquinamento, purché lo sia in quantità modeste, a seguito delle precauzioni adottate.

#### ***1.5.2.4 Contaminazione di falde***

Relativamente al rischio di inquinamento delle falde, la realizzazione delle perforazioni può avvenire con impiego di aria compressa ed acqua, ma anche con fanghi bentonitici ed additivi. Anche in questa fase sussiste pertanto il rischio di inquinamento delle acque.

I materiali solitamente usati nel confezionamento del fango nelle fasi iniziali, per raggiungere le quote minori, sono solitamente acqua, bentonite e soda caustica. Poi, man mano che si procede nella perforazione del pozzo, in fori di diametro sempre più piccolo, le proprietà del fango giocano un ruolo sempre più importante e possono essere impiegati vari tipi di additivi.

La bentonite, sostanza di maggior impiego, è un materiale di origine minerale, atossico e privo di effetti nocivi sull'ambiente, ma lo stesso non si

può dire delle altre sostanze delle quali deve essere evitata la dispersione.

#### ***1.5.2.5 Contaminazione di falde a diversa profondità per collegamento reciproco dovuto ai pozzi***

Si tratta di un rischio da doversi considerare, più che di un impatto. Il rischio di collegamento tra falde e di mescolamento del fluido geotermico con le falde acquifere superficiali non è eliminabile a priori e viene evitato cementando opportunamente le tubazioni che attraversano gli strati, specialmente quelli sovrastanti il serbatoio geotermico.

#### ***1.5.2.6 Altri rischi***

Relativamente al possibile rilascio di polveri ed inquinanti nell'aria, alla concentrazione di elementi chimici nelle zone contermini, ai loro effetti sulla salute umana, su flora, fauna ed habitat, nonché alle modifiche al paesaggio ed al panorama percepibile, nel caso di attività di esplorative, tali effetti sono temporanei e possono ritenersi solitamente di impatto modesto. Anche la produzione di rifiuti, detriti e fanghi di perforazione, nonché il consumo di acqua durante la fase di perforazione sono normalmente gestibili con modalità ordinarie e ambientalmente sostenibili.

Per quanto riguarda il rischio di incidenti, i lavori di perforazione non comportano forme di rischio particolari e sono simili a quelli di qualsiasi cantiere dove si eseguano lavori con impiego di macchinario pesante e di mezzi d'opera di vario genere. Le sostanze impiegate nel cantiere (acqua, argilla bentonitica, schiume, lubrificanti) non rivestono in sé alcun potenziale di rischio ad eccezione di quello per incendio e scoppio per i carburanti, gas di saldatrici ossiacetileniche o contenitori di gas propano. Il livello di rischio per tali elementi è comunque paragonabile a quello di qualsiasi altro cantiere o officina di lavorazioni elettromeccaniche.

#### **1.5.3 Impatti dell'attività di realizzazione pozzi produttivi**

Gli impatti dovuti alla realizzazione dei singoli pozzi produttivi o di reiniezione sono paragonabili a quelli connessi ai pozzi esplorativi. Sono significativamente maggiori, tuttavia, gli impatti dovuti alla costruzione delle centrali, agli impianti elettrici, al collegamento dei pozzi ed alla costruzione delle viabilità di accesso. Un aspetto saliente è che alla temporaneità delle perforazioni e delle costruzioni edili ed impiantistiche iniziali segue la permanenza nel tempo delle opere realizzate. Inoltre è necessario tener conto che per la produzione di energia vengono solitamente realizzati ed allacciati a ciascuna centrale più pozzi. Anche se per le nuove installazioni si cerca di utilizzare la medesima piazzola per vari pozzi (da realizzarsi in modo verticale e deviato) è evidente che gli effetti, anche se non si sommano,



aumentano con il numero delle perforazioni eseguite e deve essere debitamente considerato l'impatto complessivo di tutte le attività svolte.

#### ***1.5.3.1 Impatti dei test e delle prove di produzione***

Una volta terminata la perforazione di un pozzo, le prove di produzione hanno lo scopo di valutarne la capacità produttiva, di spurgarlo e contribuiscono a stimare il potenziale produttivo dell'intero campo geotermico. In questa fase vengono misurate diverse grandezze, quali temperatura, pressione, portata di acqua e di vapore, e valutata la composizione chimica dei fluidi. Le prove hanno una durata di 1-2 settimane e comportano principalmente lo scarico di vapori in atmosfera e la produzione di rumore.

Possono inoltre essere previste prove di iniettività, al fine di determinare la permeabilità delle formazioni che costituiscono il serbatoio geotermico, mediante il pompaggio di acqua a pressione nel pozzo.

Durante le prove di produzione, attorno al bocca-pozzo vengono installate apparecchiature dotate di allarmi per la misura delle concentrazioni di sostanze pericolose, come nella fase di perforazione, al fine di rivelare l'eventuale fuoriuscita di sostanze anomale o in quantità superiore a determinate soglie di sicurezza.

Solitamente si hanno situazioni di sfioro controllato, mantenute entro i limiti individuati dall'OMS, e per limitare gli impatti vengono realizzate vasche di stoccaggio provvisorio o altri pozzi di reiniezione, per lo smaltimento dei reflui.

Durante le prove di produzione vengono prodotti rumori di notevole entità (che possono raggiungere i 120 dB) estesi a tutto l'arco delle 24 ore per una durata di 10-15 gg. Il livello sonoro raggiunge valori molto alti, soprattutto durante prove alla massima apertura, ed è ineliminabile seppur possa essere ridotto con opportuni accorgimenti.

L'impatto acustico, pertanto, non è certo trascurabile e deve essere debitamente considerato in riferimento alla locale pianificazione di settore, ubicando i pozzi a sufficiente distanza da luoghi abitati.

Non sono peraltro evitabili effetti di disturbo per la fauna locale ed impattare su specie più sensibili, o essere di maggior disturbo in momenti particolari, quali quelli di riproduzione. Tali effetti, tuttavia, vengono solitamente ritenuti accettabili in considerazione della temporaneità delle operazioni.

L'impatto per incremento della concentrazione di elementi chimici nelle zone contermini ai pozzi, per effetto delle prove di produzione, non è evitabile a

priori, ma può ragionevolmente considerarsi contenuto ed accettabile in considerazione della temporaneità delle emissioni e della naturale presenza di fondo, caratteristica di molte zone geotermiche.

## **2. QUADRO CONOSCITIVO TERRITORIALE, AMBIENTALE ED IN TERMINI DI RISORSE**

### ***2.1 Titoli minerari per risorse geotermiche (Concessioni e Permessi di Ricerca)***

Dall'entrata in vigore del Decreto Lgs. 11/2/2010 n.22 “Riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche”, che ha di fatto liberalizzato l'attività di coltivazione delle risorse geotermiche, sono stati richiesti alla Regione Toscana un totale di 63 permessi di ricerca; al 01/09/2015 ne risultano vigenti 24 cui uno a cavallo con la regione Lazio, per una superficie totale di 2291,02 kmq (10 % circa dell'intero territorio regionale), suddivisi in 4 province e 48 comuni secondo la successiva tabella.

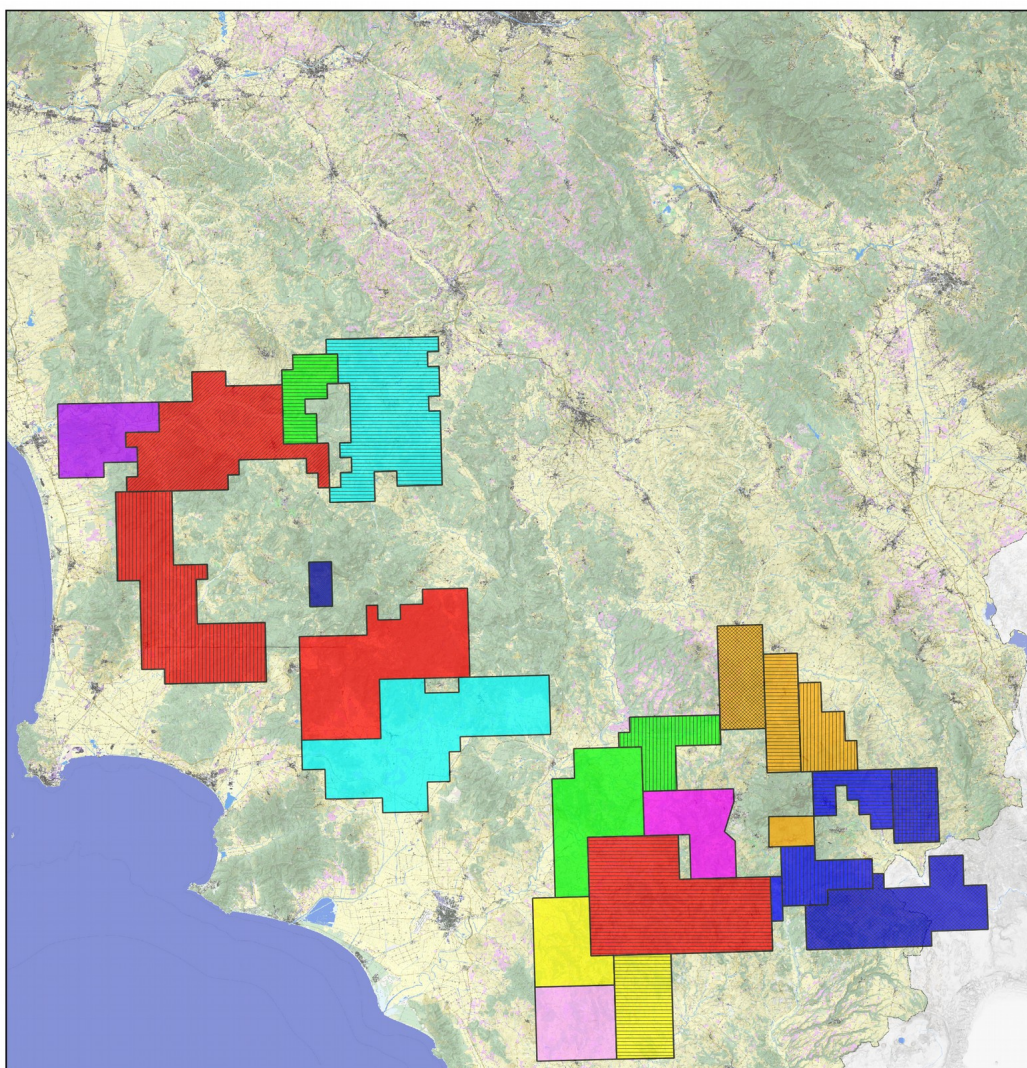
<b>Provincia</b>	<b>Area [kmq]</b>	<b>Percentuale superficie totale vigenti P.R.</b>
<b>Pisa</b>	<b>380,31</b>	<b>16,6%</b>
<b>Livorno</b>	<b>98,51</b>	<b>4,3%</b>
<b>Siena</b>	<b>483,41</b>	<b>21,1%</b>
<b>Grosseto</b>	<b>1328,79</b>	<b>58%</b>

*Tabella 4: Superficie occupata dai Permessi di Ricerca per Provincia*

I 24 permessi vigenti risultano assegnati a 9 società così come illustrato dalle seguenti tabella e figura

<b>Società</b>	<b>Area [kmq]</b>	<b>Numero permessi</b>
<b>Enel Green Power S.p.A.</b>	<b>683,51</b>	<b>4</b>
<b>Ge.Sto Italia s.r.l.</b>	<b>259,17</b>	<b>3</b>
<b>Sorgenia Geothermal s.r.l.</b>	<b>216,13</b>	<b>6</b>
<b>Magma Energy Italia s.r.l.</b>	<b>487,16</b>	<b>2</b>
<b>Geoenergy s.r.l.</b>	<b>87,85</b>	<b>1</b>
<b>Tosco Geo s.r.l.</b>	<b>206,40</b>	<b>4</b>
<b>Geothermics Italy s.r.l.</b>	<b>87,50</b>	<b>1</b>
<b>Futuro Energia s.r.l.</b>	<b>88,60</b>	<b>1</b>
<b>Terra Energy s.r.l.</b>	<b>174,70</b>	<b>2</b>

*Tabella 5: Superficie Permessi di Ricerca per richiedente*



### Legenda

Permessi di ricerca vigenti al 01/09/2015

Boccheggiano  
 Murci  
 Montebamboli  
 Montegemoli  
 La Grasceta  
 Le Cascinelle  
 Monte Santa Croce

Poggio Montone  
 Montorio  
 Celle sul Rigo  
 Bagnolo  
 Castiglione d'Orcia  
 Campiglia d'Orcia  
 Ripa d'Orcia  
 Cinigiano  
 Montalcino

Mazzolla  
 Monte Labbro  
 Roccastrada  
 Mensano  
 Scansano  
 Pomonte  
 Guardistallo  
 Pereta

*Fig. 12: Permessi di ricerca vigenti al 01/09/2015*

**Esaminando il materiale progettuale (compreso il programma dei lavori) dei 24 permessi di ricerca vigenti, si rileva che nessun progetto ubica esattamente a priori le perforazioni esplorative profonde; tuttavia è possibile**

rintracciare, in alcune istanze, qualche riferimento ad eventuali perforazioni profonde da eseguire, sia dichiarate nel programma dei lavori che illustrate all'interno della relazione tecnica. I risultati ottenuti sono riassunti nella seguente tabella.

<b>Permesso</b>	<b>Società</b>	<b>Riferimento a pozzi esplorativi</b>	<b>Numero pozzi</b>
Mazzolla	GeSto Italia S.r.l.	NO	-
Monte Labbro	Geoenergy S.r.l.	SI	1 o più
Cinigiano	GeSto Italia S.r.l.	NO	-
Murci	Enel Green Power S.r.l.	SI	3 / 4
Montebamboli	Enel Green Power S.r.l.	SI	2
Boccheggiano	Enel Green Power S.r.l.	SI	3
Roccastrada	Magma Energy Italia S.r.l.	SI	Almeno 2
Mensano	Magma Energy Italia S.r.l.	SI	Almeno 2
Le Cascinelle	Sorgenia Geothermal S.r.l.	SI	1
Poggio Montone	Sorgenia Geothermal S.r.l.	SI	1 o più
Monte Santa Croce	Sorgenia Geothermal S.r.l.	SI	1
Montalcino	GeSto Italia S.r.l.	NO	-
Bagnolo	Tosco Geo S.r.l.	SI	1
Castiglione d'Orcia	Tosco Geo S.r.l.	SI	1
Campiglia d'Orcia	Tosco Geo S.r.l.	SI	Almeno 2
Ripa d'Orcia	Tosco Geo S.r.l.	SI	Almeno 2
Guardistallo	Geothermics Italy s.r.l.	NO	-
Celle sul Rigo	Sorgenia Geothermal S.r.l.	NO	-
Montegemoli	Enel Green Power S.r.l.	SI	2
Pereta	Futuro Energia s.r.l.	NO	-
Montorio	Sorgenia Geothermal S.r.l.	SI	1
Scansano	Terra Energy S.r.l.	NO	-
Pomonte	Terra Energy S.r.l.	NO	-

*Tabella 6: Permessi di Ricerca : Riferimento a pozzi esplorativi nel programma di ricerca approvato*

Allo stato attuale risultano in corso 3 istanze di modifica al Piano dei lavori per la richiesta di pozzi esplorativi, con esatta ubicazione degli stessi, per cui sono, contemporaneamente in corso le relative procedure di VIA, come illustrato nella seguente tabella.

<b>Denominazione permesso</b>	<b>Richiedente</b>	<b>N. pozzi richiesti</b>	<b>Fase progettazione</b>
<i>Monte Labbro</i>	Geoenergy	1	Preliminare
<i>Mazzolla</i>	GeSto	2	Definitiva
<i>Mensano</i>	Magma Italia	2	Definitiva

*Tabella 7: Pozzi esplorativi in fase di VIA per Permesso di Ricerca*

Sempre alla stessa data risultano altresì in fase di istruttoria 2 Istanze di



**Permesso di Ricerca in concorrenza tra di loro per una porzione di territorio che interessa per la maggior parte la Regione Lazio, a cui dunque compete il relativo procedimento amministrativo.**

**La superficie regionale occupata da questi permessi è di 13,70 (sui 30 kmq totali) e ricade nella provincia di Siena ( e Viterbo nel Lazio), interessando un totale di 2 comuni toscani e 2 laziali.**



*Fig. 13: Istanze di Permesso di ricerca*

**Quanto ai titoli minerari vigenti, ai permessi si aggiungono le 8 concessioni attualmente in essere, tutte assegnate ad Enel Green Power S.p.a., che occupano un totale di circa 490 kmq, suddivisi in 3 provincie secondo la successiva tabella.**

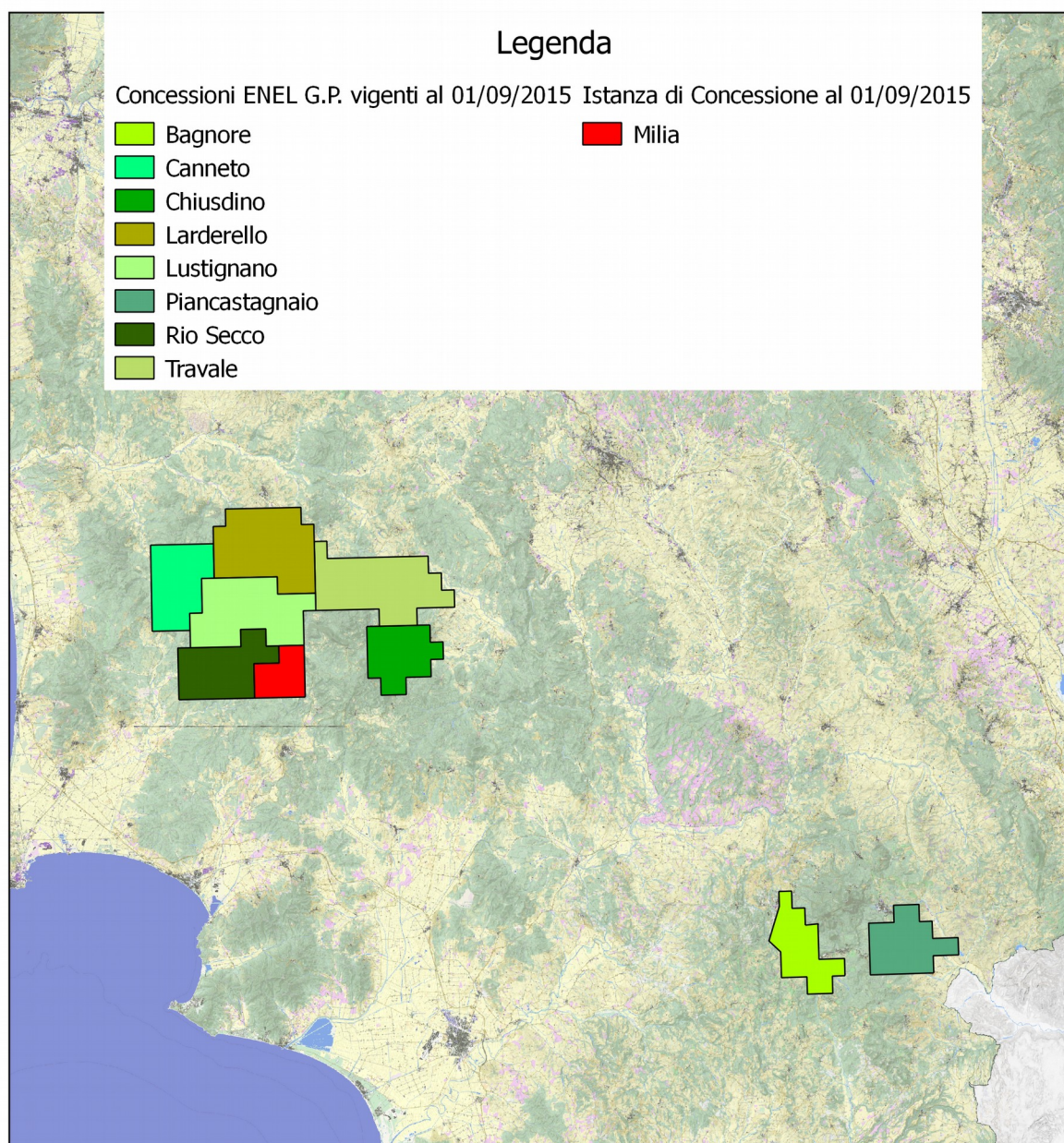
<b>Provincia</b>	<b>Area [kmq]</b>	<b>Percentuale superficie totale Concessioni vigenti</b>
<b>Grosseto</b>	<b>140</b>	<b>28,51%</b>
<b>Pisa</b>	<b>209</b>	<b>42,57%</b>
<b>Siena</b>	<b>142</b>	<b>28,92%</b>

*Tabella 8: Concessioni : superficie per Provincia*

E' da evidenziare, inoltre, che è attualmente attiva, da parte di ENEL Green Power s.p.a. un istanza di Concessione denominata “Milia”, in provincia di Grosseto (25,11 kmq), con contemporanea richiesta di Autorizzazione Unica per una centrale da 20 MW denominata Monterotondo 2, che attualmente ha concluso la fase di Valutazione di Impatto Ambientale

La successiva figura illustra l'ubicazione geografica delle concessioni vigenti e dell'istanza di Concessione.





*Fig. 14: Concessioni vigenti al 01/09/2015*

**Per chiudere il quadro sui Titoli Minerari è necessario considerare le Istanze di Permessi Pilota presentate presso il M.I.S.E.**

**Il Decreto Legislativo 11 febbraio 2010, n. 22, modificato dal Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28 e dall'articolo 28 del Decreto Legge 18 ottobre 2012, n. 179, ha previsto che, al fine di promuovere la ricerca e lo sviluppo di nuove centrali geotermoelettriche a ridotto impatto ambientale, sono considerati di interesse nazionale i fluidi geotermici a media ed alta entalpia finalizzati alla sperimentazione, su tutto il territorio nazionale, di impianti pilota con reiniezione del fluido geotermico nelle stesse formazioni di provenienza e con potenza nominale installata non superiore a 5 MWe per ciascuna centrale.**

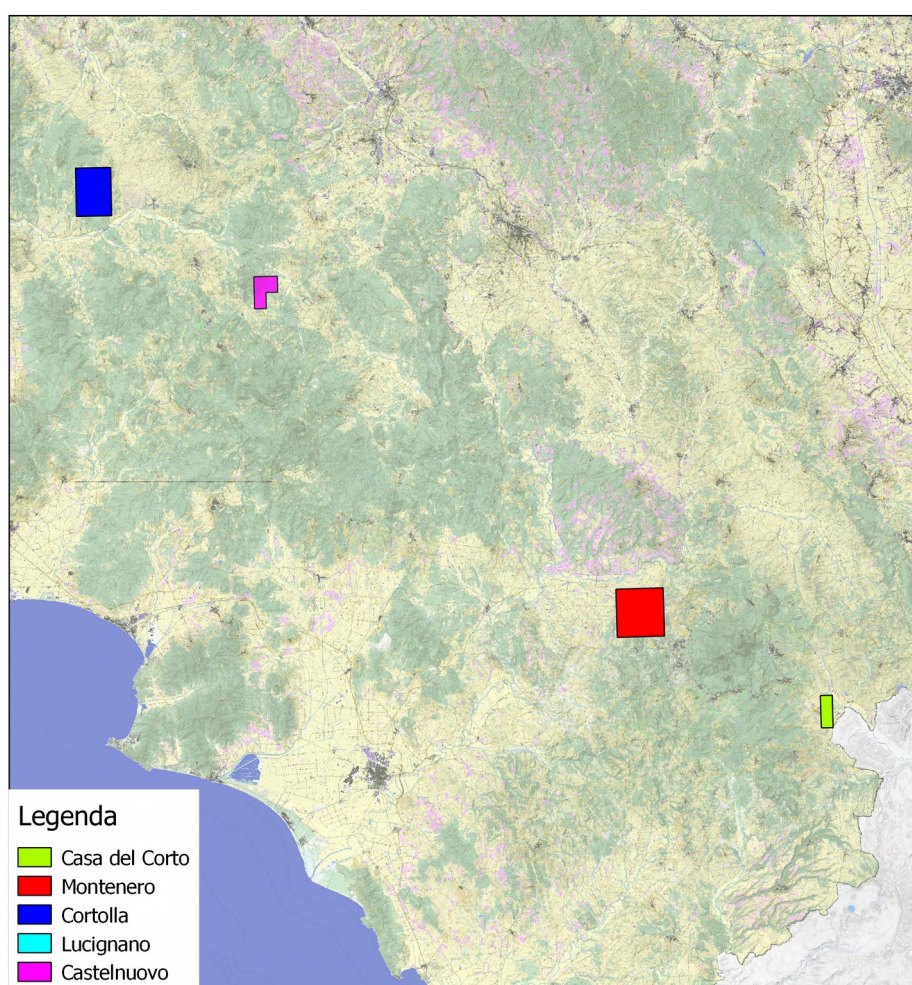
L'autorità competente per il conferimento dei relativi titoli minerari è il Ministero dello sviluppo economico, di concerto con il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, che acquisiscono l'intesa con la regione interessata.

Attualmente sono state presentate 4 istanze relative ad aree in territorio toscano, illustrate nella successiva tabella e figura.



Denominazione	Richiedente	Area [kmq]	Provincia	Comuni	Fase al 01/09/2015
<b>CASA DEL CORTO</b>	Svolta Geotermica S.r.l.	5,04	SI	Piancastagnaio, San Casciano dei Bagni	In attesa di avvio di Valutazione Ambientale
<b>CASTELNUOVO</b>	Tosco Geo	7,49	SI, PI	Castelnuovo Val di Cecina, Radicondoli	In attesa di avvio di Valutazione Ambientale
<b>CORTOLLA</b>	R.T.I. RENEWEM - CO.SVI.G.	22,54	PI	Montecatini Val di Cecina	In corso valutazione ambientale
<b>MONTENERO</b>	Gesto Italia	30,19	GR	Arcidosso, Castel del Piano, Cinigiano	In corso valutazione ambientale

*Tabella 9: Istanze di permesso di ricerca pilota*



*Fig. 15: Ubicazione istanze di Permesso di Ricerca Pilota*

**Come si evince dalla precedente tabella i permessi pilota interessano 3 province, 8 comuni per un totale di circa 83 kmq.**

A conclusione di questa rassegna, la successiva mappa riassuntiva illustra l'effettivo interessamento del territorio regionale da parte dei titoli minerari

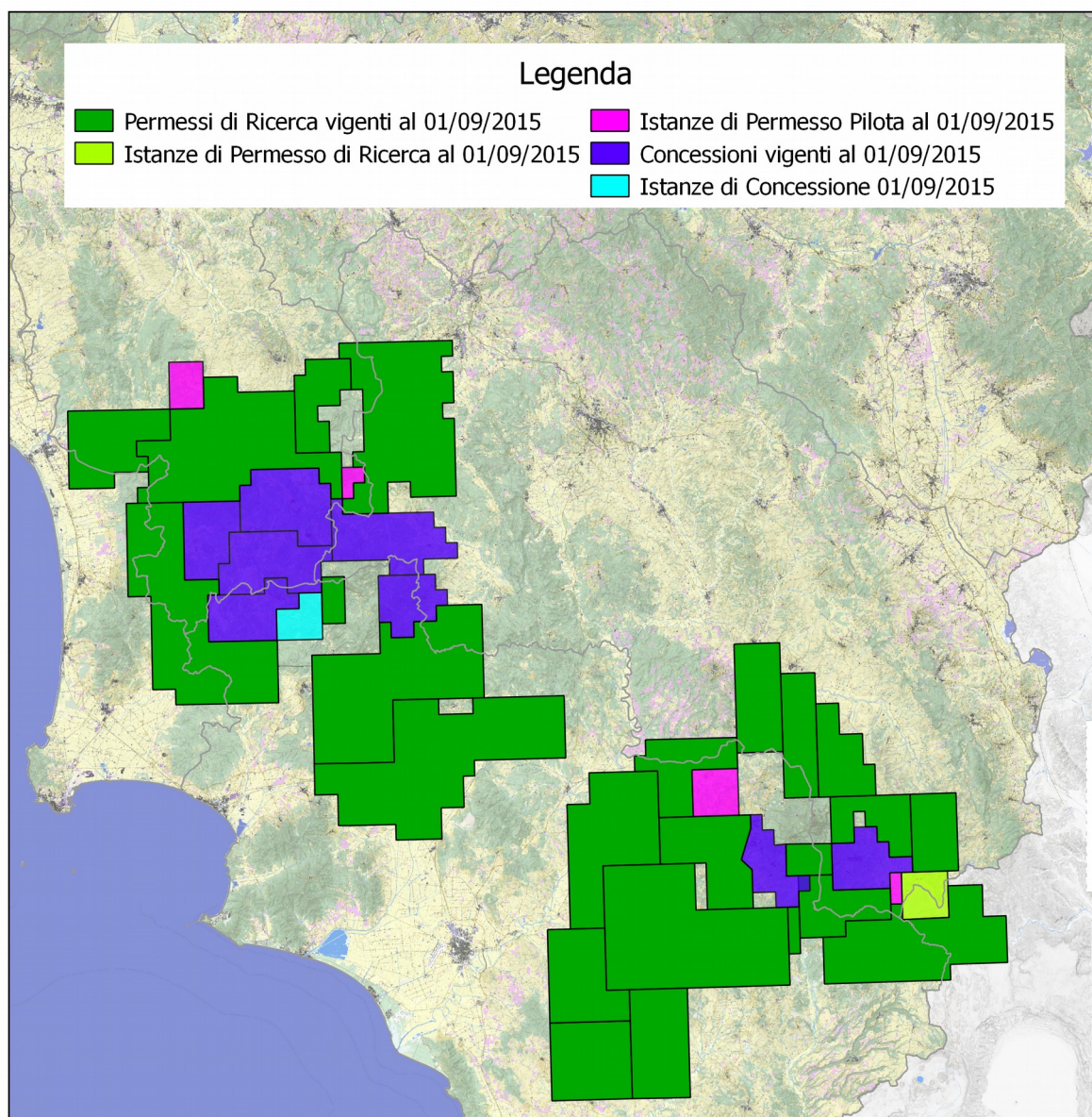


Fig. 16: Mappa riassuntiva Titoli vigenti ed Istanze

conferiti e richiesti.

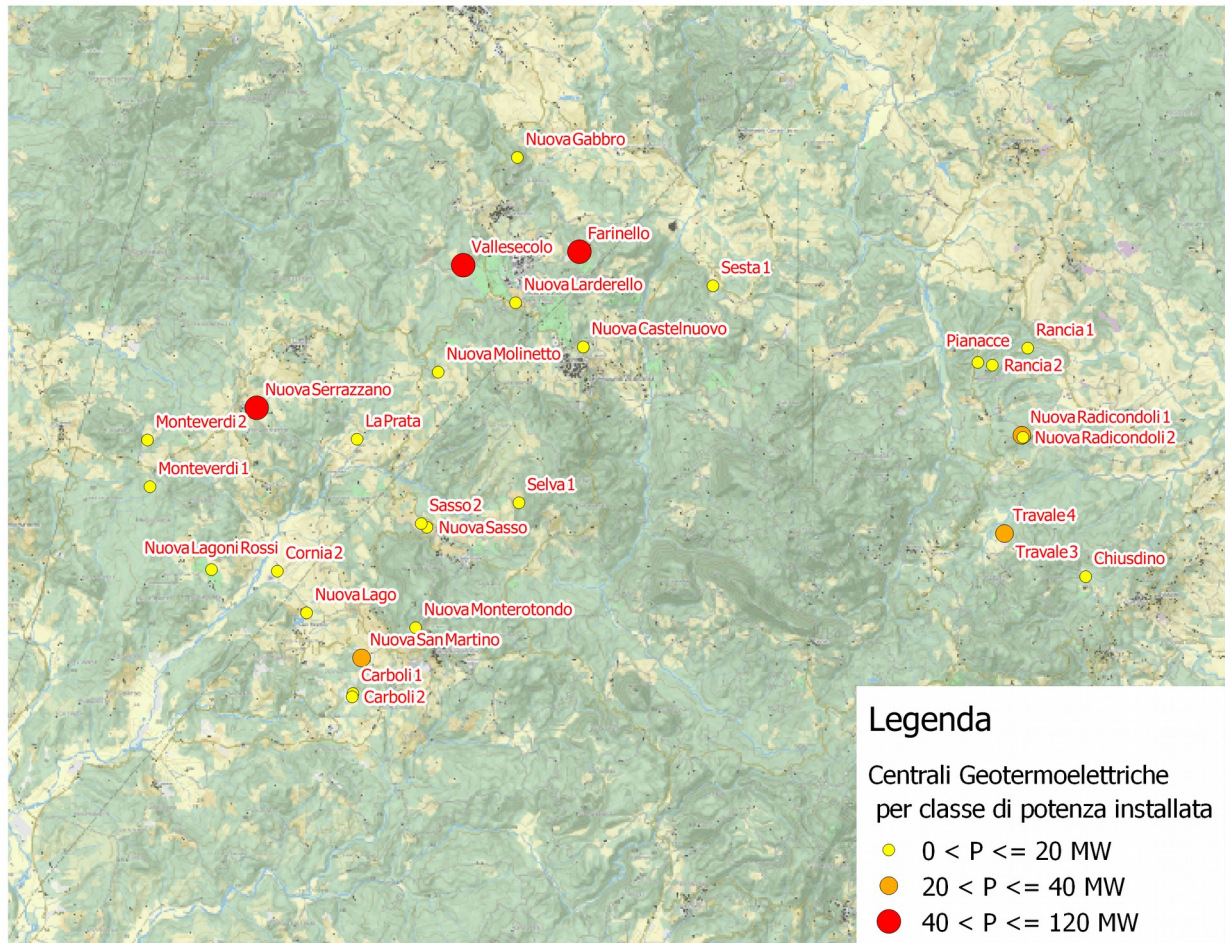
## 2.2 Infrastrutture geotermiche sul territorio

### 2.2.1 Centrali

Per quanto riguarda le infrastrutture geotermiche già presenti sul territorio, risultano ad oggi in funzione 35 impianti geotermoelettrici (37 gruppi), suddivisi tra le provincie di Pisa, Siena e Grosseto, per una potenza nominale totale installata di 915,5 MW: le taglie degli impianti variano da 1 MW dell'Impianto Binario collocato presso la centrale di Bagnore 3 ai 120 MW



della Centrale di Vallesecolo. Tutti gli impianti risultano messi in funzione tra il 1986 (centrale di Rancia 1) ed il 2014 (centrale di Bagnore 4).



*Fig. 17: Centrali per classe di Potenza Nominale aree Larderello – Radicondoli*

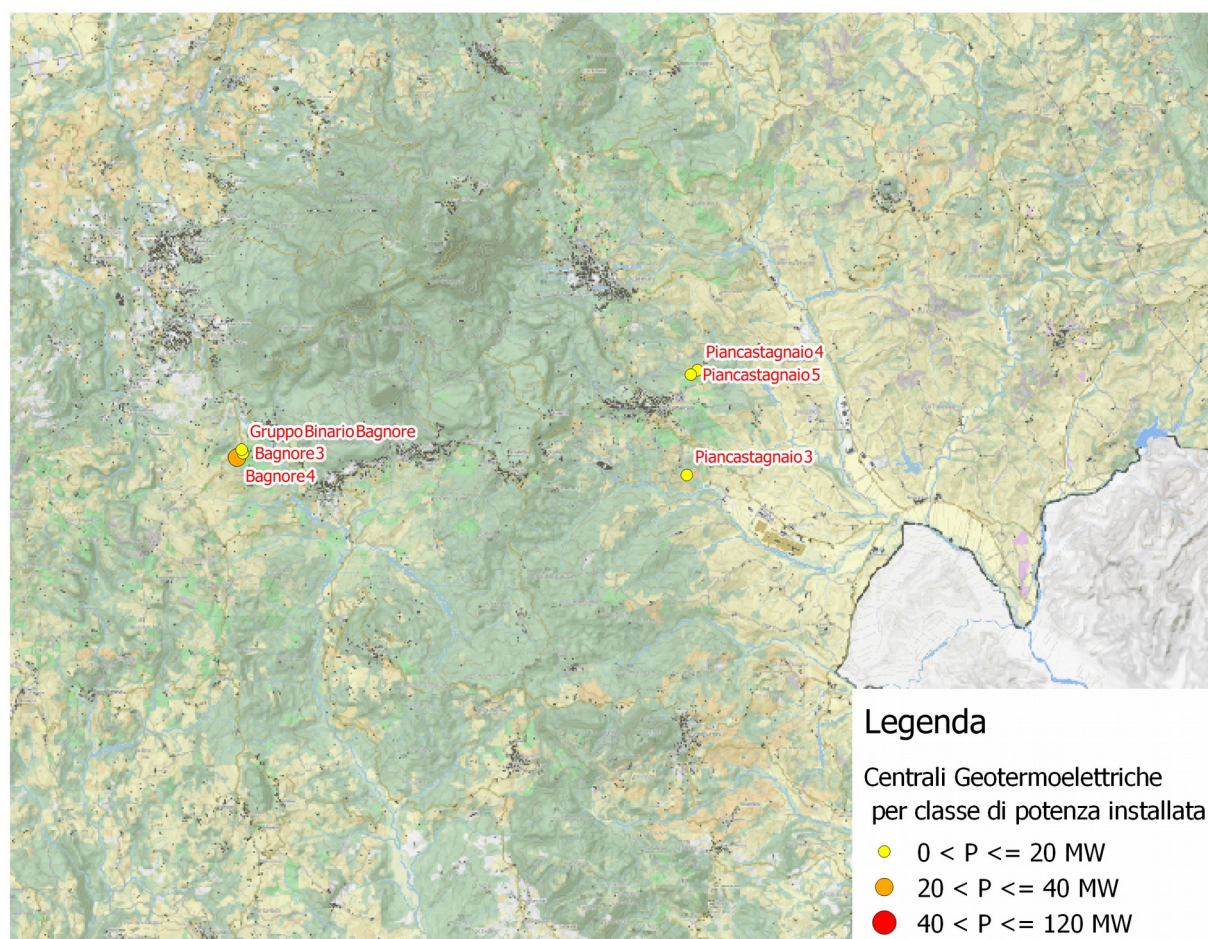


Fig. 18: Centrali per classe di Potenza Nominale area Amiata

### 2.2.2 Catasto Regionale Pozzi Geotermici

Un primo importante risultato raggiunto dal presente studio è costituito dall'integrazione, l'aggiornamento e la georeferenziazione dei dati del “*Catasto Regionale dei Pozzi Geotermici*”.

Al fine di redarre un quadro esaustivo ed aggiornato sulla distribuzione e tipologia dei pozzi presenti sul territorio regionale si è provveduto ad effettuare un lavoro di raccolta e analisi incrociata dei dati presenti nell'*Inventario delle Risorse Geotermiche* (UNMIG), nella *Banca Dati Regionale della Geotermia a Bassa Entalpia* (BDPGS) e nella *Banca Dati ENEL* (anno 2010). I dati così ottenuti sono stati successivamente aggiornati ed integrati tramite la ricerca e consultazione di tutti i Decreti Autorizzativi inerenti ai pozzi geotermici pubblicati dal 1998 ad oggi dal Dirigente del Settore Autorità di Vigilanza sulle Attività Minerarie.

Tale lavoro ha portato in ultima analisi alla costruzione di un data-base contenente le informazioni su circa 1000 pozzi distribuiti sul territorio regionale. In particolare, per ogni pozzo si sono ricercate le informazioni inerenti:

- il nome del pozzo;



- il titolo minerario di riferimento;
- la provincia di appartenenza;
- le coordinate geografiche;
- l'ubicazione (terra/mare);
- l'operatore geotermico;
- la tipologia di autorizzazione ricevuta per lo scavo (competenza ministeriale/regionale);
- l'anno di scavo;
- la profondità;
- la destinazione d'uso;
- l'esito minerario (produttivo/non produttivo);
- lo stato (connesso/non connesso alla rete).

Per quanto riguarda, nello specifico, la destinazione, i pozzi, per i quali si è riusciti a reperire tale informazione, sono stati classificati in sei distinte tipologie riportate nella seguente tabella.

<b>Destinazione Pozzo:</b>
<i>Pozzi per produzione energia elettrica e/o calore</i>
<i>Pozzi di Reiniezione</i>
<i>Pozzi per controllo di campo</i>
<i>Pozzi per altri scopi e/o chiusi temporaneamente</i>
<i>Pozzi destinati alla chiusura o con chiusura mineraria o distrutti</i>
<i>Pozzi con destinazione da definire</i>

*Tabella 10: Tipologia di destinazione pozzi catasto*

Per alcune tipologie di destinazione, in virtù dei dati forniti dal Settore Autorità di Vigilanza sulle Attività Minerarie è disponibile un maggior dettaglio sulle destinazioni d'uso.

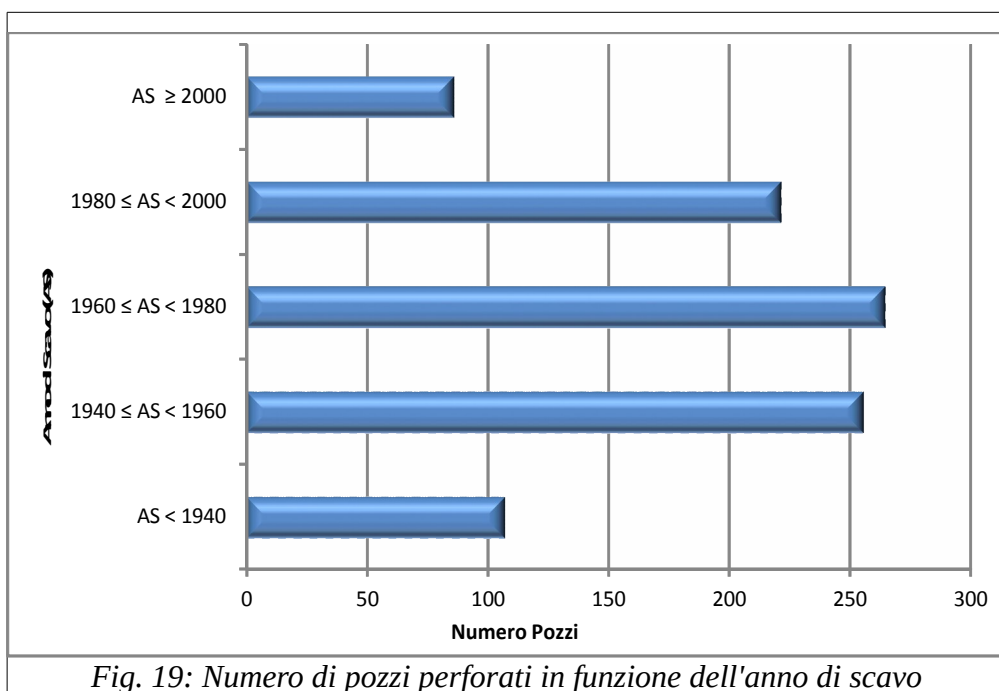
La georeferenziazione dei pozzi è stata effettuata a partire dai valori di latitudine e longitudine riferiti al sistema Monte Mario (EPSG:4265) reperiti nelle schede dei pozzi geotermici dell'elenco pubblicato sul sito web del MISE

per i pozzi autorizzati prima del 1998 e nel testo dei decreti ministeriali per quelli autorizzati dal 1998 ad oggi. Le coordinate così ottenute sono state successivamente riconvertite nel sistema Monte Mario Italy 1 (EPSG: 3003).

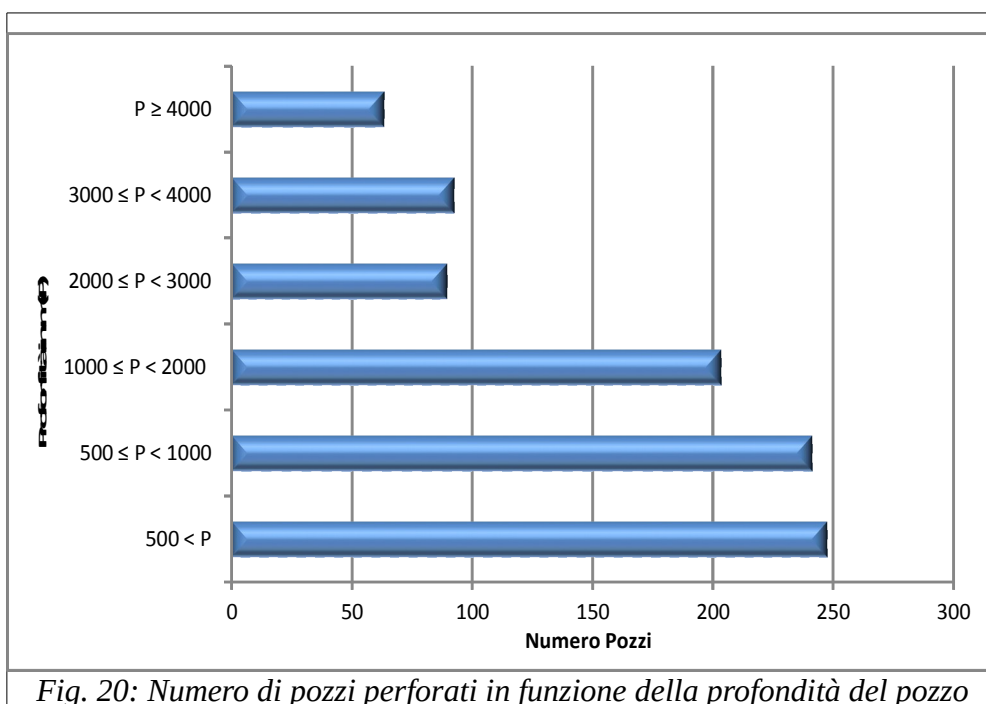
Per correggere l'errore di conversione, generato dalla trasformazione di coordinate cartesiane in polari, si è poi provveduto all'elaborazione di un file shape che è stato sovrapposto a quello trasmesso da ENEL all'Autorità di Vigilanza nel 2010 per l'aggiornamento dei dati del Catasto Regionale dei Pozzi. Il confronto tra i due file ha permesso di correggere manualmente le coordinate di ciascun pozzo facendole coincidere esattamente con quelle ufficiali di ENEL. Al fine di migliorare ulteriormente la precisione della georeferenziazione, lo shape risultante è stato sovrapposto all'ortofotocarta OFC 2013 di proprietà dell'Agenzia delle Erogazioni in Agricoltura (AEGEA) disponibile sul web-gis regionale GEOscopio. Quest'ultima analisi ha così permesso di affinare ulteriormente la precisione della localizzazione geografica dei pozzi correggendo manualmente le coordinate dei pozzi erroneamente georeferiti o di quelli che ricadevano al di fuori delle piazzole.

Analizzando il numero dei pozzi perforati in funzione dell'anno di scavo (Fig. 19) si evince che la maggior parte dei pozzi sono stati scavati tra il 1940–2000 (79% del totale) . Più in particolare, il 28% nel ventennio 1960–1980, il 27% nel ventennio 1940–1960 e il 24% nel ventennio 1980–2000. Dal 2000 ad oggi si assiste ad una generale diminuzione del numero dei pozzi scavati per anno. Tale evidenza è probabilmente imputabile alla diffusione di un how-know metodologico e all'avanzamento tecnologico delle strumentazioni disponibili per l'individuazione e la caratterizzazione della risorsa che, aumentando il tasso di successo dei pozzi perforati, hanno fatto diminuire il numero generale delle perforazioni.





Analizzando invece il numero di pozzi in funzione della profondità raggiunta (Fig. 20) si evince che il 26% dei pozzi hanno una profondità inferiore ai 500 m, un altro 26% hanno una profondità compresa tra 1 500 e i 1000 m, il 22% tra i 1000 e i 2000 m, il 10% tra i 3000 e i 4000 m, il 9% tra i 2000 e i 3000 m e solamente il 7% dei pozzi supera i 4000 m di profondità.



Analizzando i valori di profondità dei pozzi in funzione dell'anno di scavo (Fig x) si registra tra le due variabili una correlazione positiva, che ( $r^2 = 0,5984$ ) con un progressivo aumento nel tempo della profondità media dei pozzi scavati (Fig 21).

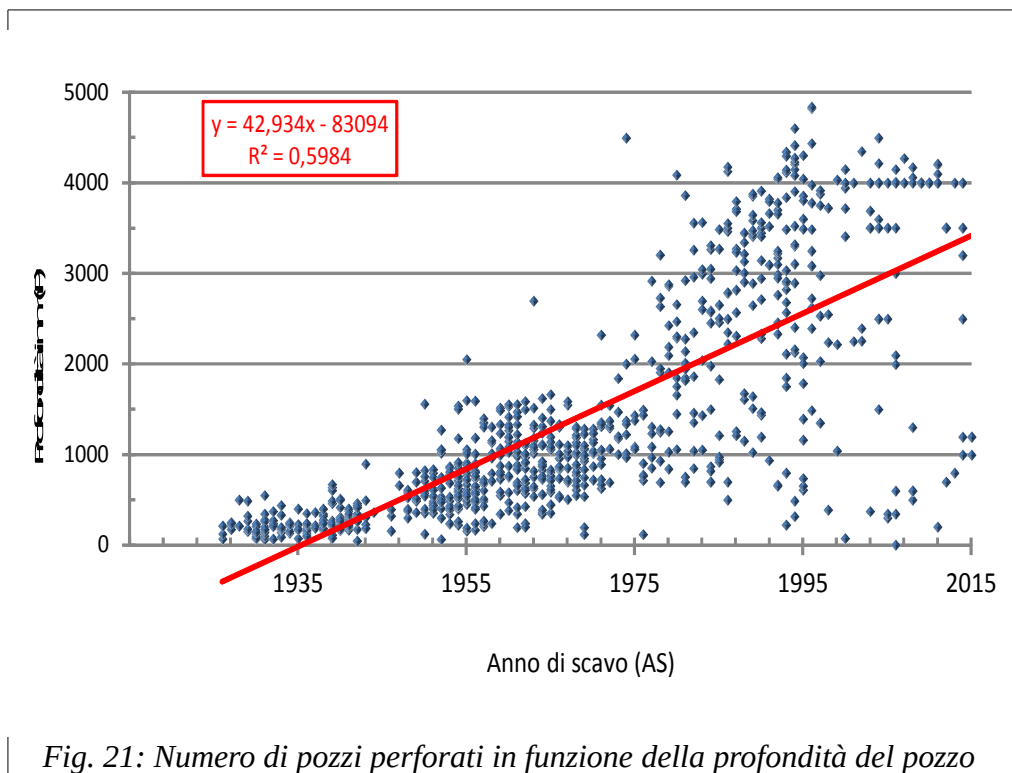


Fig. 21: Numero di pozzi perforati in funzione della profondità del pozzo

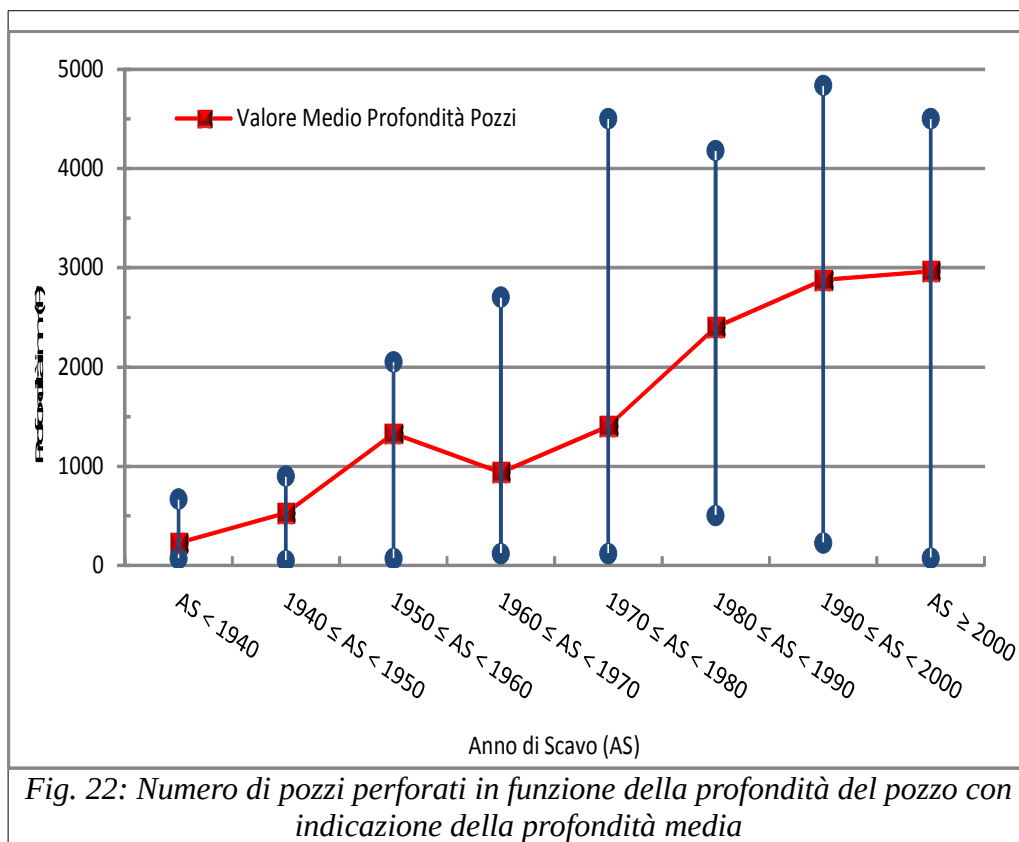
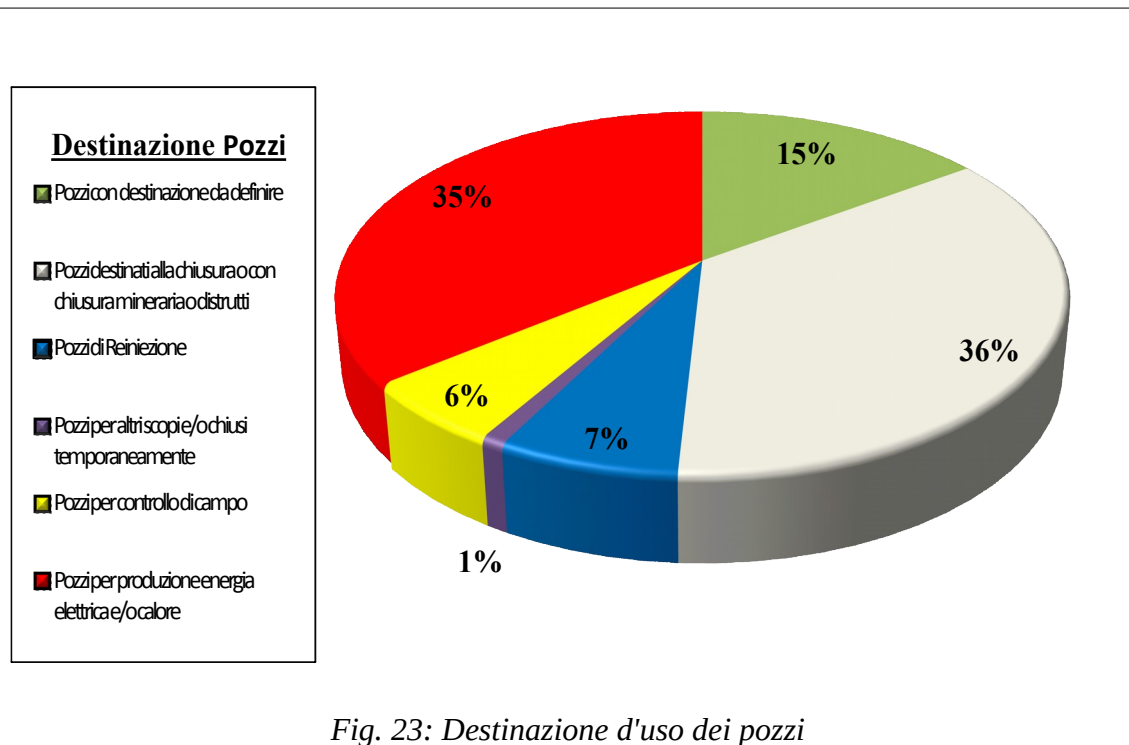


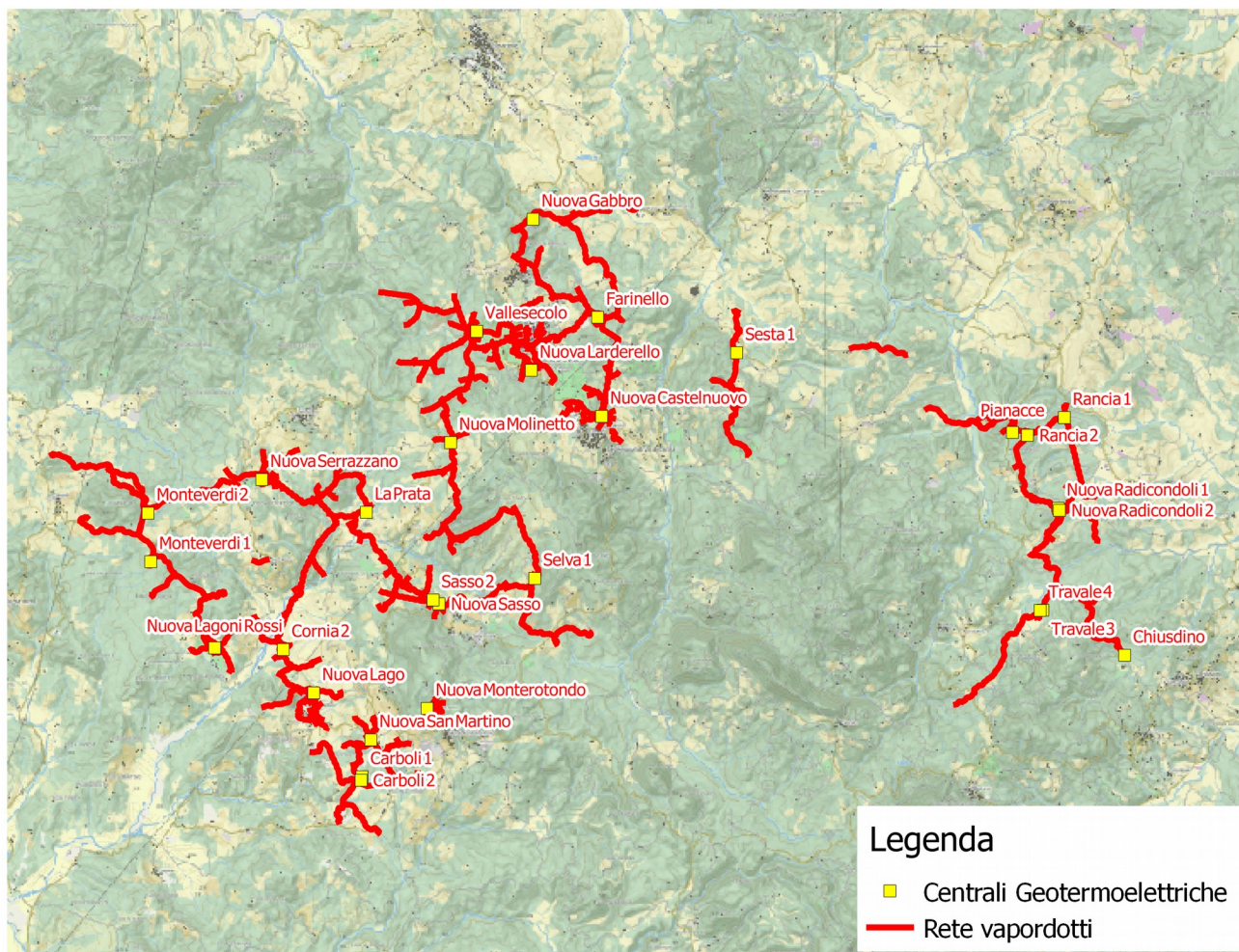
Fig. 22: Numero di pozzi perforati in funzione della profondità del pozzo con indicazione della profondità media

Analizzando invece la destinazione d'uso dei pozzi perforati (Fig 23) si registra che il 36% dei pozzi sono destinati a chiusura mineraria, sono stati chiusi minerariamente o sono stati distrutti, il 35% sono destinati alla produzione di energia elettrica o calore, il 15% hanno destinazione da definire, il 7% sono pozzi di reiniezione, il 6% sono destinati al controllo campo e l'1% sono pozzi perforati per altri scopi o chiusi temporaneamente.



### 2.2.3 Vapordotti

I pozzi produttivi sono collegati con gli impianti e le centrali attraverso una rete di vapordotti lunga, in totale, circa 500 km e rappresentata schematicamente nelle successive figure (il tematismo dei vapordotti è stato ottenuto digitalizzando l'Ortofotocarta AGEA 2013).



*Fig. 24: Rete Vapordotti aree Larderello - Radicondoli*



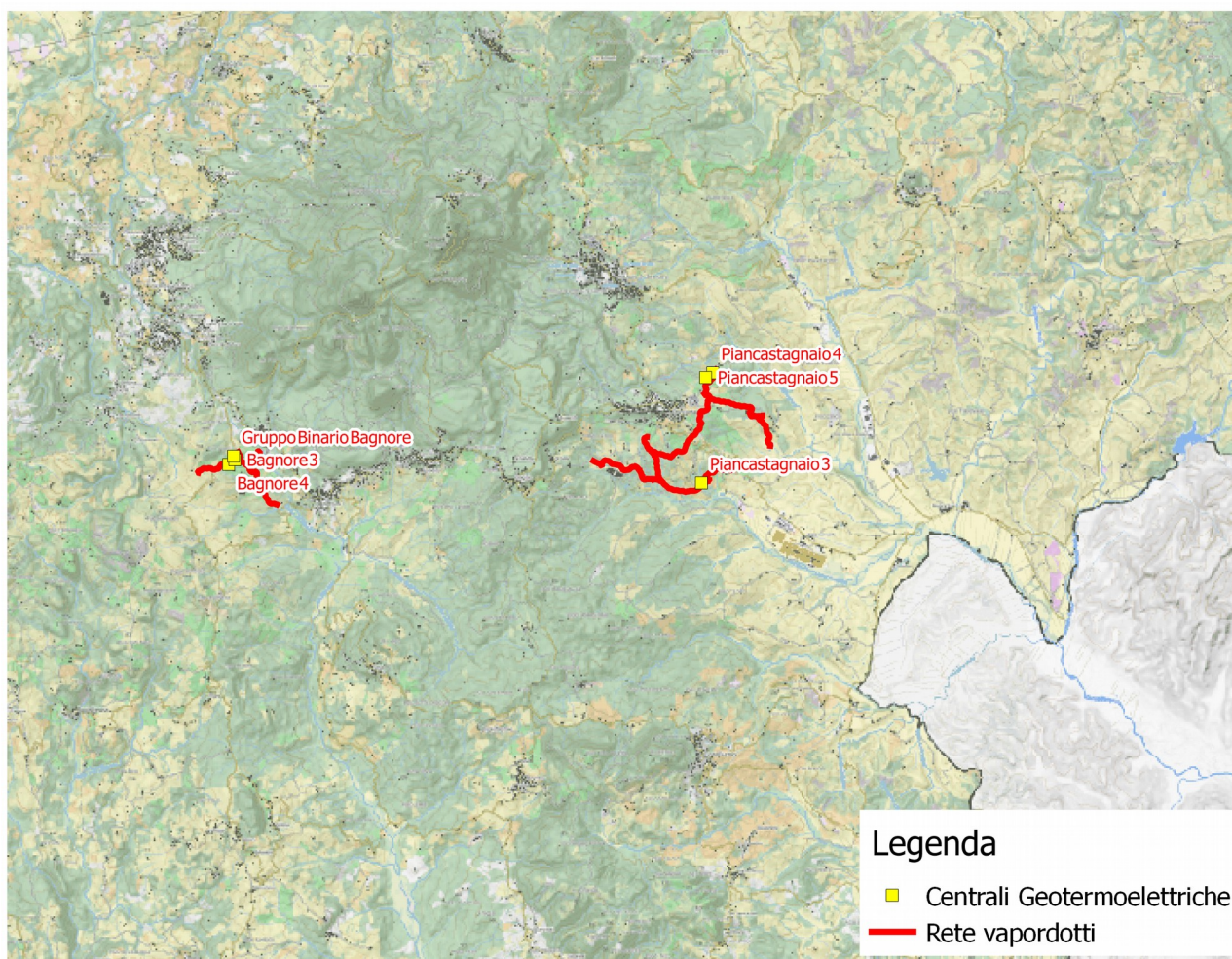


Fig. 25: Rete Vapordotti aree Larderello - Radicondoli

#### 2.2.4 Reti di Teleriscaldamento

La rete di vapordotti, oltre a raggiungere i 35 impianti per la produzione di energia elettrica, alimenta anche le reti di teleriscaldamento di 6 comuni (Santa Fiora, Montieri, Monterotondo Marittimo, Pomarance, Castelnuovo Val di Cecina, Monteverdi Marittimo) nonché numerose utenze di uso diretto.

### 2.3 Vincoli ambientali e paesaggistici

#### 2.3.1 L'implementazione paesaggistica del PIT

Con D.C.R. n. 37 del 27 marzo 2015 è stata approvata l'integrazione del PIT con valenza di Piano Paesaggistico, pubblicata sul B.U.R.T. n° 28 del 20/05/2015. Il Piano Paesaggistico riconosce gli aspetti, i caratteri peculiari e le caratteristiche paesaggistiche del territorio regionale, e ne delimita i relativi ambiti, in riferimento ai quali predispone specifiche normative d'uso ed adeguati obiettivi di qualità. Il Piano Paesaggistico, è, ai sensi del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (D.Lgs 42/04), e dei suoi contenuti "copianificati" con il Ministero competente, piano sovraordinato cui sono tenuti a conformarsi gli altri piani e programmi di livello regionale e locale.

**Il piano è organizzato su due livelli, quello regionale e quello d'ambito.**

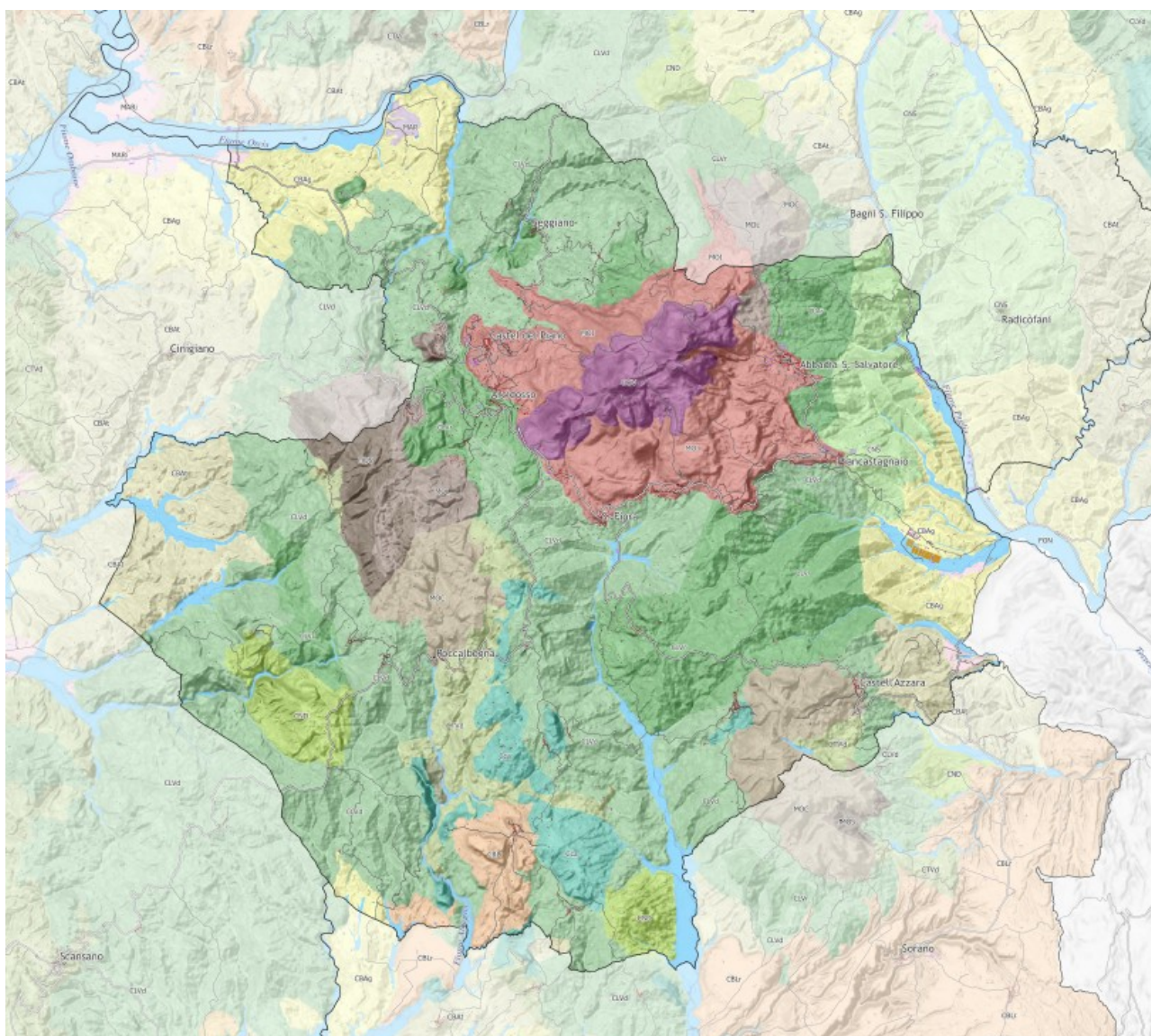
- **Il livello regionale a sua volta è articolato in una parte che riguarda l'intero territorio regionale, trattato in particolare attraverso il dispositivo delle “invarianti strutturali”, da considerare quali regole che informano ordinariamente la trasformazione del territorio e una parte che riguarda invece i “beni paesaggistici”, formalmente riconosciuti in quanto tali. Infatti, il piano contiene anche la cosiddetta “vestizione”, ovvero la codificazione della descrizione, interpretazione e disciplina dei beni paesaggistici vincolati ai sensi di specifici decreti (art.136 Codice BCP) o di legge, previsti dalla cosiddetta legge Galasso per determinate categorie di beni (territori costieri, fiumi torrenti e corsi d'acqua, i territori coperti da foreste e boschi, ecc.), (art.142 Codice BCP).**
- **A livello d'ambito, il Piano Paesaggistico divide il territorio regionale in 20 ambiti di paesaggio; per ogni ambito è stata redatta una specifica Scheda, che approfondisce le elaborazioni di livello regionale attraverso un'analisi di maggior dettaglio delle interrelazioni territoriali al fine di sintetizzarne i relativi valori e criticità, nonché di formulare specifici obiettivi di qualità e la relativa disciplina.**

### **2.3.2 Il livello regionale del P.P. e la risorsa geotermica**

**La prima invariante strutturale è pertinente al supporto geomorfologico del territorio toscano, ovvero alla base fisica del paesaggio, alla sua “ossatura”. La geomorfologia della Toscana, come per altra realtà, è il risultato di una storia geologica piuttosto lunga e complessa. Ognuno dei sistemi morfogenetici, i cosiddetti morfotipi descritti, rappresenta un elemento obiettivamente riconoscibile della struttura fisica del paesaggio, della sua “ossatura”, nella ricerca dell'inevitabile compromesso tra esattezza analitica e sintesi interpretativa.**

**In alcuni morfotipi (Collina calcarea, Montagna calcarea e Montagna ignea), si riconosce l'importanza del ruolo strategico nell'alimentazione di grandi acquiferi profondi, compresi quelli dei sistemi geotermici; la Montagna ignea del Monte Amiata è legata ai fenomeni geotermali ed alle mineralizzazioni, in cui processi naturali e soprattutto lo sfruttamento minerario e geotermico, passato e attuale, possono creare rischi d'inquinamento del territorio e delle acque. Per esemplificazione si allegano le carte relative all'ambito dell'Amiata.**





## I Invariante Strutturale – Carta dei sistemi morfogenetici dell'Amiata



## Collina Calcareia (Cca)



## Montagna Calcareo (MOC)



## Montagna Ignea (MOI)

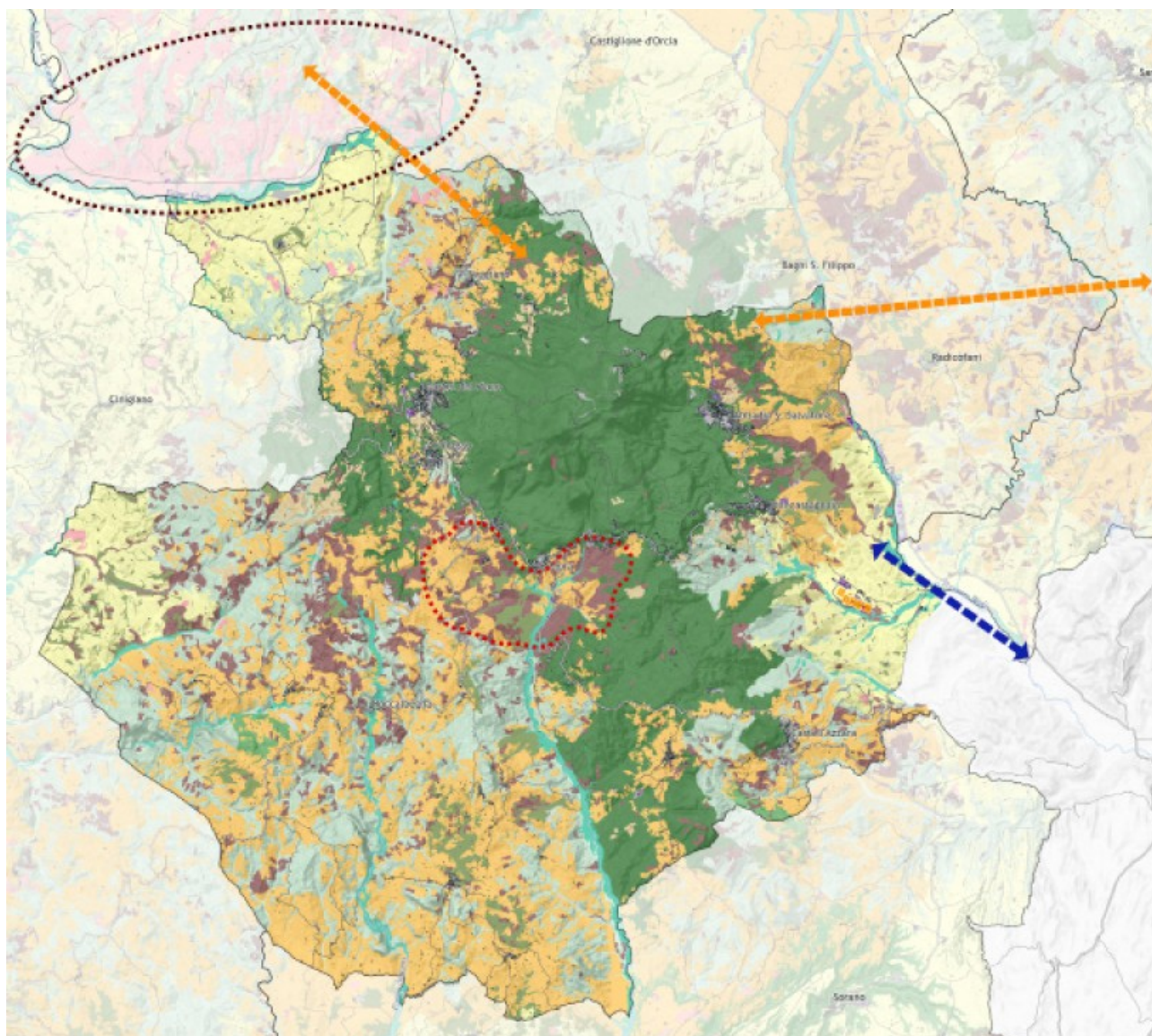
**Fig. 26: Invariante strutturale – Carta dei sistemi morfogenetici dell'Amiata**

**I caratteri ecosistemici del paesaggio (Il invariante strutturale) individuano gli ecosistemi naturali seminaturali o antropici quali principali morfotipi ecosistemici, descrivendone il contributo alla caratterizzazione dei paesaggi toscani, i valori naturalistici, le criticità e gli obiettivi di conservazione.**

**Gli ambienti geotermali, come i siti geotermali della Val d'Orcia o di Monterotondo M.mo, (ad es. nella zona di Larderello, Pomarance e del Monte Amiata) sono ricchi di emergenze naturalistiche, e in grado di contribuire alla costruzione di rari paesaggi minerari e geotermali, caratterizzati dalla**



presenza di “campi di lava”, fumarole, sorgenti sulfuree e da habitat attivi di travertino. I paesaggi rupestri comprendono spesso importanti sistemi ipogei (grotte, cavità, ecc.), siti estrattivi o minerari abbandonati di interesse naturalistico e i caratteristici ecosistemi geotermali. Per gli ecosistemi geotermali, le principali criticità sono legate alla presenza di attività per lo sfruttamento geotermico (centrali geotermiche e campi pozzi) o di attività e centri per il turismo termale con captazione di risorse idriche e alterazione dei rari habitat geotermali. Pertanto, le indicazioni per le azioni segnalano la necessità della tutela delle emergenze geotermali e il miglioramento dei livelli di sostenibilità ambientale degli impianti geotermici e dell'industria turistica geotermale



*Fig. 27: II Invariante Strutturale - Carta della rete ecologica dell'Amiata*

### **2.3.3 I Beni paesaggistici e la risorsa geotermica**

L'elaborato 8B” Disciplina dei beni paesaggistici” del Pit, prevede, all'interno



di alcune categorie di beni (art. 142 del Codice), direttive e prescrizioni d'uso tese ad assicurare la conservazione dei caratteri distintivi di dette categorie e, compatibilmente con essi, la valorizzazione. In generale, le prescrizioni non ammettono interventi di trasformazione in grado di interferire negativamente con la tutela del bene, né con le visuali da e verso lo stesso. In particolare:

- All'articolo 11 “I parchi e le riserve nazionali o regionali, nonché i territori di protezione esterna<sup>1</sup> dei parchi (art.142. c.1, lett. f, Codice)” la direttiva 11.2., punto e), definisce che l'ente parco e gli altri organi istituzionali, ove competenti, provvedono a definire strategie, misure e regole/discipline volte a favorire la riqualificazione paesaggistica nelle aree protette delle discariche di cave e miniere abbandonate; si prescrive che nei parchi e nelle riserve nazionali o regionali non è ammessa l'apertura di nuove cave e miniere.
- All'articolo 10 “I circhi glaciali (art.142. c.1, lett. e, Codice)” le prescrizioni non ammettono la realizzazione di qualunque tipo di costruzione, infrastruttura, impianto, ad esclusione di quelli diretti ad assicurare il mantenimento dello stato dei luoghi e dell'equilibrio ambientale ed idrogeologico, nonché di quelli diretti alla protezione della flora e della fauna; l'apertura di nuove strade e piste forestali permanenti; qualunque attività in grado di modificare gli assetti geomorfologici e paesaggistici dei circhi glaciali; l'apertura di nuove cave e miniere, né l'ampliamento di quelle autorizzate. Nei circhi glaciali il mantenimento delle attività di cava e miniera autorizzate è subordinato a piani di coltivazione di cui le autorità competenti verificano la compatibilità paesaggistica anche con riferimento alle fasi di coltivazione.

In merito alle “Zone di interesse archeologico” (art.142. c.1, lett. m, Codice), la disciplina prescrive la non ammissibilità di interventi di trasformazione territoriale che compromettano le relazioni figurative tra il patrimonio archeologico e il contesto di giacenza e la relativa percettibilità e godibilità, nonché la conservazione materiale e la leggibilità delle permanenze archeologiche. Inoltre, nell'allegato H, che costituisce parte integrante e sostanziale della disciplina, per le “zone di interesse archeologico individuate in base ai provvedimenti di vincolo emanati ai sensi della previgente normativa e ora sottoposte alle disposizioni di cui alla Parte terza del Codice” e le “zone di interesse archeologico individuate ai sensi dell'art.142, c.1, lett. m) del Codice sulla base di criteri generali condivisi di cui al precedente punto”, sono individuate singole schede dove si riportano obiettivi, direttive e prescrizioni.

Come esempio si riportano i contenuti della scheda con codice GR1, nel comune di Massa Marittima (ambito 16), “Zona comprendente l'abitato etrusco del Lago dell'Accesa costituito da diversi quartieri ciascuno con le sue necropoli”, dove si prescrive che l’installazione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili è consentita a condizione che sia conforme alle “Norme comuni per l’inserimento paesaggistico degli impianti per la produzione di energie da fonti rinnovabili e l’individuazione dei limiti localizzativi per l’installazione dei medesimi impianti, nelle aree tutelate ai sensi dell’art. 142, comma 1 del D.lgs.42/2004” (quale mera estrapolazione, dal documento avente come oggetto: “Collaborazione nella definizione di atti in materia di installazione di impianti di energia da fonti rinnovabili. Contributo della Direzione Regionale MiBAC, Allegato alla nota prot. 5169 del 23/03/2012 e nota prot.5656 del 30/03/2012”). Le norme sono riferite agli impianti eolici e a biomasse.

Non sono ammessi nuovi siti estrattivi e l’ampliamento di quelli esistenti nei beni archeologici sottoposti alle disposizioni di cui alla parte seconda del D.lgs 42/2004 e s.m.i..

Infine, nell'elaborato 3B “Schede relative agli immobili ed aree di notevole interesse pubblico, esito di perfezionamento svoltosi nell'ambito dei Tavoli tecnici organizzati dalla Regione Toscana con le Soprintendenze territorialmente competenti e con il coordinamento della Direzione Regionale del MiBACT”, la disciplina dei beni paesaggistici (art. 136 del Codice) individua nella risorsa geotermica un valore al quale associare obiettivi con valore di indirizzo finalizzati alla tutela del paesaggio, pur nell'utilizzo della risorsa stessa.

È il caso, per esempio, dei vincoli:

- D.M. 26/09/1959 G.U. 243 del 1959 (ambito 17 Val d'Orcia e Val d'Asso e ambito 19 Amiata) “Zona del Monte Amiata sita nell'ambito dei comuni di Abbadia San Salvatore, Piancastagnaio e Castiglion d'Orcia (Siena)” – Istituito con la seguente motivazione: [...] la zona predetta ha notevole interesse pubblico perché forma un quadro naturale di non comune bellezza panoramica avente anche valore estetico e tradizionale, ed offre dei punti di vista accessibili al pubblico dai quali si può godere un vasto e profondo panorama.
- D.M. 22/05/1959 G.U. 129 del 1959 (ambito 19 Amiata) “Zona del Monte Amiata, sita nell'ambito dei comuni di Seggiano, Castel del Piano, Arcidosso e Santa Fiora (Grosseto)” – Istituito con la seguente motivazione: [...] la zona predetta ha notevole interesse pubblico perché con il suo fitto manto boschivo costituisce un quadro naturale di non comune bellezza panoramica ed offre altresì dei punti di vista

accessibili al pubblico dai quali si può godere un ampio e profondo panorama fino al mare e all'arcipelago Toscano.

La scheda identificativa del vincolo, nella sezione B) “Identificazione dei valori e valutazione della loro permanenza/trasformazione”, riconosce nella “Strutture del paesaggio e relative componenti – geomorfologia”, che l’edificio vulcanico dell’Amiata è sede di un campo geotermico attivo tra i più importanti della regione. Pertanto, la sezione C) “Obiettivi per la tutela e la valorizzazione – disciplina d’uso (art.143 c.1 lett. b, art.138 c.1)” individua il seguente obiettivo con valore di indirizzo: “Utilizzare la risorsa geotermica ad alta e media entalpia minimizzando gli impatti sul sistema ambientale, idrogeologico e paesaggistico”, demandando agli enti territoriali e i soggetti pubblici, negli strumenti della pianificazione, negli atti del governo del territorio e nei piani di settore, ciascuno per propria competenza, di provvedere a:

- valutare lo sfruttamento della risorsa geotermica ad alta e media entalpia rispetto ai possibili impatti sulle risorse naturali;

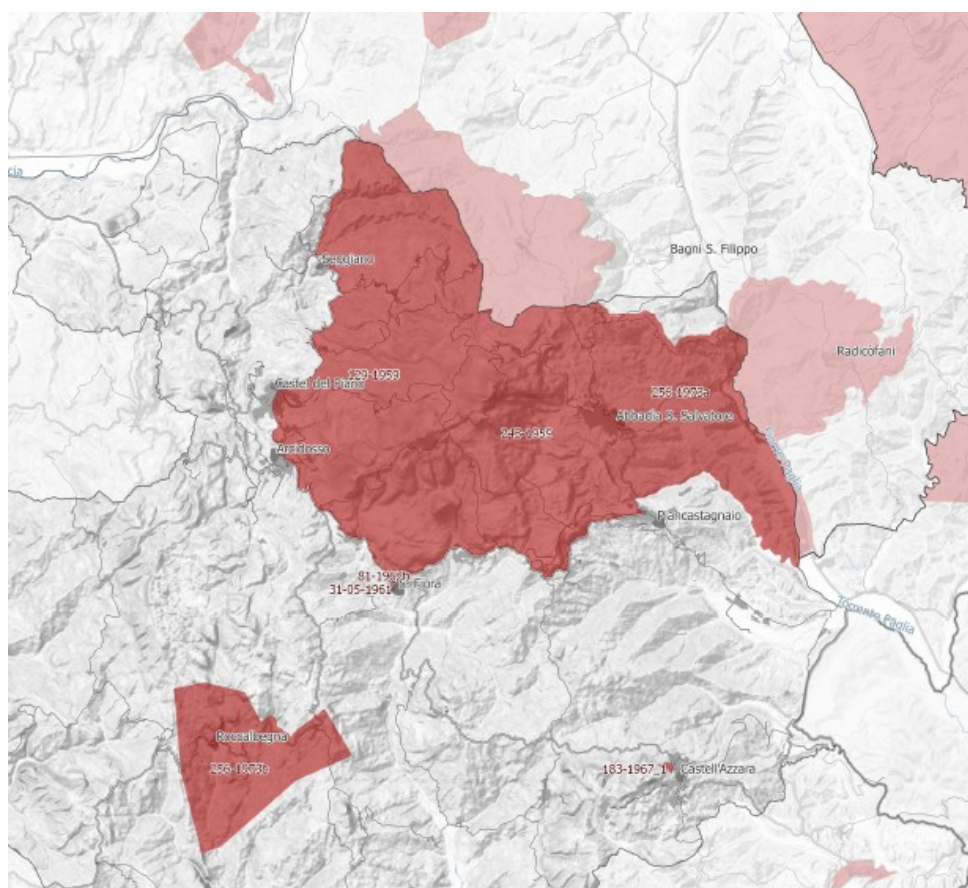


Fig. 28: Perimetro dei vincoli art. 136 del Codice nella zona dell'Amiata

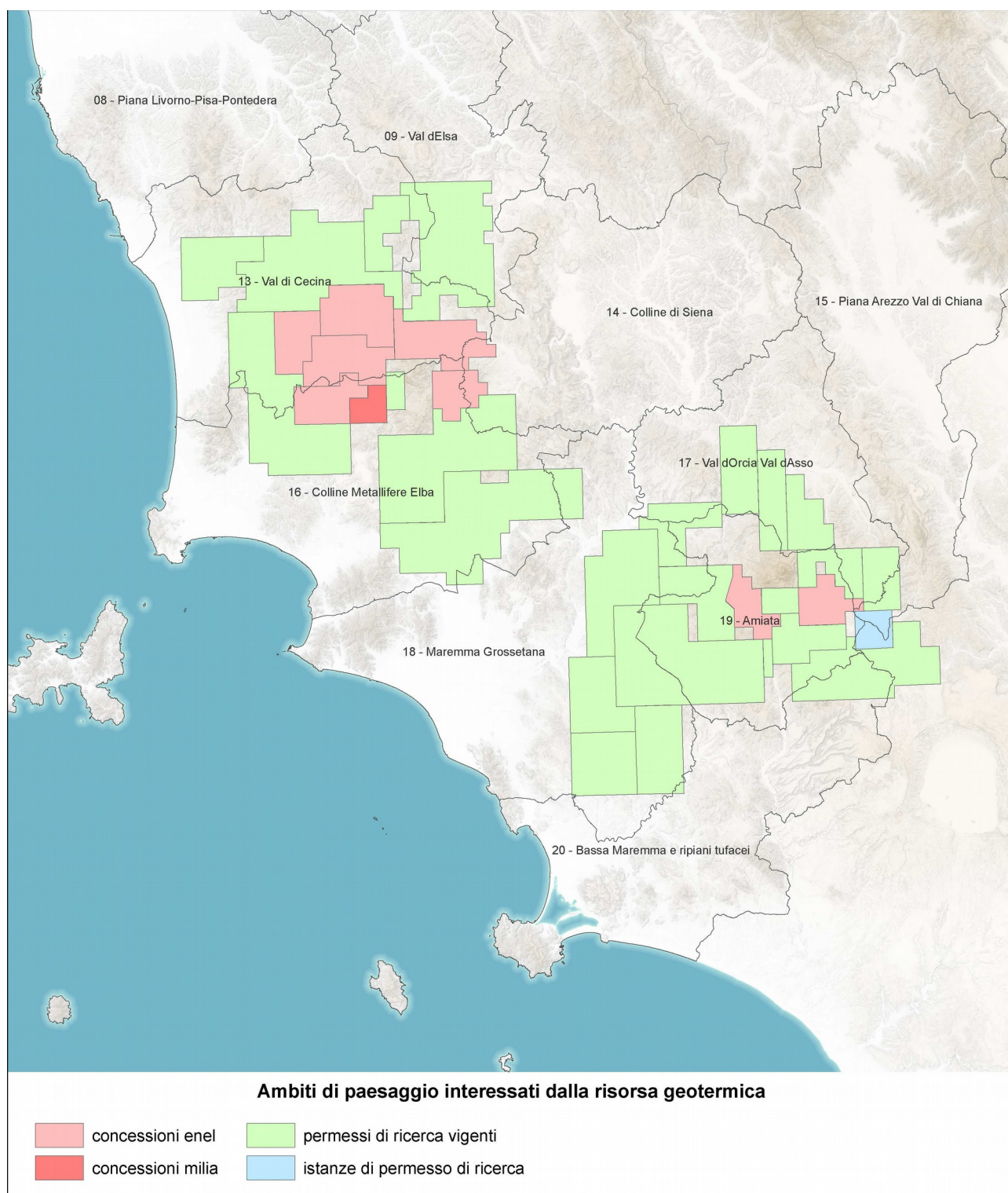
- realizzare impianti e strutture di sfruttamento della risorsa geotermica con criteri di compatibilità ambientale e paesaggistica, anche attraverso l'utilizzo di soluzioni tecnologiche innovative e una costante

**attività di ricerca finalizzate alla riduzione degli impatti.**

#### **2.3.4 Il livello d'ambito del P.P. e la risorsa geotermica**

**Le province interessate dalla presenza della risorsa geotermica sono Grosseto, Livorno, Pisa e Siena; gli ambiti di paesaggio interessati dalla risorsa geotermica sono:**

- **AMBITO 9 - Val d'Elsa**
- **AMBITO 13 - Val di Cecina**
- **AMBITO 14 - Colline di Siena**
- **AMBITO 15 - Piana di Arezzo e Val di Chiana**
- **AMBITO 16 - Colline metallifere e Elba**
- **AMBITO 17 - Val d'Orcia e Val d'Asso**
- **AMBITO 18 - Maremma Grossetana**
- **AMBITO 19 - Amiata**
- **AMBITO 20 - Bassa Maremma e ripiani tufacei**



*Fig. 29: Ambiti di paesaggio interessati dalla risorsa geotermica*

Come si evince dal quadro conoscitivo delle schede d'ambito, spesso, la risorsa è utilizzata a scopi termali. Infatti, la presenza della risorsa geotermica ha permesso l'importante sviluppo dell'industria turistica termale in molti ambiti del territorio regionale: ambiti 9, 14, 15, 17, 18 e 20.

In tali ambiti si riconosce la presenza di fenomeni geotermali e di bagni

termali conosciuti fin da epoca etruscoromana (ambito 9) o comunque di strutture termali di origine storica come quelle poste nelle località di Chianciano Terme, Montepulciano, Sant'Albino, San Casciano dei Bagni (ambito 15), Bagno Vignoni, Rocca d'Orcia, Ripa d'Orcia e tra Campiglia d'Orcia e Bagni San Filippo (ambito 17), terme di Roselle (ambito 18) e Saturnia (ambito 20).

Storicamente, le dinamiche di espansione degli insediamenti hanno teso a concentrarsi attorno a poli minerari (estrattivi e di sfruttamento geotermico), all'inizio incentrato sullo sfruttamento delle acque termali, utilizzate a scopi terapeutici già dagli etruschi e dai romani, a cui seguì uno sfruttamento dei minerali associati alle manifestazioni geotermiche a partire dal Medioevo. Lo sfruttamento costituisce, oltre che una risorsa, anche un elemento di criticità per la captazione di sorgenti, la riduzione delle loro portate e l'alterazione di aree geotermali caratterizzate da importanti habitat ed ecosistemi. Pertanto, gli indirizzi per le politiche sono tesi a: valorizzare e recuperare le strutture termali di origine storica e garantire azioni volte alla stabilità delle risorse geotermali; garantire la permanenza delle risorse geotermali necessarie alla conservazione dei caratteristici habitat ed ecosistemi geotermali, con l'obiettivo (ambito 14) di "Garantire la permanenza e la riproduzione delle risorse geotermali, nonché la preservazione dei valori estetico-percettivi ad esse legate".

Negli ambiti 13, 16 e 19 troviamo, invece, il più diffuso utilizzo della risorsa per scopi di produzione di energia elettrica.

- La strutturazione geologica e geomorfologica della Val di Cecina (ambito 13) ha favorito l'insorgere di manifestazioni geotermiche per cui l'ambito è noto al mondo. Importanti manifestazioni geotermiche sono presenti nella zona di Sasso Pisano e Monterotondo Marittimo (SIR Campi di alterazione geotermica di Monterotondo e Sasso Pisano); Larderello e Travale - Radicondoli sono tra i campi geotermici più importanti di Italia, le sorgenti sulfuree di Micciano e di Libbiano, nella zona di Pomarance, e le sorgenti termali di Sasso Pisano, furono già sfruttate in epoca ellenistica. Pur in un contesto di elevata naturalità, le rilevanti attività antropiche legate anche allo sviluppo dell'industria geotermica, hanno condizionato il paesaggio della Val di Cecina e i suoi valori ecosistemici, come la zona di Larderello, dove il paesaggio collinare e montuoso è oggi dominato dagli impianti geotermici. Storicamente, i fanghi e le acque ricche di minerali idrotermali vennero utilizzati a scopi terapeutici già dagli etruschi e dai romani, a cui seguì uno sfruttamento dei minerali associati alle manifestazioni geotermiche a partire dal Medioevo. Il XX secolo, con l'inizio dello

sfruttamento delle risorse geotermiche per scopi di produzione di energia elettrica, ha comportato la trasformazione del paesaggio dell'alta Val di Cecina, nei territori collinari e montuosi a cavallo tra i comuni di Monteverdi Marittimo, Pomarance, Castelnuovo Val di Cecina e Radicondoli e ha determinato un notevole incremento edilizio in capoluoghi e frazioni. Larderello, sede della prima esperienza al mondo di sfruttamento dell'energia geotermica per la produzione di energia elettrica, si sviluppa quando il principe Ginori-Conti progettò un motore accoppiato ad una dinamo in grado di trasformare la forza del vapore in energia elettrica. Importante è l'esperienza del Villaggio di Larderello, sorto intorno agli omonimi stabilimenti, che rappresenta un notevole momento di pianificazione: a metà degli anni '50, anche per porre rimedio alle distruzioni belliche, viene progettato un nuovo insediamento operaio, distribuito nel verde e abbondantemente provvisto di servizi. Oggi, nei territori comunali di Monteverdi e Pomarance (in particolare nella zona di Larderello) esistono diverse centrali in attività che conferiscono al paesaggio dei soffiatori un aspetto industriale diffuso per la presenza delle torri di raffreddamento delle centrali elettriche, dalle dimensioni ragguardevoli, e dei condotti di vapore che si snodano in lunghi percorsi subaerei nell'alta valle della Cecina; l'impatto paesaggistico rispetto all'ambiente naturale circostante è importante, con conseguenze in termini di consumo di suolo agricolo pascolivo di alto valore, artificializzazione del paesaggio e impatto sulle risorse idriche, configurando nel tempo paesaggi artificiali di forte impatto unici nel loro genere. Alcune criticità dell'ambito sono legate a fenomeni di inquinamento naturale, legati alla presenza di elementi quali boro e cloruri nelle acque superficiali e di mercurio e arsenico nei sedimenti (sostanze legate agli affioramenti di ofioliti e ai giacimenti minerari e geotermici); all'espansione consistente degli insediamenti localizzati nei fondovalle secondo criteri legati allo sfruttamento delle risorse minerarie e geotermiche. Gli indirizzi per le politiche, al fine di tutelare gli elevati valori ecologici e paesistici dei sistemi forestali, indicano azioni volte ad assicurare, tra l'altro, la mitigazione degli effetti di frammentazione degli ecosistemi forestali e delle aree agricole ad alto valore naturale, legati anche allo sviluppo del settore geotermico.

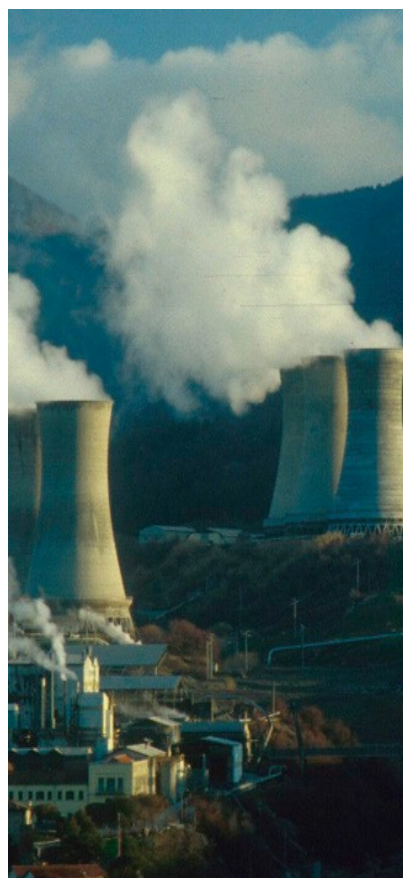




*Fig. 30: Centrale geotermica di Castelnuovo Val di Cecina, nell'alto bacino del Torrente Pavone*



*Fig. 31: Attività geotermica nei rilievi nei pressi di Radicondoli*

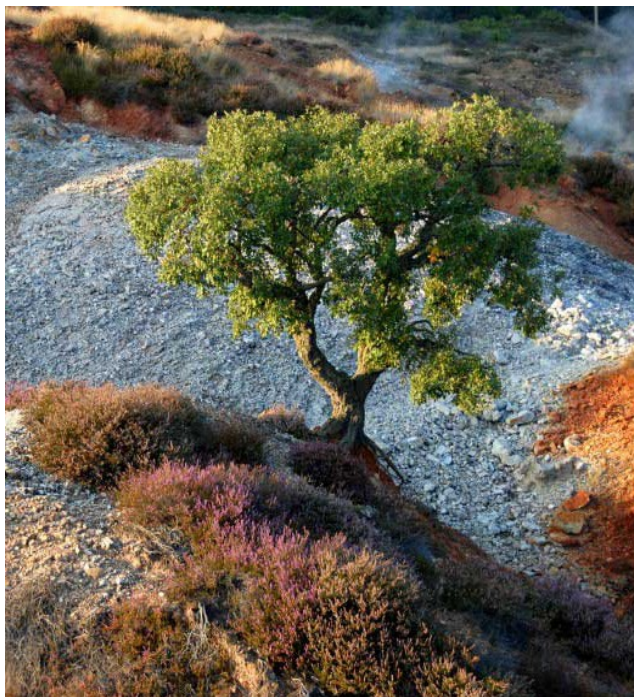


*Fig. 32: Larderello, impianti geotermia*



- **Nelle Colline metallifere e Elba (ambito 16) le manifestazioni della Provincia Magmatica Toscana (PMT), molto recenti e intense, rappresentano l'agente principale nella formazione del rilievo moderno, e sono anche all'origine delle diffuse mineralizzazioni, della storia mineraria delle Colline Metallifere e della presenza dei campi geotermici. I sistemi calcarei rappresentano zone di alimentazione del circuito profondo dei campi geotermici e dei siti termali delle Colline Metallifere. Attività estrattive e di sfruttamento geotermico sono situate in più parti dell'ambito, concentrate le prime sui Monti di Campiglia, nei pressi di Roccastrada, Torniella e Piloni, nell'Isola d'Elba e le seconde a Monterotondo Marittimo, dove il paesaggio è caratterizzato da emissioni di gas (soffioni, putizze, fumarole), dai "lagoni" e dalle caratteristiche "biancane".**

**Sul paesaggio naturale si stagliano pozzi geotermici e centrali termoelettriche; l'utilizzo di sorgenti e di risorse termali (turismo termale) e di quelle estrattive e minerarie, interessa spesso aree di elevato valore naturalistico, in adiacenza ad Aree protette e Siti della Rete Natura 2000 o a diretto contatto con importanti ecosistemi fluviali e ripariali (Fiume Bruna, torrente Bai). Le strutture e i manufatti che ancora permangono dell'attività industriale più recente (mineraria, siderurgica e geotermica), nel loro insieme connotano in modo significativo il paesaggio dell'archeologia industriale. Gli indirizzi per le politiche sono volti a favorire il miglioramento della compatibilità ambientale delle attività estrattive e geotermiche, in particolare nei bacini estrattivi del Monte Calvi e della zona di Roccastrada e la tutela degli importanti paesaggi minerari (Elba orientale, Gavorrano, San Silvestro, Baratti).**



*Fig. 33: Manifestazioni geotermali presso Monterotondo Marittimo*



*Fig. 34: Negativi processi di evoluzione del suolo e della vegetazione su habitat geotermali a Bagno Vignoni, per riduzione e incanalamento delle acque geotermali*

- L'area del Monte Amiata (ambito 19) costituisce una delle eccellenze naturalistiche della Toscana, i cui valori vedono un importante riconoscimento e tutela nel sistema delle Aree protette e nelle iniziative tese alla valorizzazione delle importanti risorse di minerarie. La ricchezza di acque è affiancata alla presenza di uno dei principali campi geotermici d'Italia, utilizzato a scopi di produzione energetica. Nell'area sono presenti diverse sorgenti geotermali e manifestazioni di gas e acqua (Acqua salata nei pressi di Rifugio Amiatino, Quaranta, Sorgente c/o Tre Case, Sorgente Ponte della Pieve, La Fonte o Polla di Sotto, Putizza). Le risorse geotermiche e idriche presenti nell'ambito rappresentano un patrimonio rilevante a livello regionale.

Lo sviluppo delle risorse geotermiche è in fase matura, con numerosi permessi di ricerca geotermica attivi, che possono costituire elemento di impatto paesaggistico legato agli esiti delle prospezioni di ricerca e alla presenza degli impianti di sfruttamento. Centrali elettriche per lo sfruttamento dell'energia geotermica si sono sviluppate dopo la dismissione dell'attività mineraria per l'estrazione del mercurio nei comuni di Abbadia San Salvatore, Piancastagnaio e Castell'Azzara.

I paesaggi agricoli collinari e montani sono oggetto di complementari fenomeni di artificializzazione e di perdita di habitat anche per la presenza di centrali geotermiche, di impianti eolici e per il recente

**sviluppo di quelli fotovoltaici.**

**Particolarmente rilevante risulta la presenza delle centrali geotermiche, di campi pozzi e della relativa rete di gasdotti, nei versanti sud-occidentali del Monte Amiata (tra Bagnore e il M.te Labbro) e nella zona di Piancastagnaio, anche internamente al sistema di Siti Natura 2000, incidendo in modo molto significativo sulla destinazione dei suoli agricoli o ex agricoli. A tali centrali si associa la presenza di una densa rete di elettrodotti di varia tensione, quale elemento critico per la conservazione delle locali popolazioni di rapaci diurni e notturni.**



*Fig. 35: Presenza di centrali geotermiche, esistenti ed in corso di realizzazione, su ex aree pascolive tra Bagnore ed il Monte Labbro, all'interno del Sito Natura 2000 Monte Labbro e alta valle dell'Albegna*

**Tra le aree critiche per la funzionalità della rete ecologica è individuata la vasta zona alto collinare e montana compresa tra Bagnore, Santa Fiora e Bagnolo, interessata da rapidi processi di abbandono delle tradizionali attività agropastorali, con perdita di habitat pascolivi e ricolonizzazione arbustiva, e dalla diffusione di centrali geotermiche.**

**Ulteriori elementi di interesse naturalistico sono associati alle risorse geotermali con particolare riferimento all'area di Arcidosso e di Piancastagnaio, e alle importanti risorse minerarie, che caratterizzano il territorio del Monte Amiata (in particolare le miniere di Abbadia S. Salvatore, Cornacchino, Morone e Siele).**

Nella aree riferibili ai sistemi della Montagna e Dorsale, gli indirizzi per le politiche indicano che nell'utilizzo della risorsa geotermica è necessario:

1. progettare le reti di sfruttamento e il posizionamento dei pozzi in modo da minimizzare i rischi di perdita di valore paesaggistico, prevedendo un monitoraggio regolare e puntuale degli impianti;
2. programmare e monitorare lo sfruttamento delle risorse geotermali in modo da garantire una corretta gestione dell'intero ciclo, dalle sorgenti agli stabilimenti termali e agli impluvi naturali, al fine di mantenere in vita questi particolari paesaggi geologici di valore.

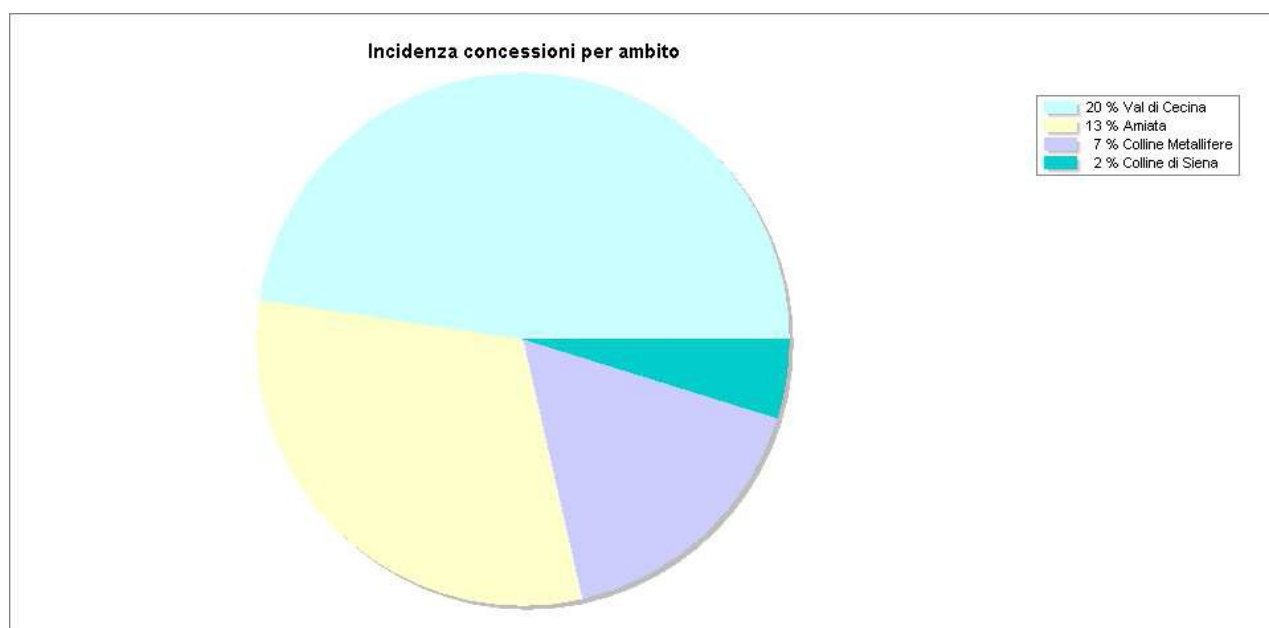


Fig. 36: Incidenza delle concessioni vigenti sulla superficie degli ambiti di paesaggio del PIT

Inoltre, si segnala la necessità di promuovere azioni volte a limitare e mitigare i fenomeni di artificializzazione del paesaggio rurale, con particolare riferimento alla realizzazione di centrali/pozzi geotermici e favorire azioni volte al miglioramento della compatibilità ambientale delle attività geotermiche ed estrattive. Rispetto a tale tematica, la disciplina d'uso individua uno specifico obiettivo di qualità "Salvaguardare la riconoscibilità del complesso vulcanico del Monte Amiata e del sistema insediativo storico disposto a corona lungo le pendici in corrispondenza di una linea densa di risorgive, l'importante patrimonio agroforestale, nonché i paesaggi fluviali del Fiora e dell'Albegna al fine garantire un uso sostenibile delle risorse del territorio amiatino" che costituisce riferimento per gli enti territoriali e i soggetti pubblici nella definizione degli strumenti della pianificazione, di atti del governo del territorio o per i piani di settore, al fine di provvedere a riconoscere ambiti di rispetto a tutela percettiva dei centri e nuclei storici in cui vietare la realizzazione di nuovi impianti geotermici, limitare



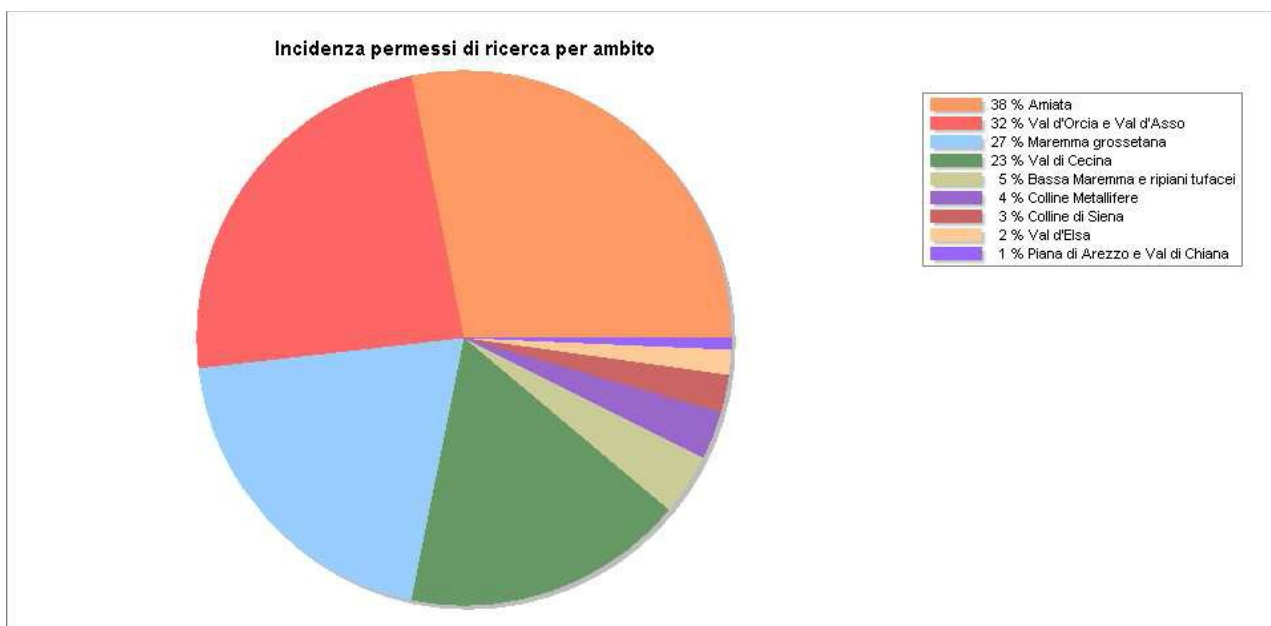
**l'artificializzazione e la perdita di habitat conseguenti allo sfruttamento della risorsa geotermica.**

### **2.3.5 Conclusioni**

**La geotermia rappresenta una preziosa risorsa per la Regione Toscana, sia ai fini dello sfruttamento dell'industria termale, che per gli aspetti energetici. Lo sfruttamento del termalismo ha caratterizzato il paesaggio, introducendo negli ecosistemi geotermali (con la presenza di “campi di lava”, fumarole, sorgenti sulfuree e da habitat peculiari), strutture turistiche storicamente diffuse nel territorio. La più recente diffusione dello sfruttamento geotermico a fini energetici ha comportato la realizzazione di centrali e pozzi geotermici, viabilità d'accesso e vapordotti, questi ultimi particolarmente impattanti sul paesaggio naturale, con relativi fenomeni di artificializzazione del paesaggio rurale. Gli impatti relativi alle attività di ricerca ed esplorative, comunque temporanei, sono condizionati al ripristino ambientale.**

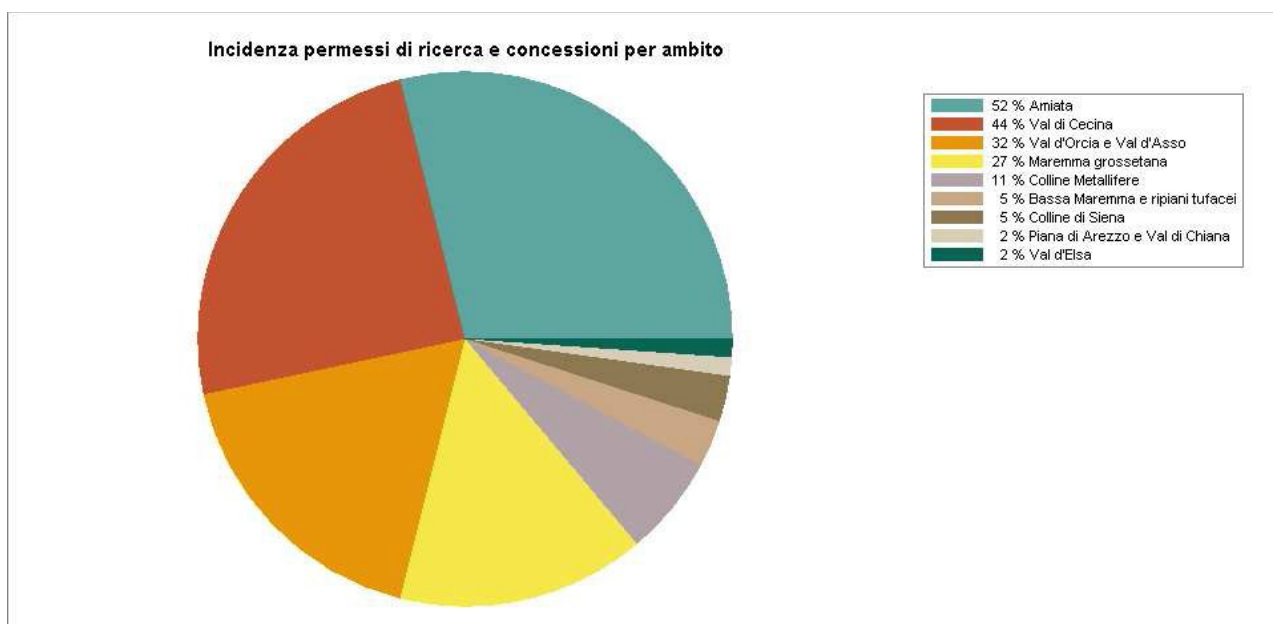
**I siti geotermali presentano una intrinseca fragilità, legata all'equilibrio del serbatoio di alimentazione geotermica, in alcune aree ampiamente sfruttate che le espone al rischio di un forte e rapido degrado dovuto alla deviazione dei flussi idrici mineralizzati. Intrinseca alla struttura geologica è la circolazione di sostanze potenzialmente inquinanti, e dunque le interazioni tra attività minerarie e riserve idriche vanno attentamente monitorate. I processi di abbandono delle attività agro-pastorali, i pur limitati fenomeni di urbanizzazione e gli impatti causati dalle centrali geotermiche, rappresentano le principali criticità dal punto di vista paesaggistico.**

**In conseguenza del Burden Sharing, la Regione Toscana con il PAER, in merito all'energia geotermica, stima che nel 2020 si possa raggiungere una potenza installata in totale di 225 MW, con una conseguente realizzazione di nuove centrali connesse ai permessi di ricerca vigenti pari a 150 MW. L'attività geotermica, nei futuri eventuali sviluppi, va considerata con attenzione per evitare il verificarsi di potenziali criticità, anche basandosi sul principio della sostenibilità dello sviluppo.**



*Fig. 37: Incidenza dei permessi di ricerca vigenti e delle istanze sulla superficie degli ambiti di paesaggio del PIT*

**Le iniziative anche recenti di valorizzazione della geotermia e di sviluppo e sperimentazione di nuove centrali geotermiche e termoelettriche hanno evidenziato ed attualizzato la necessità di tutela ambientale e di riqualificazione e mitigazione degli impatti paesistici per gli impianti geotermici da rinnovare e per le eventuali nuove realizzazioni.**



*Fig. 38: Incidenza delle concessioni vigenti e dei permessi di ricerca vigenti e delle istanze sulla superficie degli ambiti di paesaggio del PIT – esemplificazione nel caso in cui tutti i permessi di ricerca vigenti e le istanze ottenessero la concessione.*

**Il Piano paesaggistico nel suo insieme è finalizzato a sostenere, con l'insieme**

delle conoscenze e con l'individuazione di specifici obiettivi di qualità per ciascuno dei diversi ambiti di paesaggio, una nuova e maggiore qualità delle trasformazioni che interessano il paesaggio regionale nel suo complesso. Allo stesso tempo, tramite la “vestizione” dei diversi beni paesaggistici, codifica le regole da rispettarsi per i beni assoggettati a procedimenti di autorizzazione paesaggistica che chiamano in causa le competenze statali. La disciplina dei beni, oltre a quanto già segnalato relativamente ai contenuti della disciplina d'ambito, demanda agli enti territoriali e ai soggetti pubblici, negli strumenti della pianificazione, negli atti del governo del territorio e nei piani di settore, ciascuno per propria competenza, di provvedere a valutare lo sfruttamento della risorsa geotermica ad alta e media entalpia rispetto ai possibili impatti sulle risorse naturali e a realizzare impianti e strutture di sfruttamento della risorsa geotermica con criteri di compatibilità ambientale e paesaggistica, anche attraverso l'utilizzo di soluzioni tecnologiche innovative e una costante attività di ricerca finalizzate alla riduzione degli impatti.

Da ciò ne consegue che il futuro sviluppo dello sfruttamento della risorsa non potrà non essere strettamente legato alla necessità di tutela del bene, integrando le infrastrutture connesse all'attività geotermica nel contesto paesaggistico dei vari ambiti, limitando gli impatti sulle risorse naturali anche attraverso tecnologie innovative.

## ***2.4 Caratterizzazione della componente aria***

### **2.4.1 Premessa**

La produzione di energia elettrica tramite la coltivazione dei fluidi geotermici rappresenta per la Toscana un'importante fonte energetica alternativa che, con una produzione di circa 5 miliardi di chilowattora all'anno fornita dalle 35 centrali geotermoelettriche presenti, riesce a coprire oltre il 26% del fabbisogno elettrico regionale ed a fornire energia termica per diversi usi tra cui il teleriscaldamento di abitazioni e serre.

L'energia prodotta permette alla Toscana di rispettare gli obiettivi al 2020 che le singole regioni devono raggiungere in termini di energia consumata/prodotta da fonti rinnovabili (Burden Sharing), assumendo i target assegnati dal Piano di Azione Nazionale (PAN).

L'utilizzo della risorsa comporta tuttavia inevitabili pressioni sulla componente atmosfera costituite dalle emissioni di sostanze inquinanti presenti nel fluido geotermico che caratterizzano le aree interessate. Infatti le emissioni di idrogeno solforato e di anidride carbonica di origine naturale risultano presenti anche nelle aree non direttamente interessate dall'utilizzo

della risorsa per la produzione di energia.

Gli impatti derivanti dalle attività geotermoelettriche sono stati nel tempo mitigati grazie all'innovazione dei processi industriali impiegati. In particolar modo l'applicazione della tecnologia di abbattimento AMIS ha permesso di ridurre considerevolmente le emissioni di idrogeno solforato e di mercurio, l'installazione dei separatori di gocce ha permesso di ridurre le emissioni di sali associati al drift, e, con l'introduzione della tecnica di acidificazione nell'ambito della realizzazione della centrale di Bagnore 4, si è ottenuto un significativo decremento delle emissioni di ammoniaca.

Parallelamente il miglioramento delle procedure di manutenzione e delle modalità di gestione degli eventi non previsti a causa di malfunzionamenti e guasti ha permesso di limitare rilasci non controllati che costituiscono una quota rilevante delle emissioni complessive su base annuale.

#### **2.4.2 Regolamentazione per l'esercizio delle centrali geotermoelettriche**

Il quadro normativo di riferimento in materia di emissioni in atmosfera è costituito dal decreto legislativo 152/2006 "Norme in materia ambientale", che stabilisce limiti alle emissioni e condizioni di costruzione ed esercizio.

Tuttavia la disciplina è solo in parte rappresentativa dell'effettivo scenario emissivo delle centrali, che è caratterizzato anche da sostanze inquinanti non regolamentate per le quali non sono fissati limiti alle emissioni e tecniche specifiche per il campionamento e la successiva analisi al fine di verificare l'ottemperanza alle prescrizioni impartite.

In attesa di un quadro normativo esauriente e aggiornato in grado di colmare tali carenze, la Regione Toscana, in forza delle competenze attribuite dal d.lgs 351/99 e dal d.lgs 155/2010, mediante il "Piano regionale di risanamento e mantenimento della qualità dell'aria" adottato con Deliberazione del Consiglio Regionale n.44/2008, con la Deliberazione della Giunta Regionale n. 344/2010 ha disciplinato la materia al fine di migliorare le prestazioni ambientali delle centrali geotermoelettriche definendo specifiche prescrizioni per le nuove centrali e per il rinnovo dei provvedimenti pertinenti prevedendo limiti alle emissioni, efficienza minima degli impianti abbattimento AMIS che dovranno essere installati e limiti alla indisponibilità delle centrali e degli AMIS stessi, congrui con il quadro emissivo delle centrali e con lo stato attuale delle tecnologie.

Il provvedimento, che si applica per le nuove centrali nell'ambito dei provvedimenti di Valutazione di Impatto Ambientale, delle procedure di rinnovo delle concessioni minerarie e nel rinnovo delle autorizzazioni alle



emissioni ai sensi dell'art. 281 del d.lgs 152/2006, prevede l'implementazione della tecnologia di riduzione delle emissioni di mercurio ed idrogeno solforato (AMIS) e del trascinato liquido contenente sali disciolti (demister) nonché la predisposizione di un Protocollo per la gestione degli impianti e degli apparati connessi, relativo alla manutenzione programmata e non ed alle azioni di riduzione delle emissioni da adottare nei diversi casi, e per la registrazione di tutti gli eventi previsti ed eccezionali.

Successivamente con la Deliberazione della Giunta Regionale n. 904/2013 è stato definito il formato operativo del Protocollo, nonché aggiornato il quadro delle tecniche di campionamento ed analisi, in ordine alle quali dispone inoltre una fase di intercalibrazione fra le misure condotte dal gestore e le verifiche di ottemperanza svolte da ARPAT e stabilito modalità di segnalazione di eventi con emissioni non controllate e delle operazioni di manutenzione programmata alle diverse autorità per gli interventi di competenza.

#### **2.4.3 Il quadro emissivo e le aree territoriali**

Le aree produttive della Toscana su cui è svolta la coltivazione dei fluidi geotermici per la produzione di energia, possono essere suddivise in due aree principali, territorialmente distinte:

- A. l'Area Tradizionale, che comprende gli impianti localizzati nei territori comunali di Pomarance, Castelnuovo di Val di Cecina, Monteverdi Marittimo (PI), Monterotondo Marittimo e Montieri (GR), Radicondoli e Chiusdino (SI) in cui sono presenti 30 centrali, per una potenza nominale di circa 795 MWe di cui 24 dotate di AMIS.

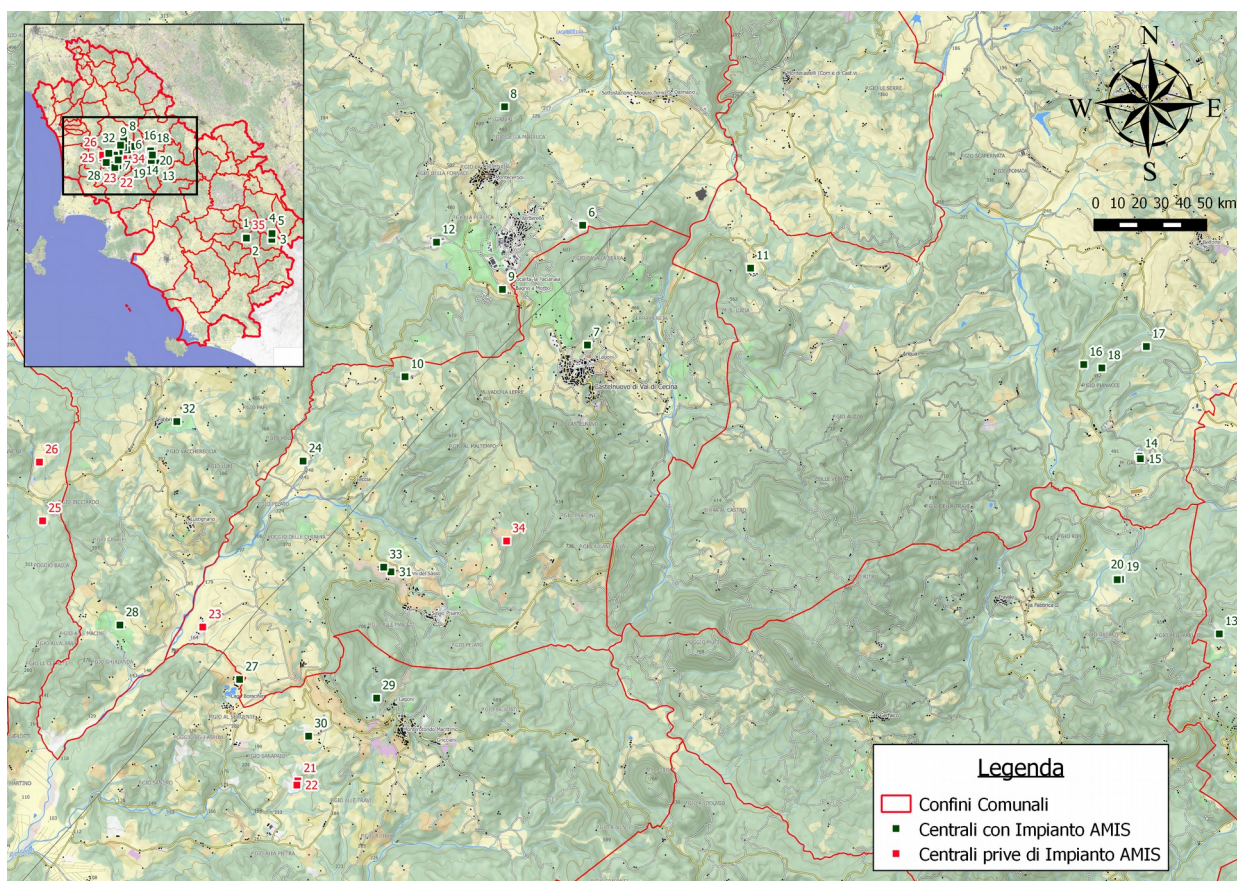
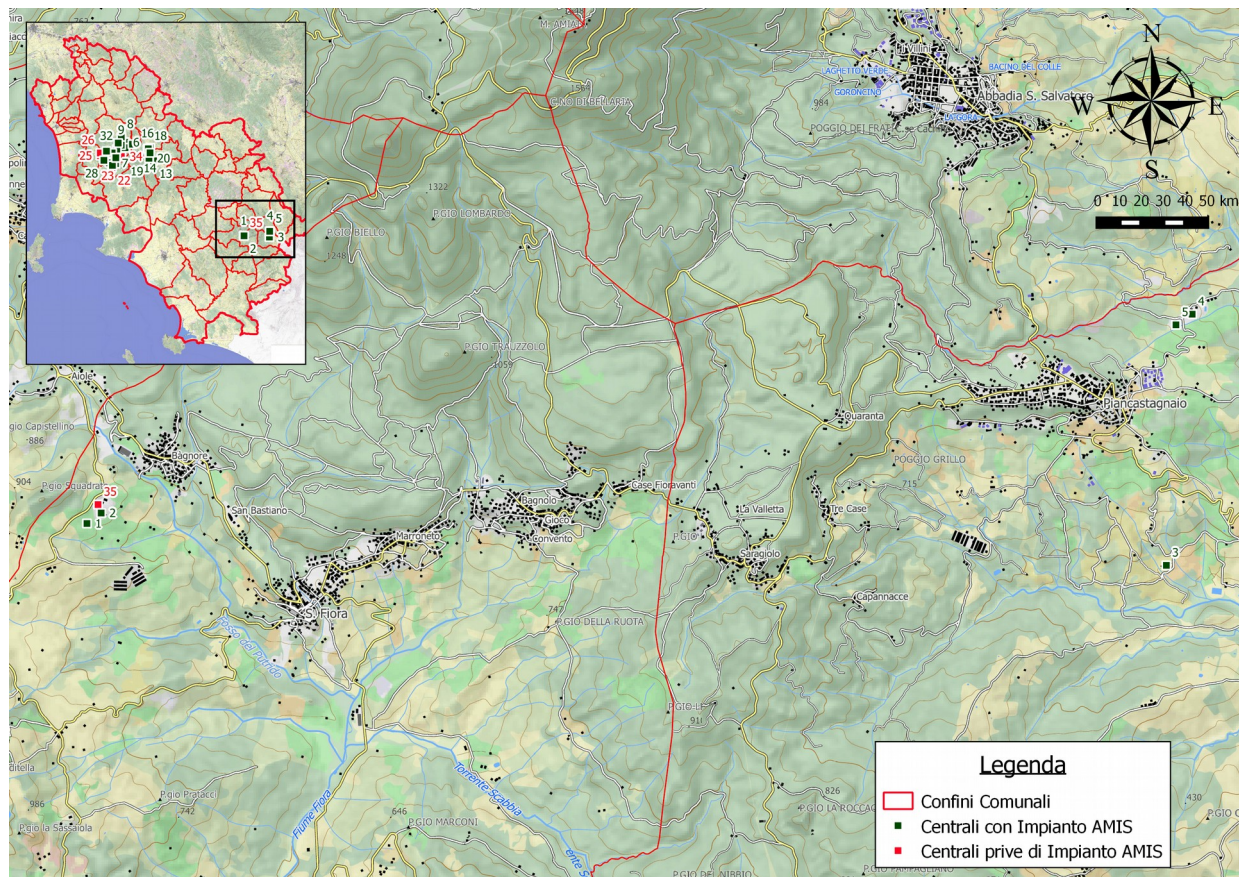


Fig. 39: Area tradizionale Centrali Geotermoelettriche classificate secondo la presenza di AMIS (6-Farinello, 7- Nuova Castelnuovo, 8- Nuova Gabbro, 9- Nuova Larderello, 10- Nuova Molinetto, 11- Sesta 1, 12- Vallesecolo , 21- Carboli 1, 22-Carboli2, 23- Cornia 2, 24-La Prata, 25- Monteverdi 1, 26-Monteverdi 2, 27-Nuova Lago, 28-Nuova Lagoni Rossi, 29- Nuova Monterotondo, 30-Nuova San Martino, 31-Nuova Sasso, 32-Nuova Serrazzano, 33- Sasso 2, 34-Selva 1)

**B. l'Area del Monte Amiata, che comprende gli impianti localizzati nei territori comunali di Piancastagnaio (SI), con 3 centrali GTE, per una potenza nominale complessiva di 60 MWe, tutte equipaggiate con impianto AMIS e Santa Fiora (GR), dove, in località Bagnore, è in esercizio una centrale GTE, con una potenza nominale di 20 MWe, equipaggiata con AMIS e la nuova centrale denominata Bagnore 4 con una potenza nominale di 40 MWe ottenuta mediante due gruppi da 20 MWe ognuno dei quali dotato di specifico impianto AMIS interconnessi tra loro ed in grado di trattare almeno il 30% della corrente in eccesso nel caso di malfunzionamento di uno dei due AMIS e con disponibilità non inferiore al 95%. La nuova centrale è collegata con l'esistente Bagnore 3 mediante vapordotto per la gestione integrata del fluido in ingresso e lo smistamento del vapore nel caso di guasti o malfunzionamenti alle centrali e/o agli AMIS e ambedue sono controllate da un impianto di riduzione delle emissioni di ammoniaca**

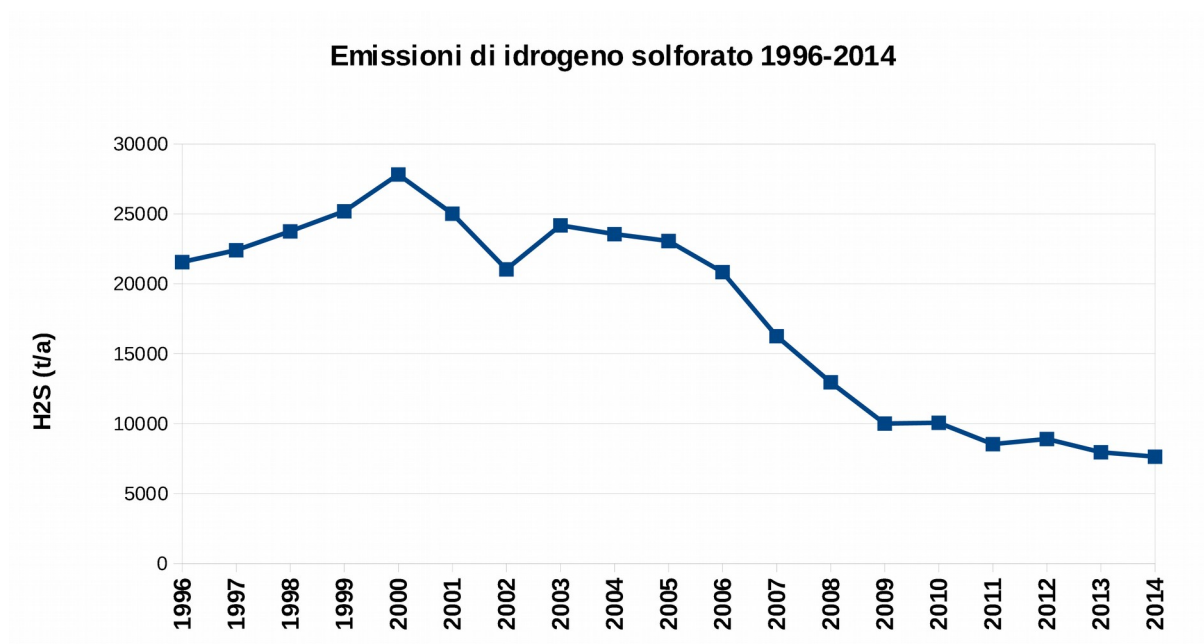


tramite acidificazione. Quindi, complessivamente, nell'Area Geotermica Amiatina, sono presenti cinque centrali GTE, con una potenza nominale di 120 Mwe.



*Fig. 40: Area Amiata Centrali Geotermoelettriche classificate secondo la presenza di AMIS (13- Chiusdino, 14- Nuova Radicondoli 1, 15- Nuova Radicondoli 2, 16- Pianacce, 17- Rancia 1, 18- Rancia 2, 19- Travale 3, 20- Travale)*

Il quadro emissivo risulta evidentemente complesso e si riportano alcune considerazioni riferite all'idrogeno solforato, inquinante caratteristico delle aree geotermiche anche non direttamente interessate dall'utilizzo del vapore per la produzione di energia, che è maggiormente rappresentativo delle pressioni in atmosfera, sia dal punto di vista quantitativo sia in relazione alla percezione dello stesso a causa della sua ridotta soglia olfattiva, e può essere utilizzato come indicatore sia dell'andamento delle emissioni derivanti dall'utilizzo della risorsa sia, come di seguito descritto, come indicatore dello stato di qualità dell'aria e del suo trend.



*Fig. 41: Emissioni idrogeno solforato 1996-2014*

**Il grafico seguente mostra l'andamento dal 1996 al 2014 delle emissioni di idrogeno solforato dell'intera area geotermica. Complessivamente si osserva una riduzione delle emissioni di circa il 65% rispetto al 1996 sostanzialmente per effetto delle installazioni sulle centrali degli impianti AMIS.**

**Entro il 2016 verranno completate le installazioni degli AMIS sulle restanti sei centrali ancora non equipaggiate secondo un calendario concordato.**

**In relazione agli obiettivi in materia di quote di energia prodotte da fonti rinnovabili, è utile descrivere l'andamento delle emissioni riferite alla produzione di energia elettrica attraverso un fattore di emissione specifico espresso in gH<sub>2</sub>S per ogni KWh prodotto durante il funzionamento a regime e durante i periodi di guasto e malfunzionamenti.**

**L'indicatore di sintesi rappresenta una modalità per misurare il grado di efficienza della produzione di energia da risorsa geotermica rispetto alla sostenibilità ambientale della stessa.**

**Dal grafico che segue si può osservare, a fronte di un incremento complessivo della potenza installata e della produzione netta di energia, un notevole decremento dell'indicatore in corrispondenza degli inserimenti degli impianti AMIS che passa da 6 g H<sub>2</sub>S/KWh a circa 1,5 gH<sub>2</sub>S/KWh nel 2014.**

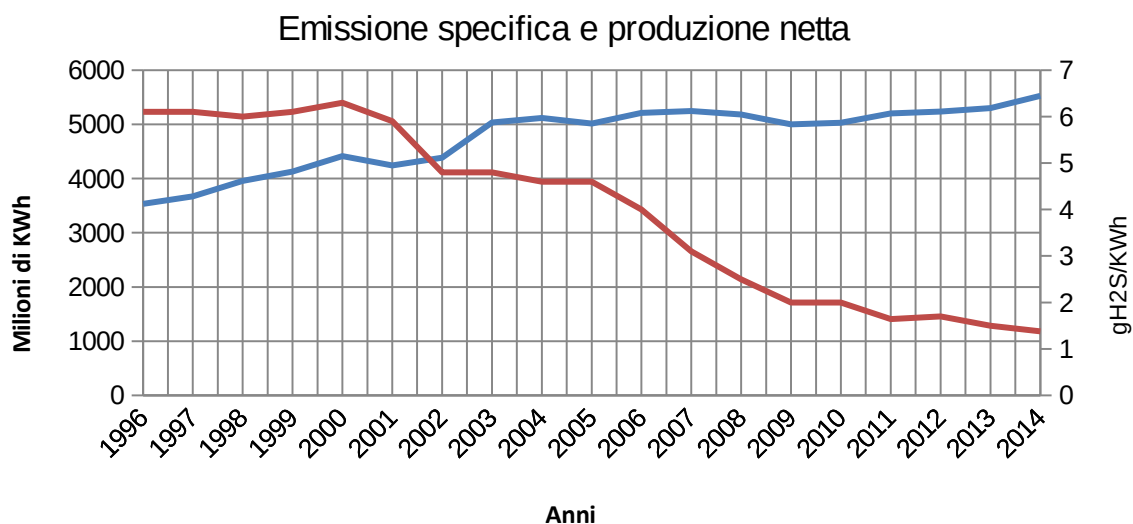


Fig. 42: Emissione specifica e produzione netta

Si può ritenere prevedibile una ulteriore riduzione dell'indicatore nel corso del 2015 a seguito dei maggiori livelli prestazionali di Bagnore 4 e un ulteriore miglioramento con il completamento delle dotazioni AMIS su tutte le centrali.

#### 2.4.4 La tutela della qualità dell'aria

Il quadro di riferimento è costituito dal Decreto legislativo n. 155 del 13 agosto 2010 “Attuazione della Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa” che stabilisce valori limite di qualità dell'aria per diverse sostanze inquinanti in termini di livelli di concentrazione che non devono essere superati.

Tuttavia non sono previsti valori limite, soglie di allarme e/o valori obiettivo di qualità dell'aria per l'acido solfidrico e per il mercurio, ed in carenza di tali riferimenti, seguendo una prassi consolidata, per la valutazione della qualità dell'aria ai fini della tutela della salute umana si ricorre convenzionalmente ai valori guida suggeriti dalla OMS-WHO ovvero le medie mobili calcolate su 24 ore ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), su 14 giorni ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e su 90 giorni ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Ad eccezione di due superamenti della media mobile di 24 ore non si evidenziano negli anni valori eccedenti quelli presi a riferimento. Diversamente, limitatamente ai livelli di idrogeno solforato, si evidenziano superamenti della cosiddetta soglia olfattiva pari a  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  cioè il livello di percezione dell'odore specialmente nelle prime ore del mattino e in concomitanza di particolari condizioni meteorologiche locali, anche nell'intero arco della giornata, che comunque non rappresentano una condizione di rischio sanitario.

#### **2.4.5 Lo stato della qualità dell'aria**

Le aree interessate sono oggetto di un costante rilevamento dei livelli di concentrazione di idrogeno solforato ottenuti mediante 17 stazioni di rilevamento gestite da ENEL, che effettua anche campagne di misura di mercurio gassoso, una stazione regionale gestita da ARPAT per il rilevamento degli inquinanti tradizionali ( $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$ ) e due mezzi mobili dotati di analizzatori di  $H_2S$  e mercurio.

Nelle carte seguenti sono evidenziate le stazioni di qualità dell'aria della rete ENEL suddivise tra Area tradizionale e Area del Monte Amiata.

Al fine di avere una indicazione sui livelli di idrogeno solforato nelle diverse aree è utile descrivere l'andamento nel tempo del valore medio delle concentrazioni rilevate nell'intero anno dalle stazioni di misura ed il numero di ore in cui i livelli di concentrazione superano la soglia olfattiva citata.

Nell'Area tradizionale è possibile distinguere la subarea di Radicondoli-Chiusdino nei comuni di Montieri, Radicondoli e Chiusdino dove sono presenti otto centrali geotermoelettriche che risulta monitorata da quattro stazioni di rilevamento e la subarea di Larderello-Lago nei comuni di Pomarance, Castelnuovo V.C., Monterotondo M.mo e Monteverdi M.mo in cui sono presenti 22 centrali geotermoelettriche che risulta monitorata da otto stazioni di rilevamento.



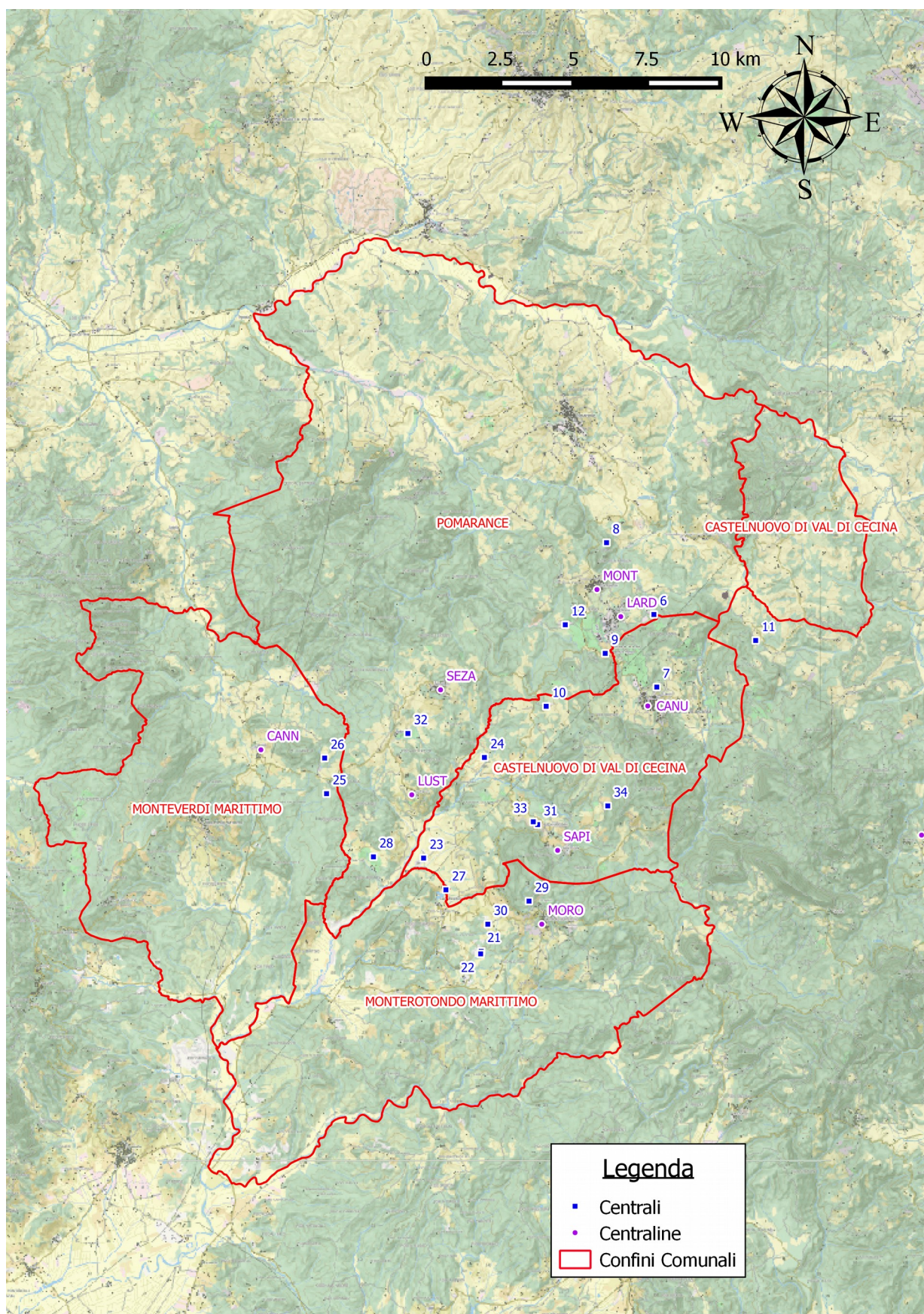


Fig. 43: Ubicazione centrali geotermoelettriche – Centraline di rilevamento (6-Farinello, 7- Nuova Castelnuovo, 8- Nuova Gabbro, 9- Nuova Larderello, 10- Nuova Molinetto, 11- Sesta 1, 12- Vallesecolo , 21- Carboli 1, 22-Carboli2, 23- Cornia 2, 24-La Prata, 25- Monteverdi 1, 26-Monteverdi 2, 27-Nuova Lago, 28-Nuova Lagoni Rossi, 29- Nuova Monterotondo, 30- Nuova San Martino, 31-Nuova Sasso, 32-Nuova Serrazzano, 33- Sasso 2, 34- Selva 1)





Fig. 44: Ubicazione Centrali Geotermoelettriche - Centraline di rilevamento (13- Chiusdino, 14- Nuova Radicondoli 1, 15- Nuova Radicondoli 2, 16-Pianacce, 17-Rancia 1, 18- Rancia 2, 19- Travale 3, 20- Travale)



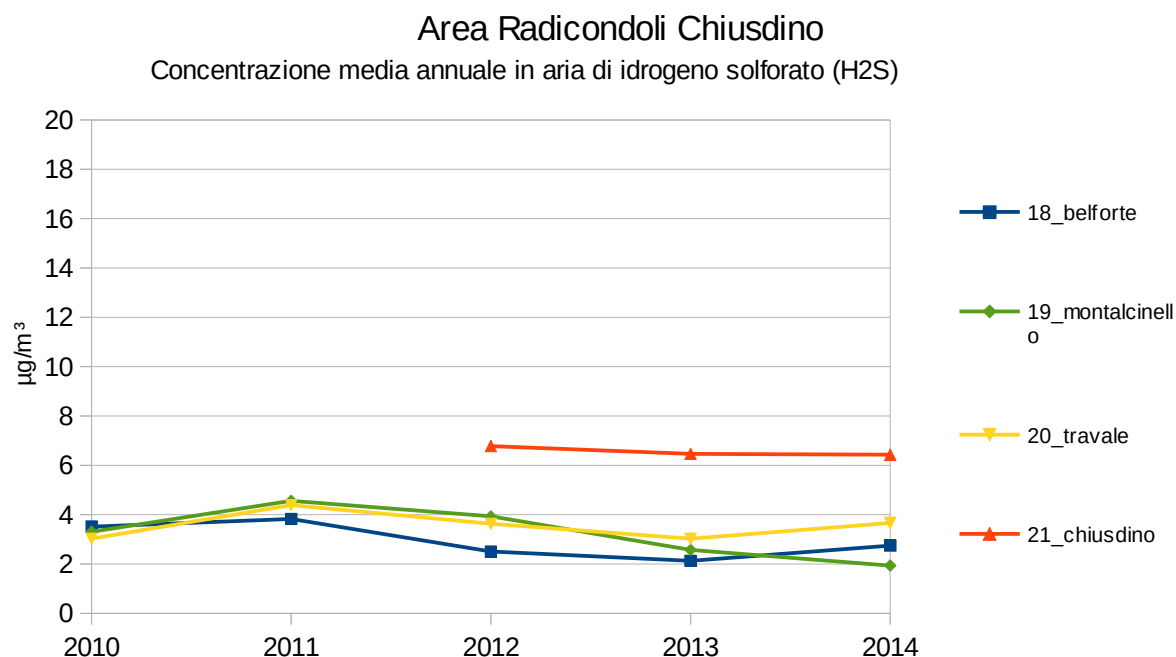


Fig. 45: Area Radicondoli - Chiusdino Concentrazione Media annuale in aria di idrogeno solforato

**Negli ultimi cinque anni i valori medi su base annuale risultano sostanzialmente costanti con valori compresi tra 2 e 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ed è possibile osservare un parziale miglioramento.**

**Analogamente anche la frequenza di eventi su base oraria con livelli eccedenti la soglia di percezione olfattiva pari a 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mostra una tendenza alla riduzione.**

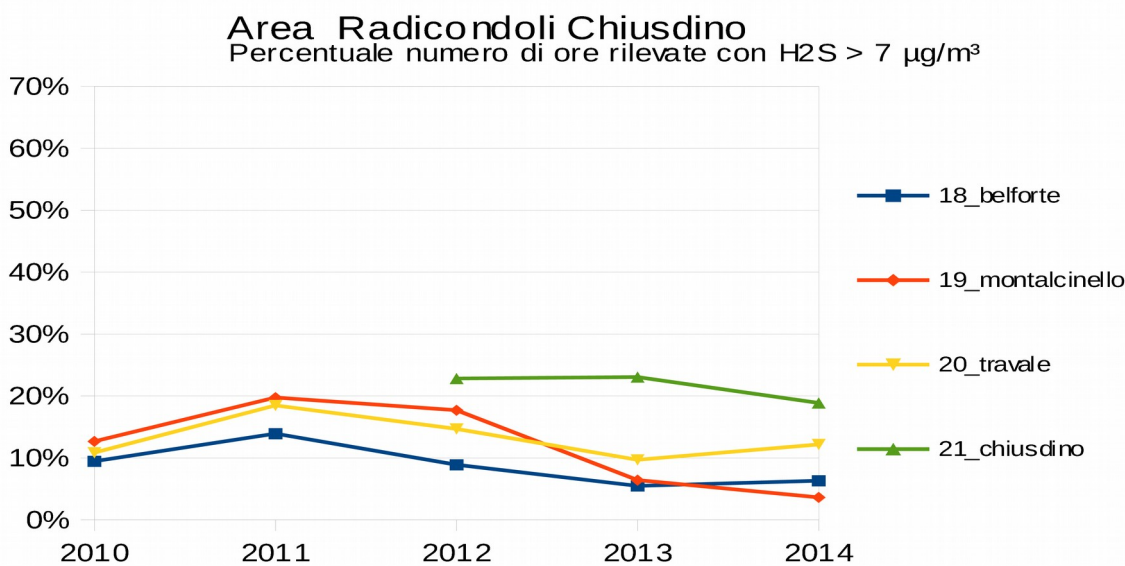


Fig. 46: Area Radicondoli - Chiusdino Percentuale numero di ore rilevate con H<sub>2</sub>S eccedenti la soglia di percezione olfattiva

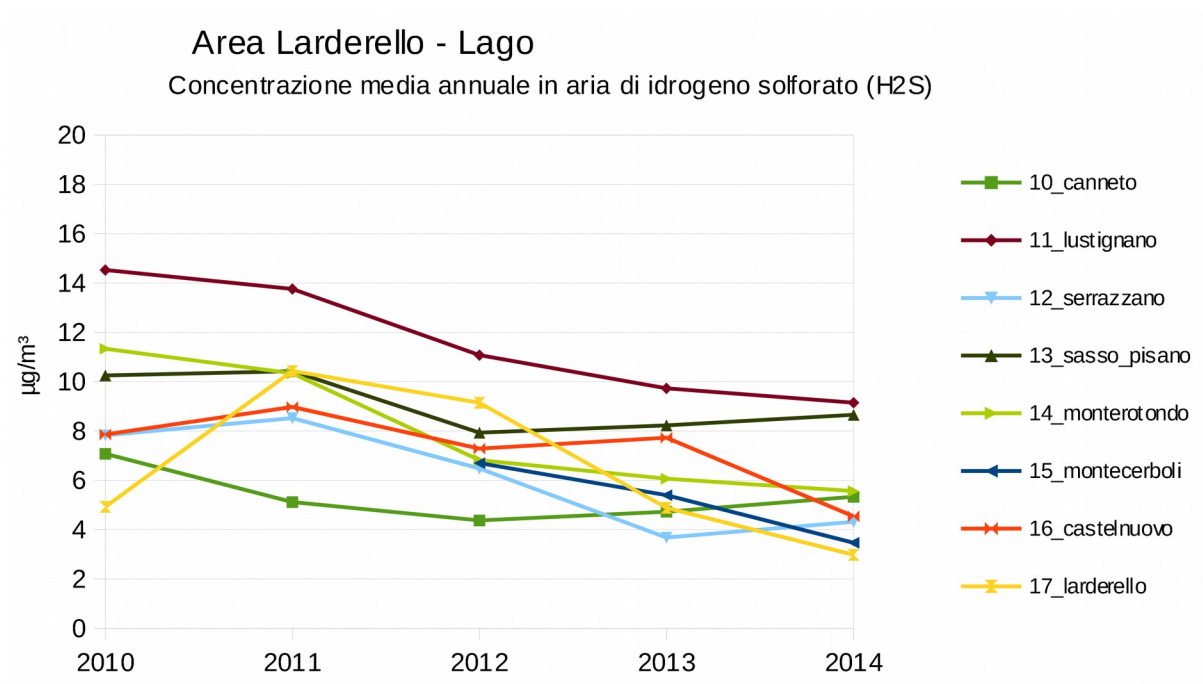


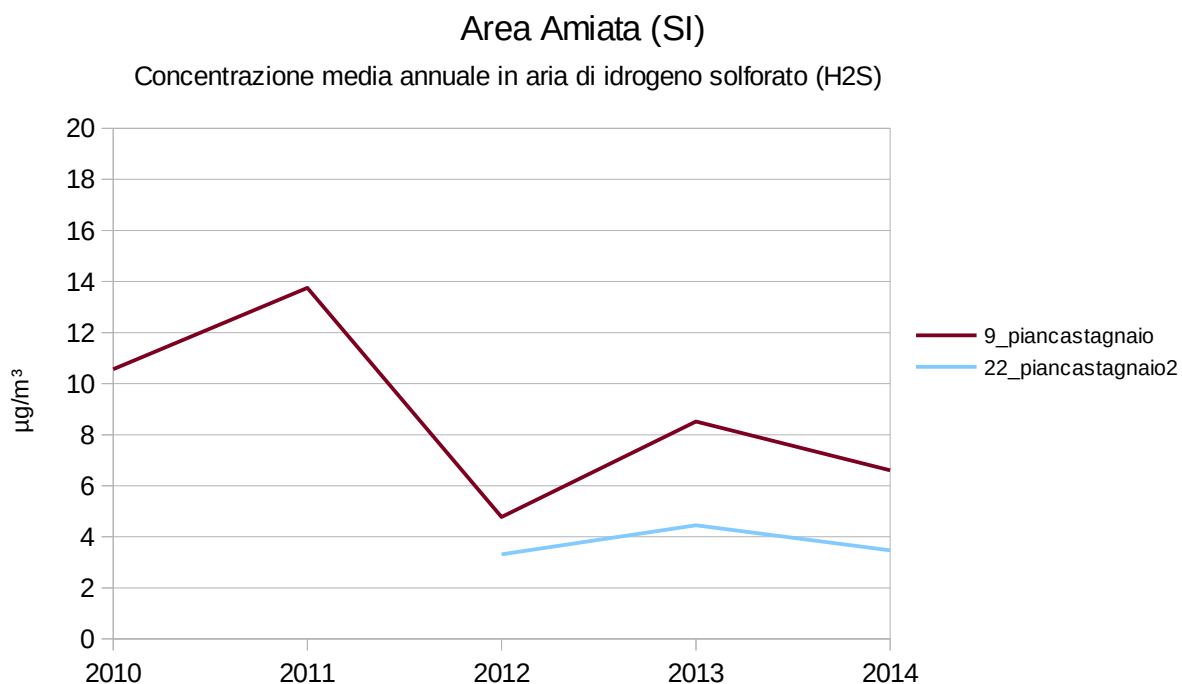
Fig. 47: Area Larderello - Lago Concentrazione media annuale in aria di idrogeno solforato

**In questa subarea i valori di concentrazione media annuale si attestano entro un range compreso tra 3 e 9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con un evidente miglioramento dal 2011.**

**Anche in questo caso il numero di eventi su base oraria con livelli eccedenti la soglia di percezione olfattiva pari a 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mostra una tendenza alla riduzione.**

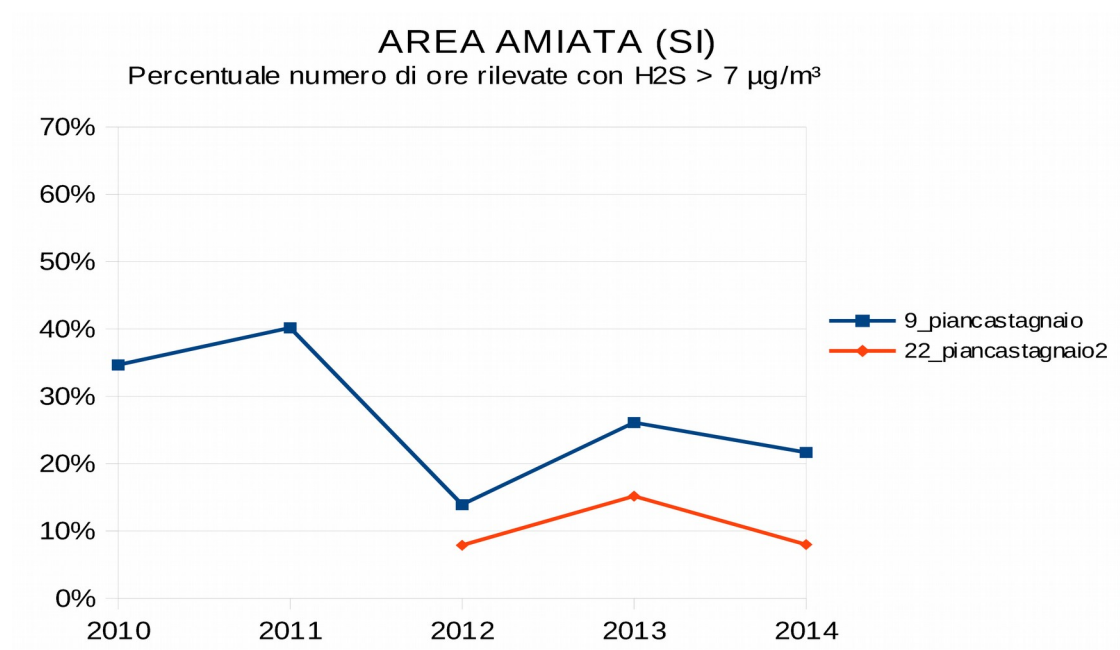
**Nell'Area del Monte Amiata è possibile distinguere la subarea del Monte Amiata Senese nel comune di Piancastagnaio dove sono presenti tre centrali geotermoelettriche che risulta monitorata da due stazioni di rilevamento e la subarea del Monte Amiata Grossetano nel Comune di Santa Fiora dove sono presenti due centrali geotermoelettriche monitorata attraverso quattro stazioni di misura.**

**Nella subarea Senese si evidenzia un un evidente miglioramento dal 2011 dovuto alla chiusura della centrale di Piancastagnaio 2 e i valori medi annuali si attestano entro un range compreso tra 3 e 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .**



*Fig. 48: Area Amiata Concentrazione media annuale di idrogeno solforato*

**Il miglioramento dal 2011 dovuto alla chiusura della centrale di Piancastagnaio 2 ha ridotto considerevolmente la frequenza di accadimento di eventi su base oraria con livelli eccedenti la soglia di percezione olfattiva pari a 7 µg/m<sup>3</sup>**



*Fig. 49: Area Amiata Percentuale numero di ore rilevate con H<sub>2</sub>S eccedenti la soglia di percezione olfattiva*

**Nella subarea Grossetana si osserva un parziale miglioramento ed i valori medi annuali al 2014 rimangono contenuti entro 2 µg/m<sup>3</sup>.**

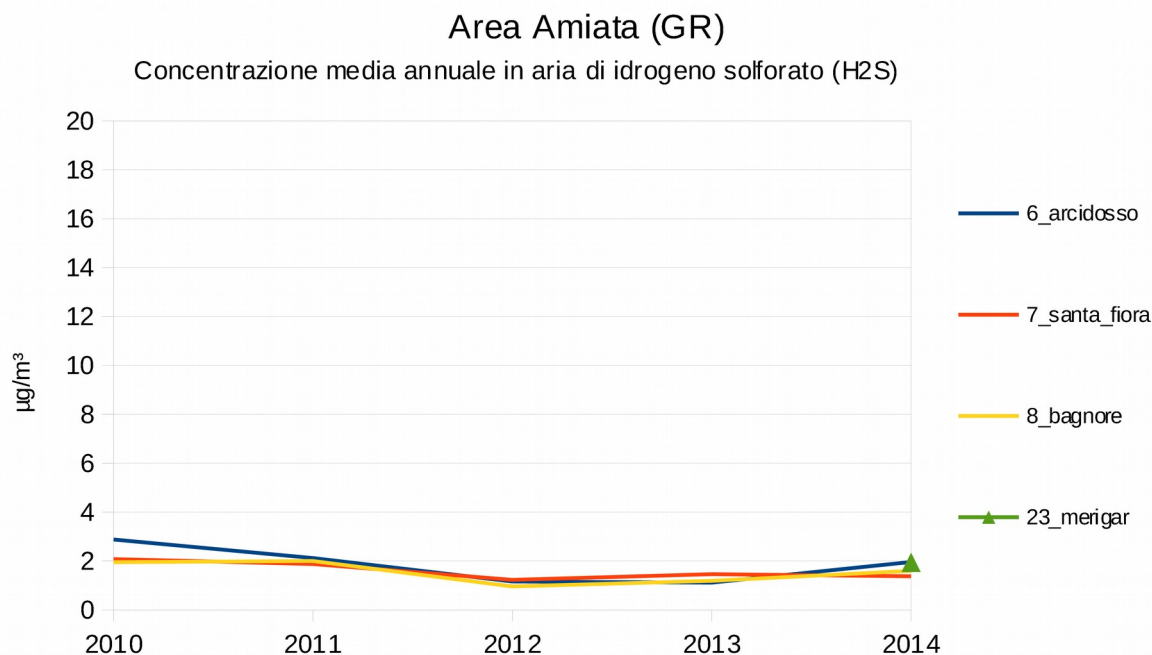


Fig. 50: Area Amiata Concentrazione media annuale di idrogeno solforato

**Anche in questo caso si può osservare un sensibile miglioramento e la frequenza di eventi con livelli eccedenti la soglia di percezione olfattiva pari a 7 µg/m<sup>3</sup> mostra una riduzione.**

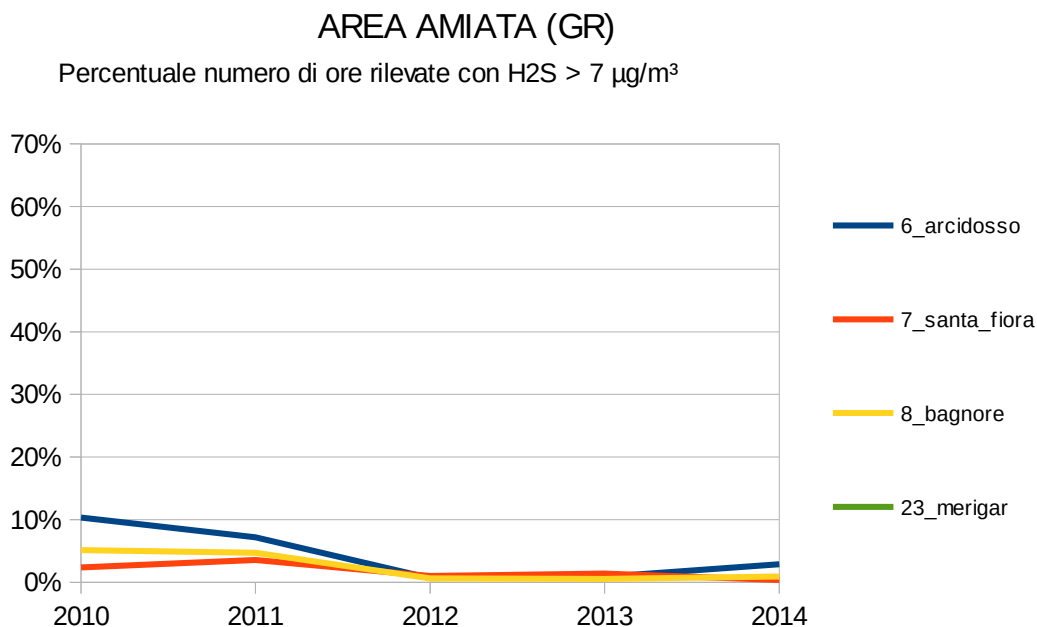


Fig. 51: Area Amiata Percentuale numero di ore rilevate con H<sub>2</sub>S eccedenti la soglia di percezione olfattiva

**Al fine di poter rappresentare sinteticamente i livelli medi di concentrazione di idrogeno solforato nelle aree prese in considerazione è utile descrivere l'andamento complessivo della media delle concentrazioni medie annuali**



rilevate dalle stazioni di misura ricadenti nelle singole aree come illustrato nel grafico seguente.

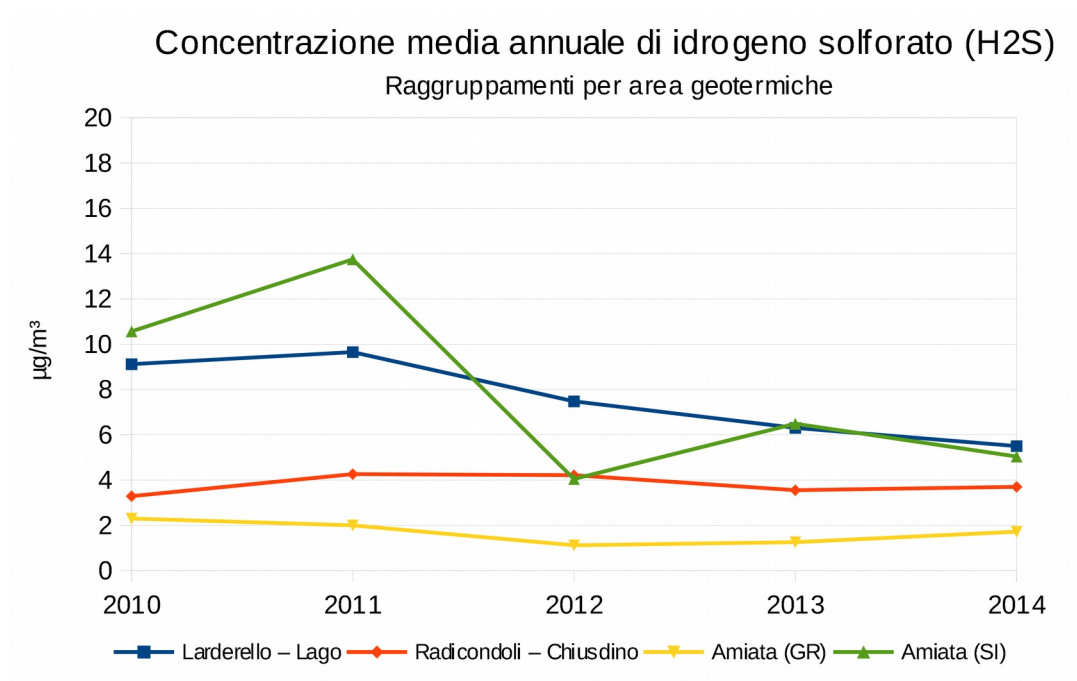


Fig. 52: Concentrazione media annuale di idrogeno solforato Raggruppamenti per aree geotermiche

Si evidenzia un sensibile miglioramento nell'area di Larderello-Lago e nell'area del Monte Amiata Senese con valori al 2014 compresi tra 5 e 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ed un andamento sostanzialmente costante nelle rimanenti aree di Radicondoli-Chiusdino e dell'Amiata Grossetano con valori medi annuali di idrogeno solforato che si collocano nel range compreso tra 2 e 4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Il grafico seguente mostra invece il numero totale di superamenti della soglia olfattiva nelle diverse aree geotermiche da cui si evidenzia il significativo decremento di eventi livelli eccedenti la soglia di percezione olfattiva

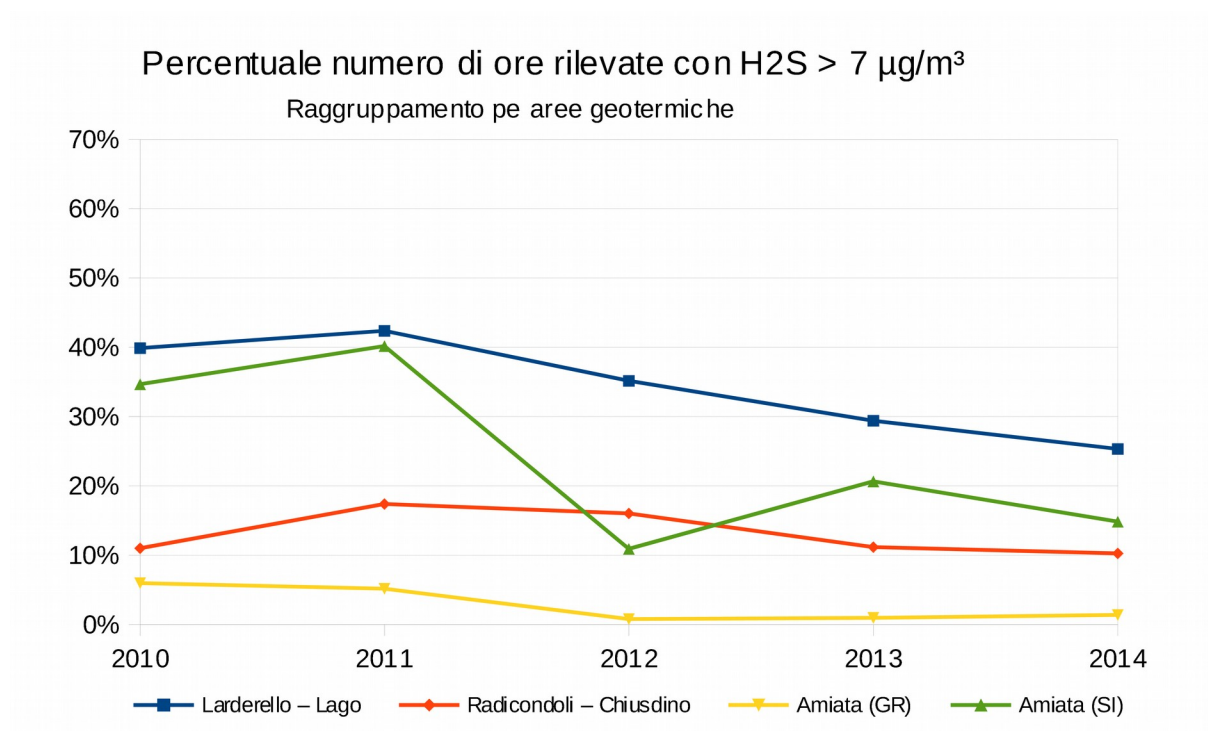


Fig. 53: Percentuale numero di ore rilevate con  $\text{H}_2\text{S}$  eccedenti la soglia di percezione olfattiva Raggruppamento per aree geotermiche

Accanto al monitoraggio effettuato mediante le 17 stazioni di rilevamento della rete ENEL, nel Comune di Pomarance è presente una stazione di rilevamento della rete regionale di qualità dell'aria. I risultati del monitoraggio mostrano anche in questo caso livelli ampiamente inferiori ai valori utilizzati a riferimento anche se parzialmente superiori a quanto rilevato nella vicina stazione della rete ENEL da imputare verosimilmente all'oggettiva difficoltà di effettuare misure della concentrazione in aria di idrogeno solforato, a concentrazioni così basse.

#### 2.4.6 Completamento del quadro conoscitivo

I primi risultati delle simulazioni predisposte dal gestore degli impianti geotermoelettrici esistenti nell'area “tradizionale” di Larderello, in accordo con le disposizioni regionali in materia, mediante l'uso della catena modellistica WRF – CALMET – CALPUFF, su un dominio di calcolo pari a 39 km x 43 km con risoluzione di 500 m, che tengono conto sia delle emissioni prodotte durante la conduzione a regime delle centrali presenti sia di quelle derivanti da malfunzionamenti e guasti delle centrali e degli apparati connessi e dell'indisponibilità degli impianti di trattamento AMIS, con riferimento all'anno 2012, mostrano un generale accordo con i risultati del monitoraggio della qualità dell'aria ottenuto tramite le stazioni di rilevamento presenti. Tuttavia le simulazioni non tengono conto del contributo derivante dalle emissioni di origine naturale ai livelli di

concentrazione di idrogeno solforato stimato che in alcune aree può rappresentare una quota significativa e potrebbe spiegare le differenze residue tra stime modellistiche e le misure ottenute presso le stazioni della rete di rilevamento della qualità dell'aria. In questo senso sono in corso di predisposizione le attività finalizzate ad ottenere le necessarie informazioni in merito unitamente all'aggiornamento al 2014 delle simulazioni condotte ed all'estensione dello studio diffusionale alle restanti aree geotermiche.

#### **2.4.7 Effetti derivanti dalle prove di produzione**

Come descritto al paragrafo 1.3, le fasi maggiormente significative legate alla ricerca geotermica in grado di produrre effetti sulla qualità dell'aria, sono quelle relative alle indagini profonde mediante pozzi esplorativi e le relative prove di produzione. In particolare durante le prove di produzione, la cui finalità è quella di ottenere la caratterizzazione chimico-fisica del fluido reperito e valutare la potenzialità del serbatoio, allo scopo di definirne le possibilità di sviluppo, in termini di numero dei pozzi da perforare, il vapore e gli incondensabili contenuti nel fluido geotermico rinvenuto vengono rilasciati in atmosfera.

La durata delle prove di produzione è funzione delle caratteristiche del fluido rinvenuto ed in particolare della composizione fisica (gas-vapore-acqua) varia da 2-3 giorni nel caso in cui siano già note le caratteristiche del serbatoio geotermico fino ad un massimo di due settimane nel caso di indagini effettuate su un nuovo serbatoio.

Gli effetti sulla componente atmosfera sono generalmente valutati attraverso il monitoraggio dell'area interessata mediante dispositivi mobili ed individuate soglie di attenzione delle concentrazioni di idrogeno solforato, rispetto ai valori guida indicati dall'OMS e utilizzati quali riferimento, al superamento delle quali sono adottate misure di mitigazione consistenti nella riduzione della portata di fluido emesso fino al ripristino delle condizioni iniziali. Inoltre le prove di produzione vengono sospese al verificarsi di condizioni meteorologiche, anch'esse oggetto di monitoraggio, avverse alla dispersione degli inquinanti prodotti (calma di vento, inversione termica al suolo, vento unidirezionale verso ricettori sensibili).

I risultati di campagne di misura attuate durante prove di produzione da soggetti detentori concessioni minerarie con portate di fluido estratto di circa 50 t/h mostrano valori di concentrazione massima di idrogeno solforato, in un dominio di circa 1 km di raggio, inferiori ai valori presi a riferimento. Gli stessi livelli sono stati stimati attraverso l'utilizzo di modelli previsionali nell'ambito di procedimenti di Valutazione di Impatto ed in particolare solamente nelle aree prossime al pozzo esplorativo il massimo

delle concentrazioni medie giornaliere è risultato in alcuni casi prossimo al valore OMS ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ed il valore massimo della media durante l'intero periodo di prova è risultato pari a circa il 50% dei valori di riferimento su medio periodo ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Condizioni non critiche sono state rilevate inoltre dalla stazione di rilevamento denominata Merigar prossima alla Centrale di Bagnore 4 e installata a seguito di specifica prescrizione di VIA che durante le prove di produzione del pozzo esplorativo e le fasi di cantiere per la costruzione ha evidenziato livelli di idrogeno solforato ampiamente inferiori ai citati valori di riferimento.

## ***2.5 Caratterizzazione del clima acustico***

### **2.5.1 Normativa di riferimento**

La normativa di riferimento in materia di tutela dell'ambiente e della salute pubblica dall'inquinamento acustico prodotto dalle attività antropiche fa capo alla legge 447/95 "Legge quadro sull'inquinamento acustico" e ai relativi decreti attuativi. In particolare il D.P.C.M. 14/11/97 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore", stabilisce per gli impianti in questione, in quanto sorgenti fisse di rumore:

- i valori limite di emissione (vedi Tabella B del decreto);
- i valori limite assoluti di immissione (vedi Tabella C del decreto);
- i valori limite differenziali di immissione<sup>1</sup>.

I valori dei suddetti limiti (a parte i valori limite differenziali di immissione, fissati in 5 dB(A) per il periodo diurno e 3 dB(A) per il periodo notturno (vedi art. 4 del decreto), sono individuati dal Comune attraverso il Piano Comunale di Classificazione Acustica (PCCA), approvato ai sensi dell'art. 4 e dell'art. 5 della l.r. 89/98 "Norme in materia di inquinamento acustico", nel rispetto dei criteri di cui al relativo regolamento di attuazione, emanato, da ultimo, con DPGR n. 2/R/2014.

Con il PCCA il Comune suddivide il proprio territorio in aree acusticamente omogenee (vedi Tabella A del decreto), associando a ciascuna area specifici valori di qualità (vedi Tabella D del decreto). Tali valori devono essere conseguiti nel breve, medio e lungo termine attraverso una corretta pianificazione territoriale delle funzioni da allocare, avendo riguardo al loro possibile impatto acustico e/o alla loro compatibilità con il clima acustico

---

1

Applicabile agli impianti a ciclo continuo di nuova costruzione, secondo quanto stabilito dal D.M. del Ministro dell'Ambiente del 16 marzo 1997 "Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo continuo".

esistente o futuro<sup>2</sup>, ovvero, nel caso di superamento dei valori di attenzione fissati per le stesse aree (vedi art. 6 del decreto), attraverso la predisposizione di un piano comunale di risanamento acustico (PCRA). A tale pianificazione territoriale e all'eventuale piano di risanamento le attività rumorose si devono conformare nel rispetto dei valori limite sopra citati: emissione, assoluto e differenziale di immissione.

Una trattazione più approfondita dell'argomento è riportata nella pagina web regionale agli indirizzi:

- <http://www.regione.toscana.it/-/pcca-piani-comunali-di-classificazione-acustica>;
- <http://www.regione.toscana.it/-/pcra-piani-comunali-di-risanamento-acustico>.

Sempre dalla pagina web regionale attraverso lo strumento webgis denominato GEOscopio all'indirizzo: <http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/inquinamentifisici.html>, è possibile visualizzare ed interrogare i dati geografici dei PCCA e dei PCRA.

### 2.5.2 Stato della pianificazione acustica del territorio dell'area di interesse geotermico

Tutti i comuni dell'area di interesse geotermico hanno approvato in via definitiva il PCCA con la sola eccezione del Comune di Asciano in Provincia di Siena che ne ha comunque avviato l'iter approvativo provvedendo alla sua adozione. Sono stati quindi univocamente individuati per la maggior parte del territorio gli obiettivi di qualità pianificati e i limiti per le attività rumorose compatibili con tale pianificazione. Inoltre i Comuni di Castel Del Piano, Orbetello, Pitigliano in Provincia di Grosseto, il Comune di Rosignano Marittimo in Provincia di Livorno e il Comune di Ponsacco in Provincia di Pisa hanno anche approvato il piano comunale di risanamento acustico ed avviato alcuni degli interventi da questo previsti.

In Figura 54 è rappresentata una mappa dei PCCA attualmente approvati estratta dai dati pubblicati su GEOscopio. La legenda associata alla figura evidenzia le sei classi di destinazione d'uso del territorio individuate dai PCCA. Si va dalla Classe I, corrispondente alle aree particolarmente protette, con i limiti diurni e notturni più bassi, alla Classe VI delle aree esclusivamente industriali con limiti più alti e indifferenziati tra il periodo diurno e notturno. Alle aree di Classe VI non si applica inoltre il limite differenziale di immissione in quanto tipicamente legato alla presenza di edifici residenziali che in un'area industriale non devono essere presenti.

---

<sup>2</sup> La Giunta Regionale con propria Deliberazione n. 857/2013 ha definito i criteri per la redazione della documentazione di impatto acustico e della relazione previsionale di clima acustico.



In Figura 55 sono evidenziate in azzurro chiaro le aree critiche individuate dal piano comunale di risanamento e oggetto degli interventi previsti dal piano comunale di risanamento dei Comuni di Ponsacco, Rosignano Marittimo, Orbetello, Castel del Piano e Pitigliano. La realizzazione di alcune delle opere previste dai piani di risanamento è stata finanziata dalla Regione Toscana nell'ambito del programma di intervento finanziario di cui all'art. 11 della l.r. 89/98.

Il quadro relativo alla pianificazione acustica del territorio è completato riportando in Figura 56 e Figura 57 la mappa delle centrali geotermoelettriche attualmente in esercizio e quella dei pozzi attivi/vapordotti ad esse associati (cfr. paragrafo 2.2.), sovrapposte alla mappa dei PCCA vigenti. Come si può vedere dalle figure almeno per l'area geotermica storica del Comune di Pomarance e dei Comuni limitrofi le centrali sono ubicate in aree di Classe VI e tali aree sono contornate da aree in classi inferiori che fungono da aree di interposizione ai sensi del regolamento regionale di cui al DPGR n. 2/R/2014.

Nel caso dei pozzi/vapordotti, la localizzazione degli stessi non è stata invece generalmente considerata come differenziata rispetto alla classe delle aree contermini salvo nel caso dei pozzi collocati in aree già diversamente classificate per la presenza della centrale o di altre sorgenti (ad esempio di strade).

### **2.5.3 Impatto acustico delle attività connesse allo sfruttamento dell'energia geotermica**

Dal punto di vista del loro impatto acustico le attività connesse allo sfruttamento dell'energia geotermica possono essere distinte in:

- attività temporanee, legate alla fase di cantierizzazione (allestimento piazzole pozzi e costruzione centrale), comprese la perforazione dei pozzi e le prove di produzione;
- attività legate alla fase di esercizio della centrale e coltivazione dei pozzi, compresi gli eventuali sfiori accidentali. o programmati anche se temporanei.

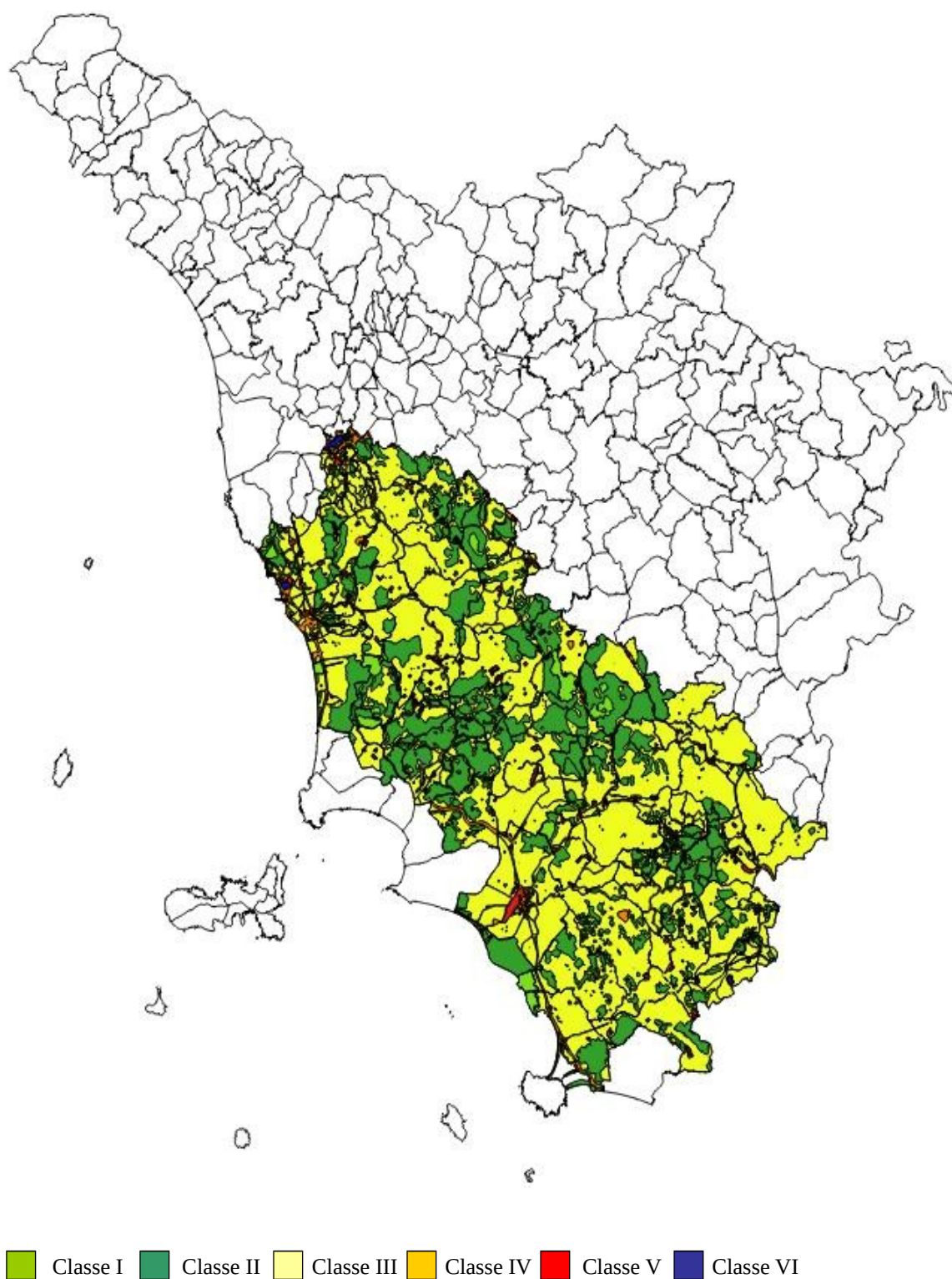
Non vengono considerate in questa sede le attività di ricerca propedeutiche alla perforazione dei pozzi, ovvero i rilievi gravimetrici, magnetotellurici e sismici a riflessione, e quelle per la costruzione del cavidotto di trasporto della corrente elettrica anche se queste hanno comunque un impatto acustico, considerando lo stesso trascurabile in ragione della sua durata e largamente mitigabile tramite accorgimenti tecnologici e modalità operative di volta in volta fissabili in sede di rilascio delle relative autorizzazioni.

Non viene inoltre analizzato il potenziale impatto nei confronti della fauna selvatica derivante dalle emissioni acustiche prodotte durante la fase di esercizio degli impianti nel loro complesso ed in particolar modo delle centrali.

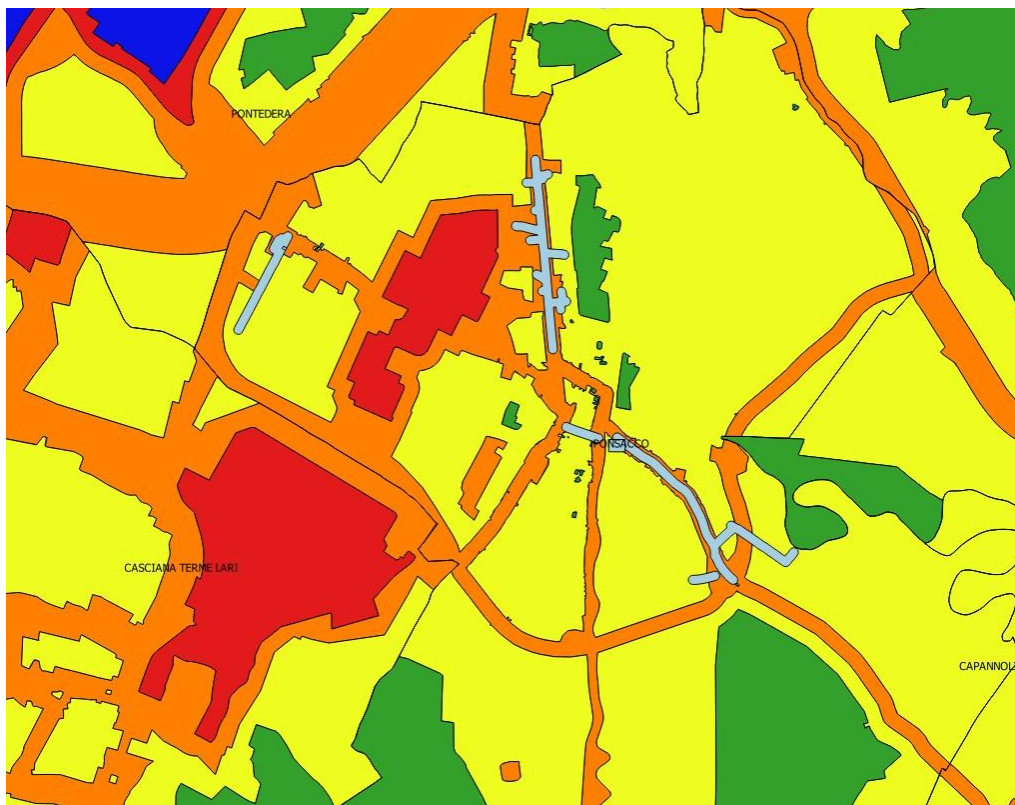
#### **2.5.3.1      *Metodologia di studio***

La stima dell'impatto acustico delle attività connesse allo sfruttamento dell'energia geotermica, secondo quanto stabilito dalla DGR 857/2013 e, in accordo con la norme UNI 11143, deve essere condotta nelle seguenti fasi:

- caratterizzazione acustica della situazione ante-opera sulla base dei dati sperimentali derivanti da campagne di misura del livello di rumore dell'area interessate tenendo conto della classificazione acustica della stessa;
- stima previsionale dei livelli sonori dopo la realizzazione delle opere (situazione post-opera) ed in fase di realizzazione delle stesse con un pacchetto software dedicato sulla base di un modello matematico previsionale dell'area interessata;
- monitoraggio/controllo dell'inquinamento acustico in corso d'opera e post-opera.

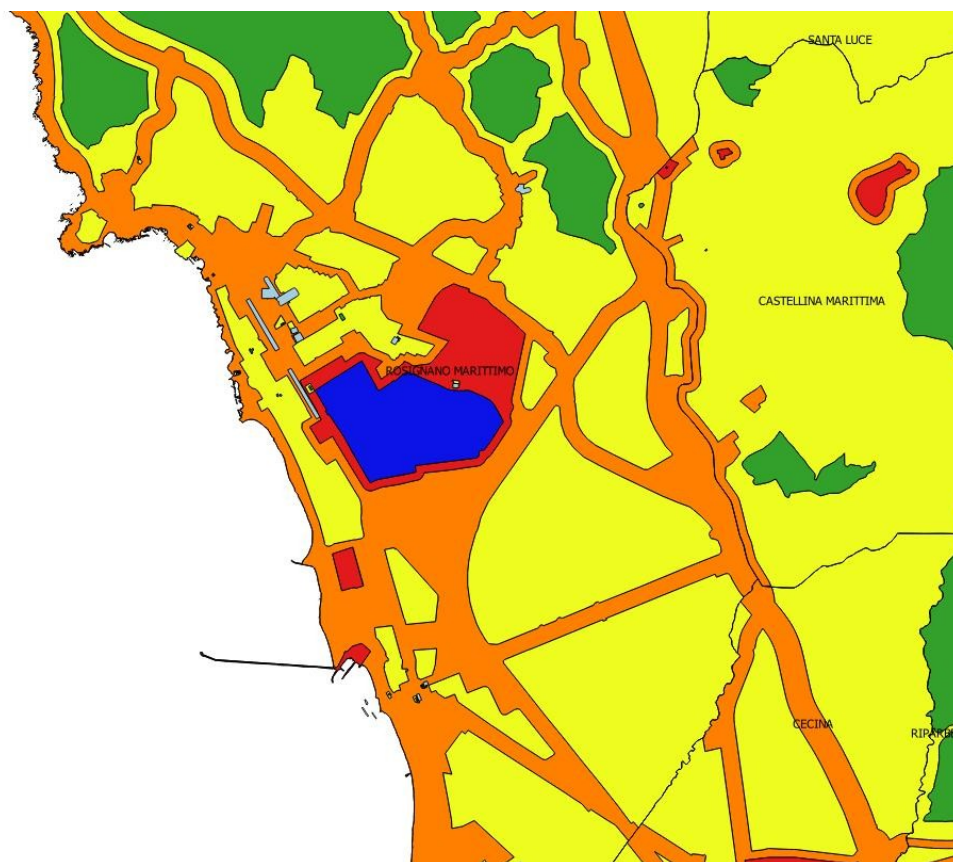


*Fig. 54: Area di interesse geotermico: stato dei piani comunali di classificazione acustica: (PCCA), Aprile 2014.*



Area critica PCRA

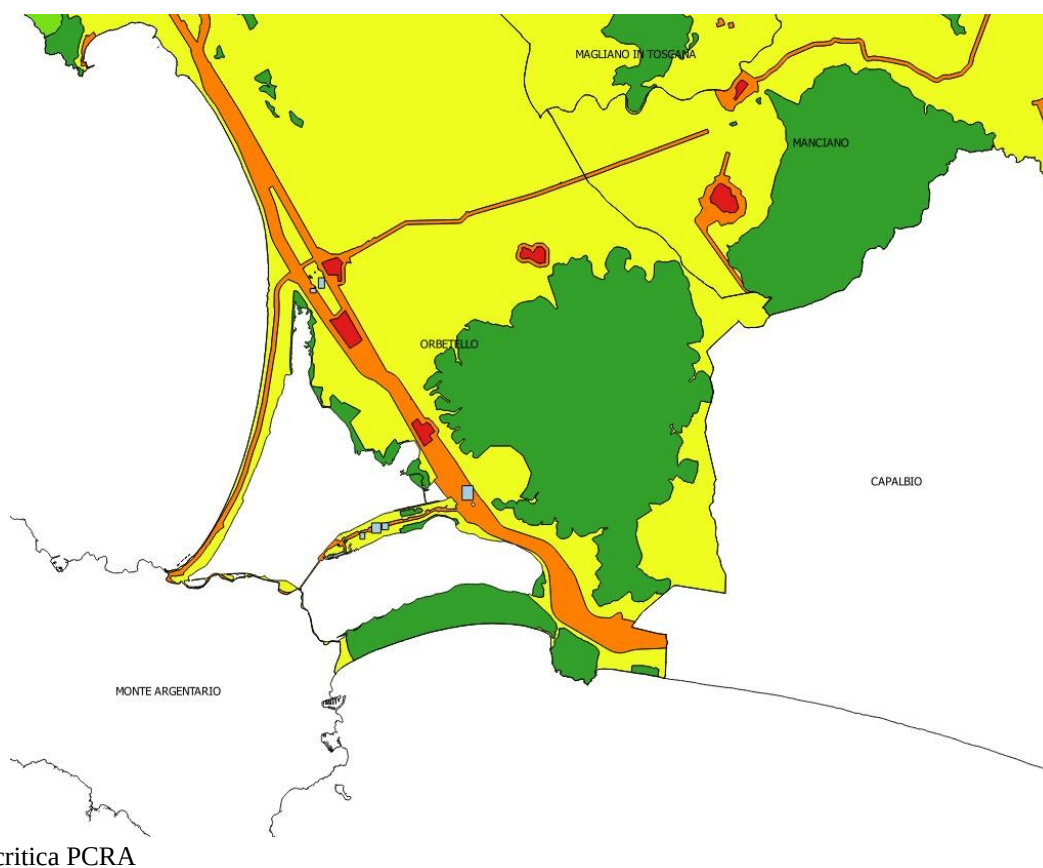
a) Comune di Ponsacco



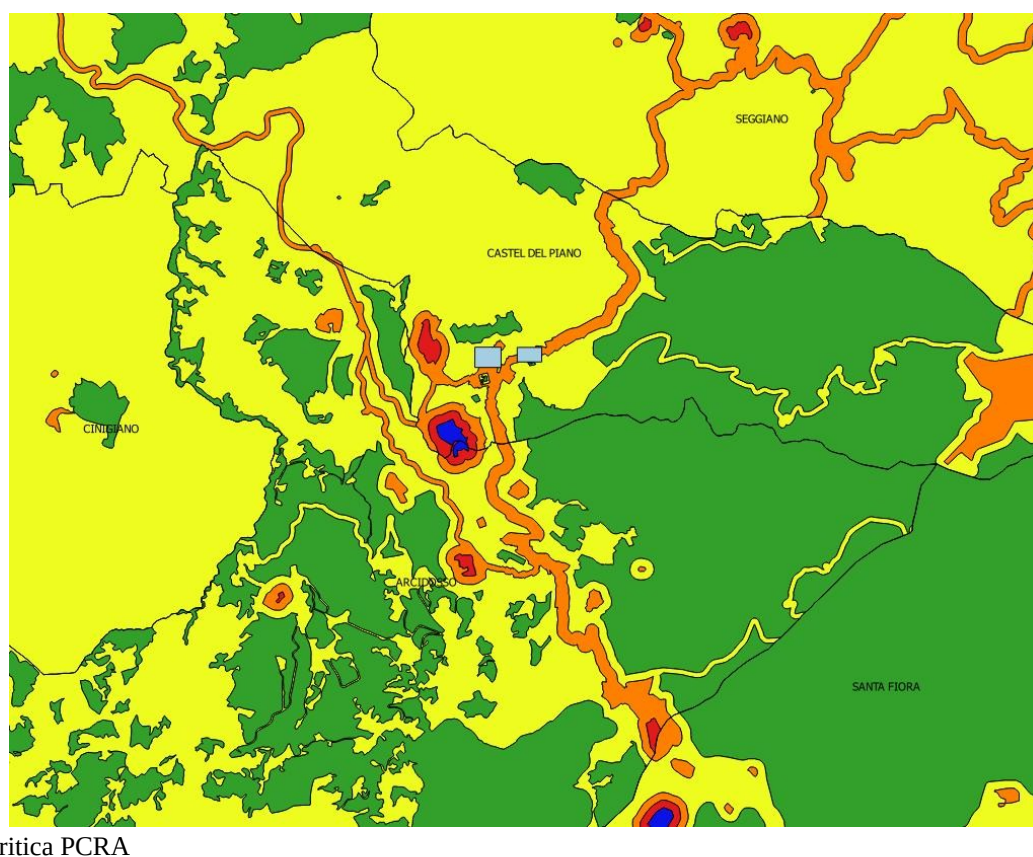
Area critica PCRA

b) Comune di Rosignano Marittimo



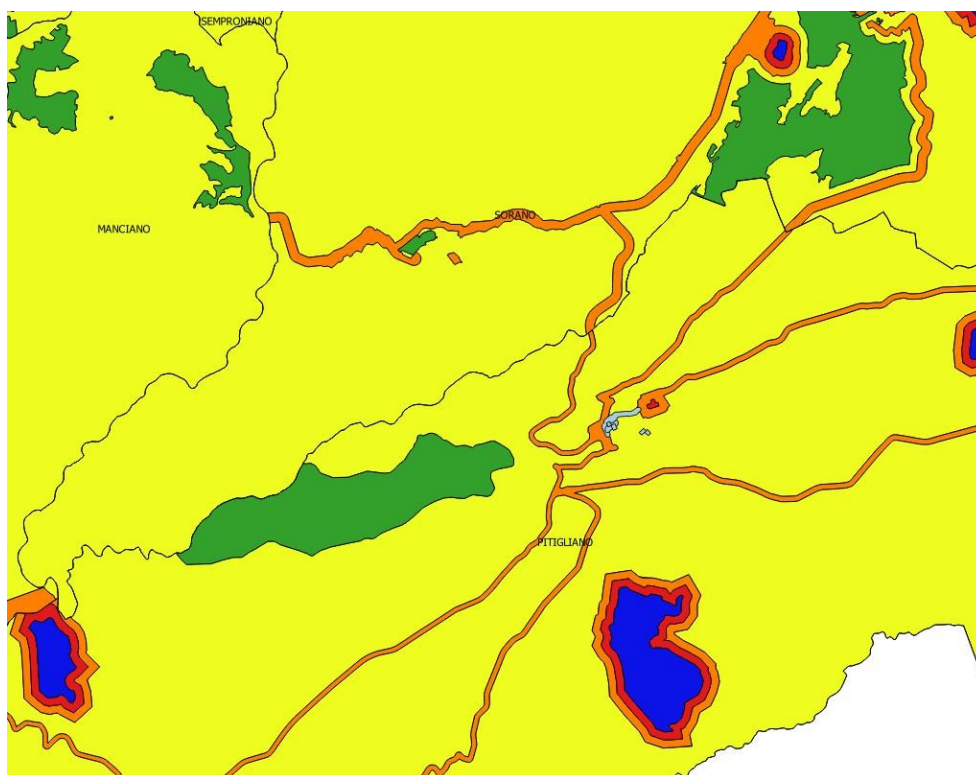


c) Comune di Orbetello



d) Comune di Castel del Piano

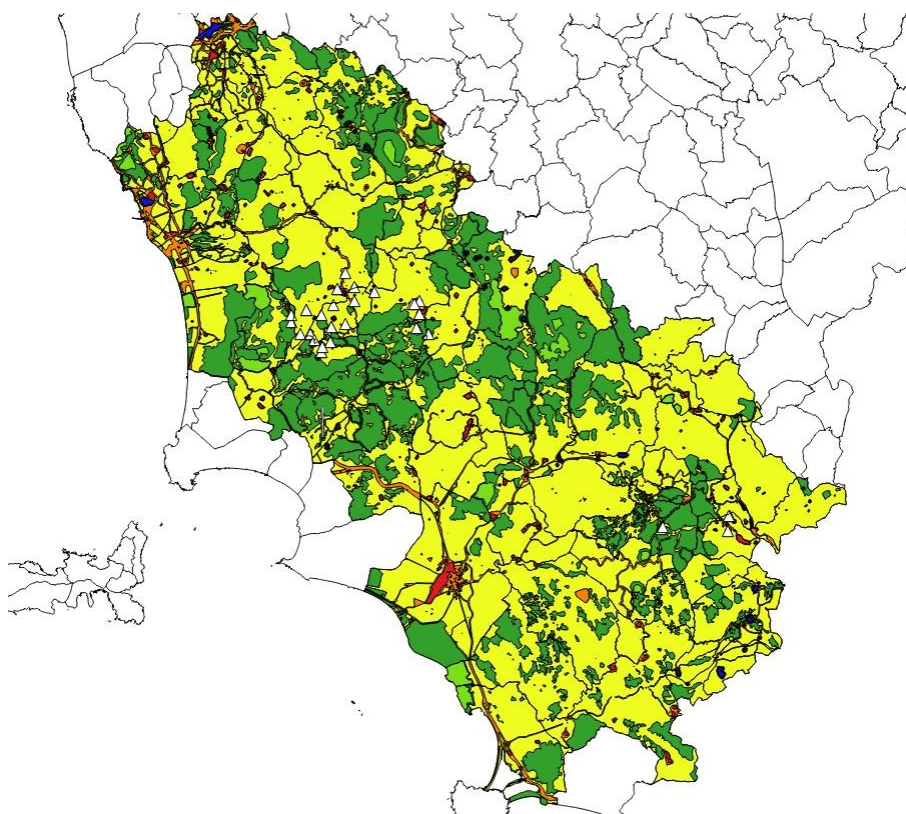




■ Area critica PCRA

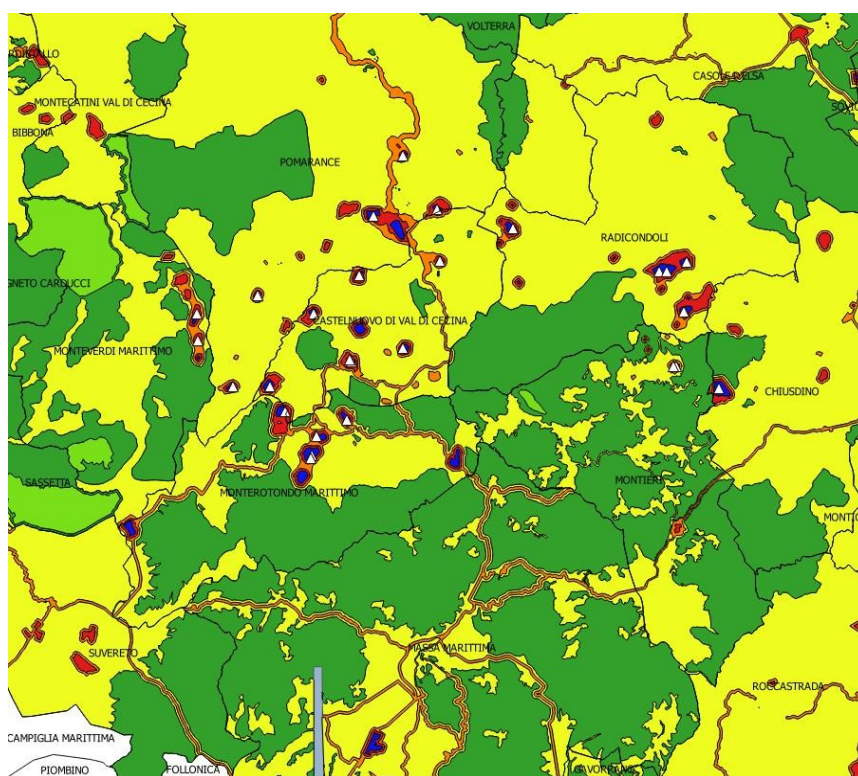
e) Comune di Pitigliano

*Fig. 55: Area di interesse geotermico: stato piani comunali di risanamento acustico (PCRA), Aprile 2014.*



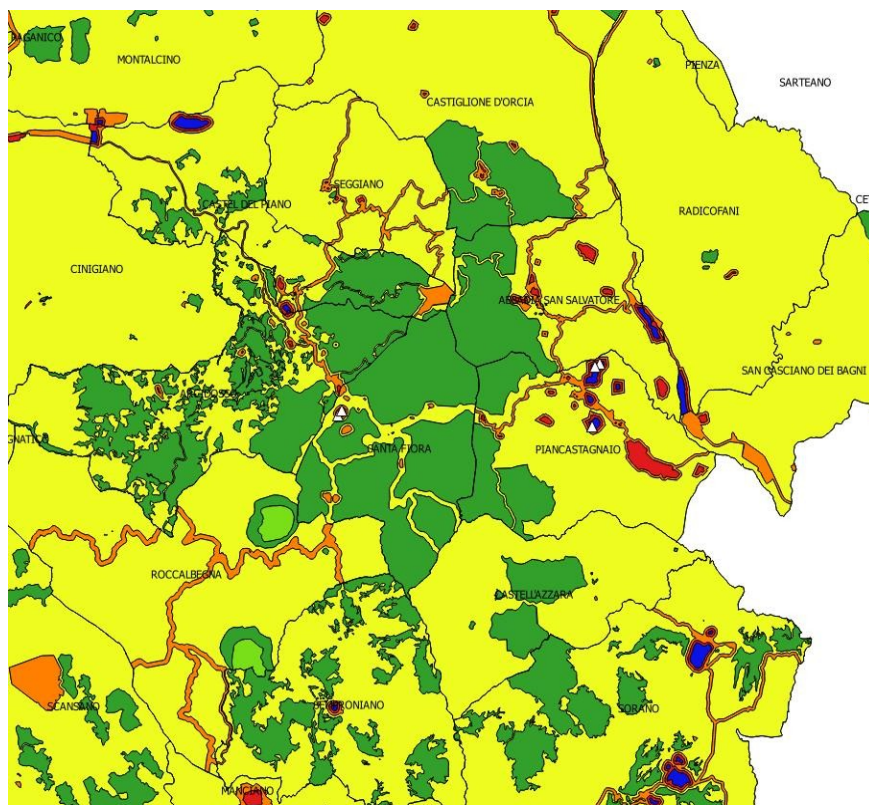
$\Delta$ Centrali GTE

a) mappa generale



$\Delta$ Centrali GTE

b) dettaglio area storica

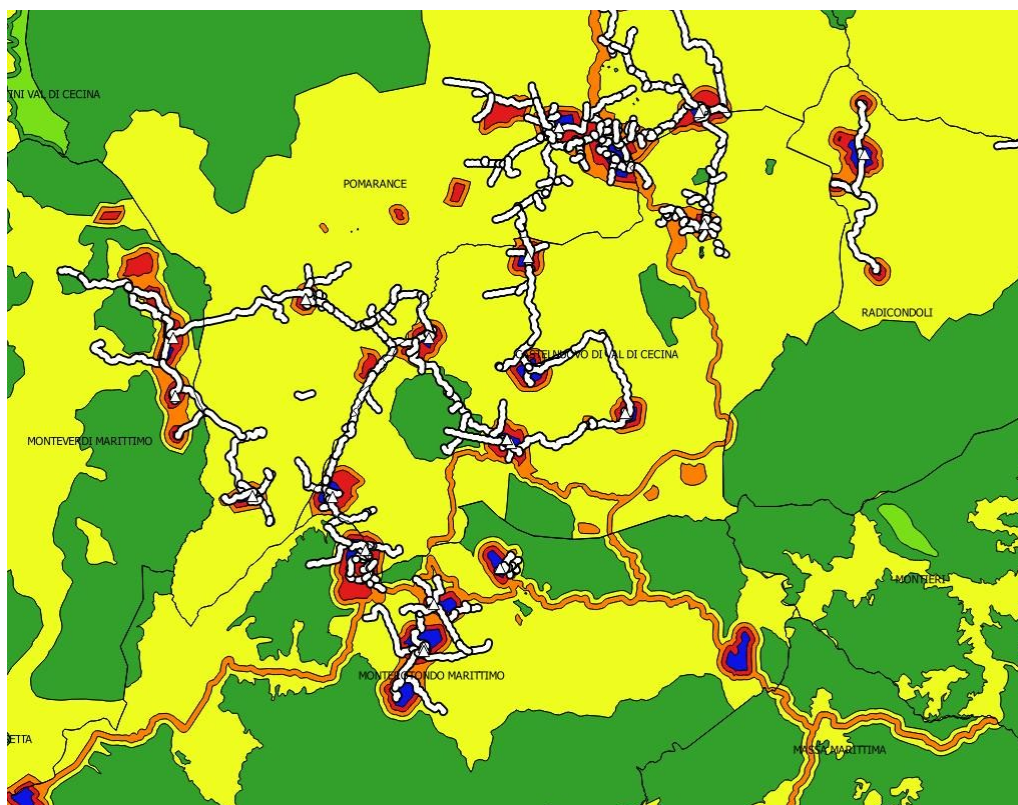


△Centrali GTE

c) dettaglio area Monte Amiata

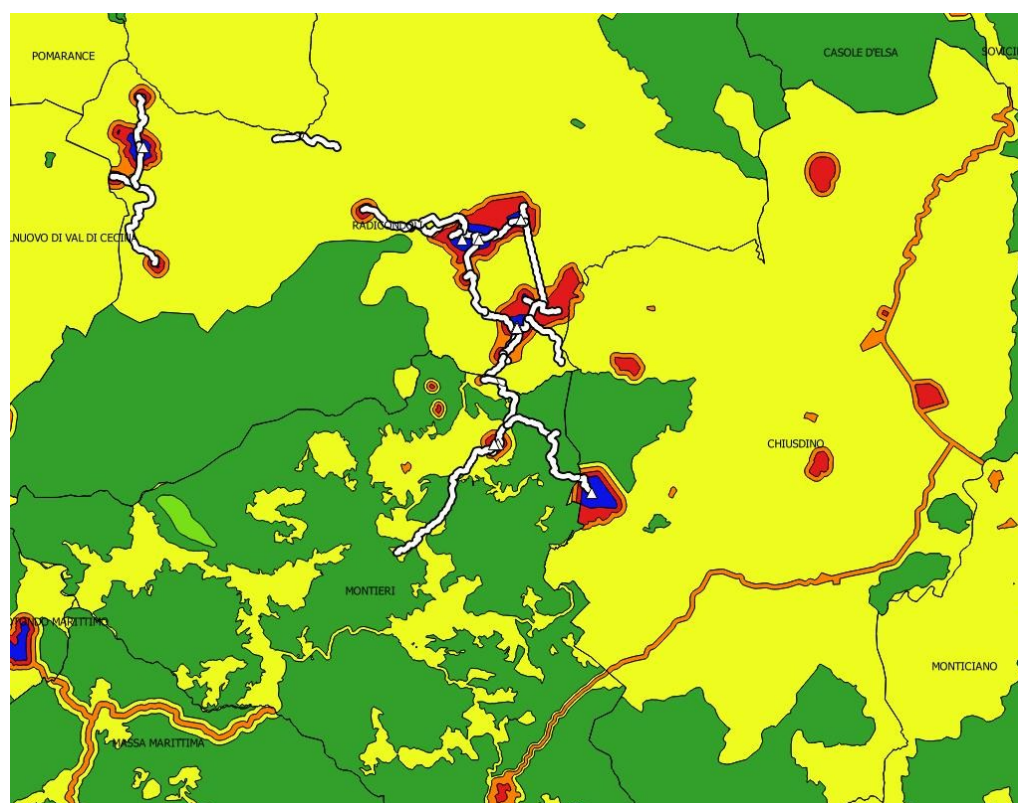
*Fig. 56: Area di interesse geotermico:mappa PCCA e centrali geotermoelettriche in esercizio, Aprile 2014.*





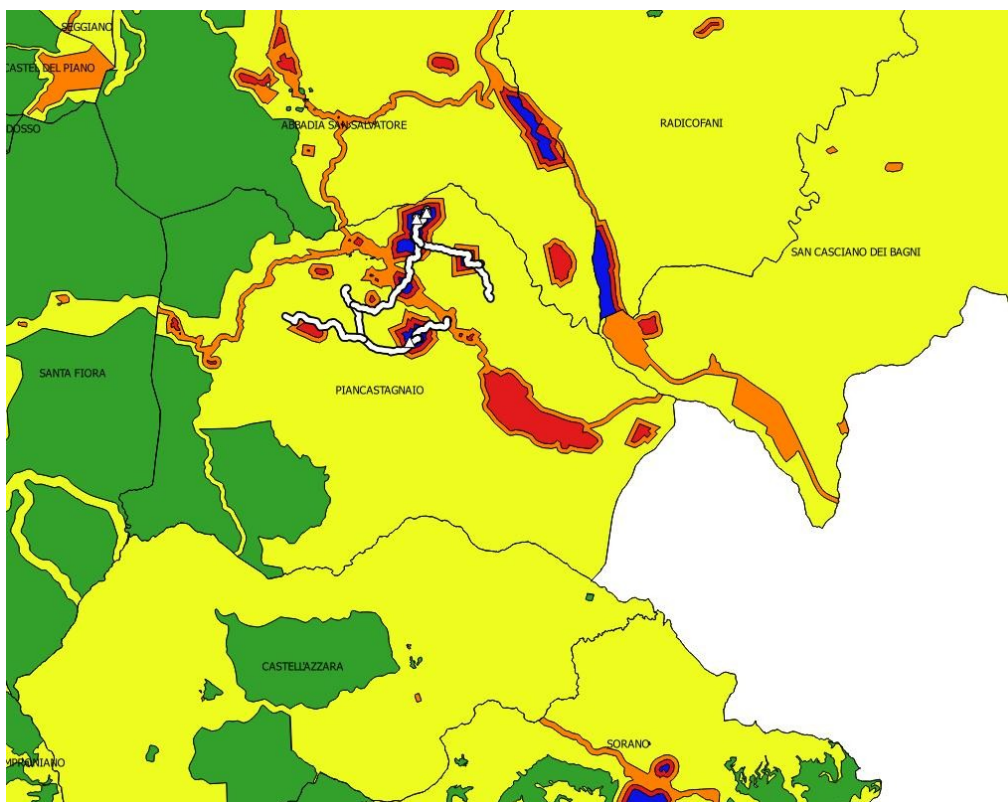
△Centrali GTE - □ Pozzi attivi/vapordotti

a) dettaglio area storica Pomarance



△Centrali GTE - □ Pozzi attivi/vapordotti

b) dettaglio area storica Radicondoli



△ Centrali GTE - □ Pozzi attivi/vapordotti

c) dettaglio area Monte Amiata

Fig. 57: Area di interesse geotermico: mappa PCCA e pozzi attivi/vapordotti, Aprile 2014

Attraverso lo strumento modellistico e, in fase di controllo, attraverso il monitoraggio deve essere valutato anche l'impatto acustico del traffico indotto nelle diverse fasi realizzative.

### 2.5.3.2 *Previsione dell'impatto acustico delle attività temporanee*

In merito all'impatto acustico delle attività temporanee la fase di cantiere vera e propria, connessa con la predisposizione della o delle postazioni di perforazione e/o della centrale, è del tutto assimilabile per durata e impatto a quella di un normale cantiere edile per la realizzazione di un'opera civile, compreso il posizionamento dell'impianto di perforazione nel caso delle postazioni di perforazione e compresa, per entrambe le casistiche, la movimentazione dei materiali. L'impatto acustico in questa fase, generalmente limitato al solo periodo diurno di attività del cantiere, ed è direttamente collegato ai macchinari impiegati (tipologia e potenza acustica degli stessi) e alle modalità/durata del loro utilizzo ovvero, nel caso del trasporto materiale, alla individuazione di percorsi di minore impatto sugli eventuali ricettori esistenti lungo gli stessi.

La durata dei lavori di questa fase è tipicamente di circa 2 mesi per la realizzazione delle piazzole e di circa 5 mesi per la preparazione del sito e circa 8 mesi per la costruzione delle opere civili della centrale.



A tale fase fa seguito, nel caso della predisposizione delle piazzole di perforazione, la fase di perforazione del pozzo/pozzi (generalmente da 2 a 5 pozzi per piazzola).

La durata della fase di perforazione di un pozzo varia in dipendenza della profondità e delle caratteristiche del sito e può andare da 2 a 6 mesi. L'emissione acustica che ne deriva è continua nell'arco delle 24 ore.

In Tabella 94 sono riportata la potenza acustica delle principali sorgenti sonore di un impianto di perforazione tipico. Oltre che dal valore della potenza sonore le diverse sorgenti sono caratterizzate ognuna da uno specifico spettro sonoro ovvero da una specifica distribuzione delle emissioni sonore nel campo delle frequenze. La conoscenza di tale spettro completa le informazioni necessarie per la valutazione dell'impatto acustico durante la fase di perforazione in quanto per distanze crescenti l'abbattimento del rumore emesso varia a seconda delle frequenze di emissione dello stesso in quanto varia la sua interazione con il suolo e gli ostacoli in genere e con l'aria.

Descrizione	Tipo	Potenza dB(A)
<i>Sonda di perforazione</i>	Puntuale	98
<i>Generatori elettrici</i>	Puntuale	93
<i>Vibrovagli</i>	Puntuale	93
<i>Pompa triplex</i>	Puntuale	92
<i>Compressori</i>	Puntuale	90
<i>Pompa per alimentazione acqua alla piazzola di perforazione</i>	Puntuale	95

Tabella 11: Potenza acustica delle principali sorgenti sonore di un impianto di perforazione tipico

In Figura 58 è riportato a scopo esemplificativo il risultato grafico della valutazione di impatto acustico della fase di perforazione di un pozzo con le caratteristiche di cui alla Tabella 11. Dall'esame della figura è possibile vedere come a distanza superiori a 400 m l'impatto dell'attività può essere considerato trascurabile in relazione al rispetto dei limiti propri di un'area di

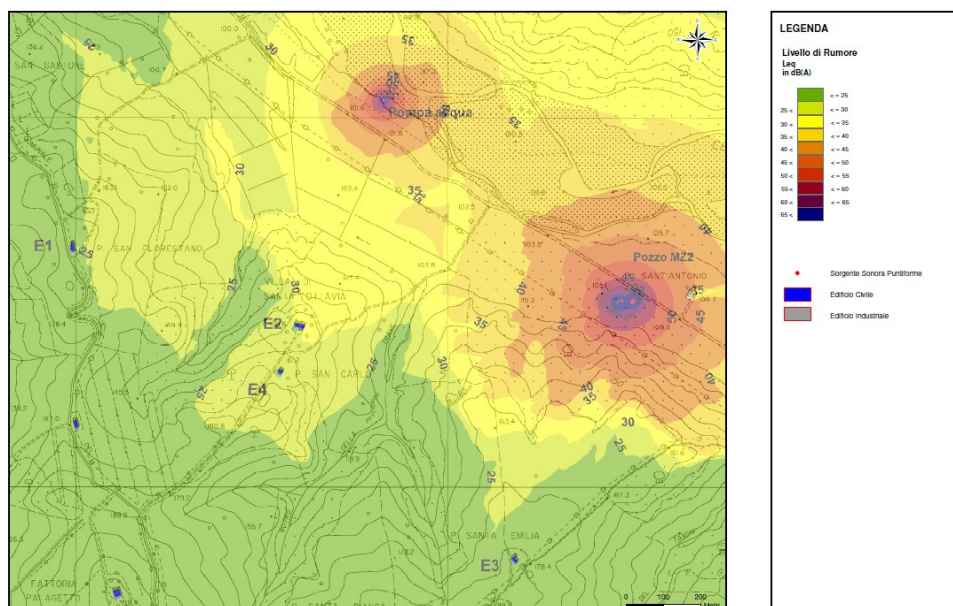
**Classe III.** Ovviamente, la natura dei luoghi ovvero la presenza o meno di ostacoli naturali nonché le caratteristiche più o meno riflettenti del terreno possono influire sui risultati e quindi sulla definizione dell'area di studio dell'impatto che cautelativamente dovrebbe essere almeno raddoppiata come nel caso dell'esempio. La presenza di eventuali ricettori (edifici di civile abitazione), entro l'area di impatto stimata della sorgente di rumore, costituita dall'impianto di perforazione, comporta l'opportunità di valutare la necessità di interventi di mitigazione sulla sorgente stessa o sulla via di propagazione del rumore tra sorgente e ricettore ovvero, in prossimità o sullo stesso ricettore.

La fase successiva, sempre nel caso delle postazioni di perforazione, è costituita dalla fase di prova di produzione/reiniezione dei pozzi avente una durata che va da qualche giorno fino a 1-2 settimane per pozzo. La sorgente di emissione di maggiore impatto, circa 115 dB(A) in scarico libero, continua nell'arco delle 24 ore, è rappresentata in questa fase dallo scarico dei fluidi dal sistema di prova collegato al boccapozzo. L'adozione di orifizi dotati di filtri silenziati permette generalmente di limitare l'emissione acustica di tale fase a valori inferiori.

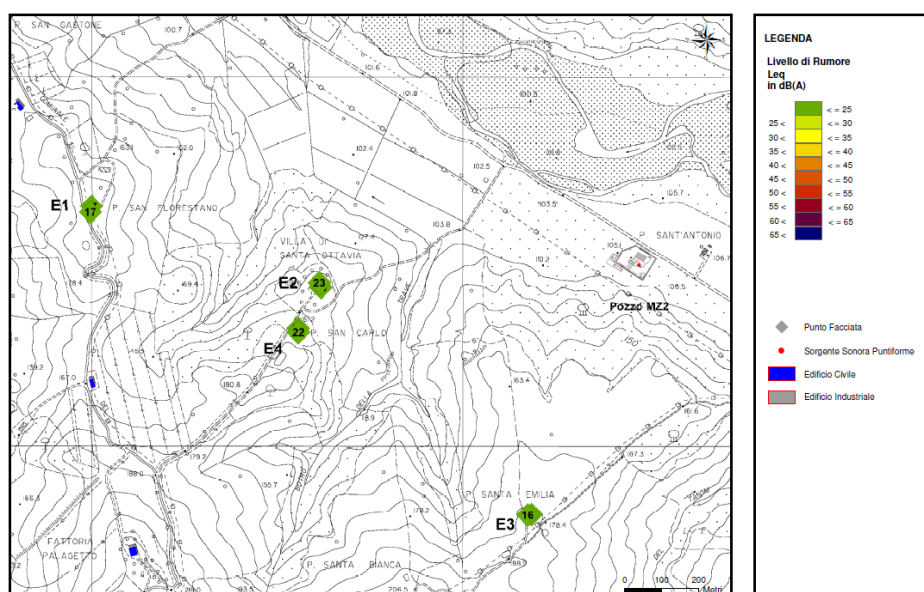
In Figura 59 con riferimento alla stessa postazione di Figura 58 è visibile l'impatto acustico generato in tale fase presso i ricettori individuati nello studio previsionale di impatto acustico. La previsione di un'area di esclusione dalla presenza di ricettori è la principale e più cautelativa misura di mitigazione dell'impatto acustico in tale fase pur considerandone la durata temporanea limitata e quindi il possibile accesso ad autorizzazione in deroga dei limiti di emissione sonora.

#### ***2.5.3.3 Previsione dell'impatto acustico in fase di esercizio***

Le sorgenti di rumore presenti durante il funzionamento di una centrale geotermoelettrica, in assetto di normale esercizio, sono legate al funzionamento dei macchinari preposti alla produzione di energia elettrica quali: turboalternatore, compressore, trasformatore, pompa di circolazione dell'acqua di raffreddamento, torre di raffreddamento e condensatore con sezione di raffreddamento gas incondensabili.



*Fig. 58: Permesso di ricerca Mazzolla, progetto per la realizzazione di n. 2 pozzi esplorativi: esempio di curve di livello acustico equivalente ( $Leq$ ) valutate in fase di perforazione nell'area limitrofa all'impianto di perforazione di uno del pozzo MZ2.*



*Fig. 59: Permesso di ricerca Mazzolla, progetto per la realizzazione di n. 2 pozzi esplorativi: esempio di valori di livello acustico equivalente ( $Leq$ ) valutati in prossimità dei ricettori interessati durante le prove di produzione del pozzo MZ2.*

Il gruppo turbina, compressore, alternatore, ubicato in una cabina insonorizzata, è inserito all'interno del fabbricato macchine.

Le tubazioni di ammissione vapore, il separatore liquido/vapore, il

condensatore con sezione di raffreddamento dei gas incondensabili, la pompa di estrazione del condensato, la torre di raffreddamento e la stazione elettrica MT/AT sono invece collocati all'esterno del fabbricato macchine. Tra le sorgenti di centrale si deve considerare anche l'impianto AMIS, utilizzato per l'abbattimento dell'idrogeno solforato e del mercurio.

In Tabella 12 è riportata la potenza acustica delle principali sorgenti sonore di una centrale tipica ad alta entalpia. Per confronto nella Tabella 13 sono riportate le analoghe informazioni relative ad un impianto pilota a ciclo binario. Come per la fase di perforazione dei pozzi alla potenza sonora di ogni singola sorgente va associato lo spettro di emissione in frequenza della stessa da cui dipende l'entità dell'assorbimento a distanza del rumore da essa emesso.

<b>Sorgente</b>	<b>Tipo/Note</b>	<b>Livello potenza sonora unità superficie dB(A)/m2</b>	<b>Livello potenza sonora (*) dB(A)</b>
<b><i>Aspirazione torri refrigeranti</i></b>	<b>areale</b>	<b>80</b>	<b>–</b>
<b><i>Motori torri</i></b>	<b>puntuale</b>	<b>–</b>	<b>90</b>
<b><i>Ventilatori</i></b>	<b>puntuale</b>	<b>–</b>	<b>103</b>
<b><i>Sezione condensazion e</i></b>	<b>puntuale</b>	<b>–</b>	<b>103</b>
<b><i>Pompa ricircolo</i></b>	<b>puntuale</b>	<b>–</b>	<b>100</b>
<b><i>Refrigerante gas</i></b>	<b>puntuale</b>	<b>–</b>	<b>102</b>
<b><i>Fabbricato macchine (pareti e tetto)</i></b>	<b>areale/i</b>	<b>65</b>	
<b><i>Impianto AMIS</i></b>	<b>puntuale</b>	<b>–</b>	<b>97</b>
<b><i>Trasformator e</i></b>	<b>puntuale</b>	<b>–</b>	<b>89</b>

Tabella 12: Potenza acustica delle principali sorgenti sonore di una centrale tipica ad alta entalpia (\*) per singolo elemento installato



Sorgente	Tipo/Note	Livello potenza sonora per unità di superficie dB(A)/m <sup>2</sup>	Livello potenza sonora (*) dB(A)
<i>Condensatore</i>	areale	103	
<i>Gruppo pompa</i>	areale	100	
<i>Pompa alimentazione e fluido</i>	puntuale		90
<i>Turbina reiniezione fluido</i>	puntuale		90

Tabella 13: Potenza acustica delle principali sorgenti sonore di un impianto pilota a ciclo binario (\*) per singolo elemento installato

Le uniche sorgenti di rumore significative delle linee di trasporto del fluido geotermico sono costituite dalle valvole di sfioro del vapore, situate entro il recinto di centrale, le quali sono munite però di silenziatori. La durata dell'emissione sonora di queste valvole, simulabile con un sorgente puntuale di potenza sonora di circa 99 dB(A), è limitata nel tempo e si verifica solo in occasione di fuori servizio della centrale, quindi con tutte le altre sorgenti non attive.

Nelle Figura 60 e 101 sono rappresentati a scopo esemplificativo i risultati grafici della valutazione di impatto acustico della fase di esercizio e di fuori servizio di una centrale geotermica dotata di AMIS.

Da notare come l'isofona a 65 dB(A) sia pressoché ovunque contenuta entro il sedime d'impianto e quindi non vada ad interessare aree esterne alla classe VI assegnata/assegnabile allo stesso. Anche in questo caso, come per le attività temporanee, dall'utilizzo del modello acustico o, nel caso di centrali esistenti dal monitoraggio diretto del loro impatto acustico, discende la possibilità di circoscrivere un area di esclusione dalla presenza di edifici destinati/destinabili a civile abitazione. La dimensione di tale area dovrà essere tale che la classificazione acustica degli stessi ricettori non venga modificata a seguito dell'esercizio della centrale rispetto alle previsioni del PCCA.

### 2.5.3.4 Monitoraggio acustico

L'ARPAT nel tempo è intervenuta sul territorio al fine di monitorare l'effettivo impatto acustico legato allo sfruttamento dell'energia geotermica. A completamento delle informazioni contenute nei paragrafi precedenti, circa la previsione dell'impatto acustico in fase di perforazione dei pozzi e di esercizio delle centrali, si riporta nel seguito, per entrambe le fasi, una sintesi dei risultati disponibili a seguito di campagne di misura effettuate da ARPAT. Alcuni degli interventi di controllo descritti sono associati alla presentazione di esposti da parte di cittadini e/o a verifiche di ottemperanza a prescrizioni di VIA. I risultati delle misure oltre a dare indicazioni sul rispetto dei limiti di legge in fase di esercizio e in fase di cantiere compresa la movimentazione dei materiali di cantiere, forniscono anche informazioni circa:

- le effettive distanze di impatto acustico;
- la percezione del disturbo associato a determinati livelli di rumore misurato;
- l'evoluzione nel tempo del rumore in relazione alle altre sorgenti presenti e quindi al sua effettiva rilevanza rispetto al rumore di fondo dell'ambiente interessato.

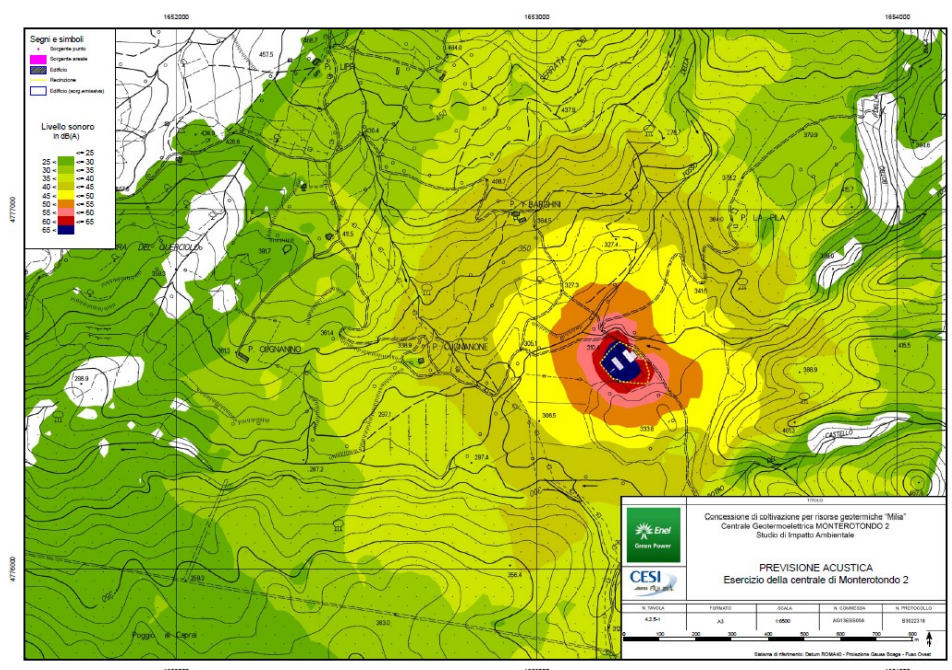


Fig. 60: Concessione di coltivazione per risorse geotermiche Milia: esempio di curve di livello acustico equivalente ( $L_{eq}$ ) valutate in fase di esercizio della centrale.

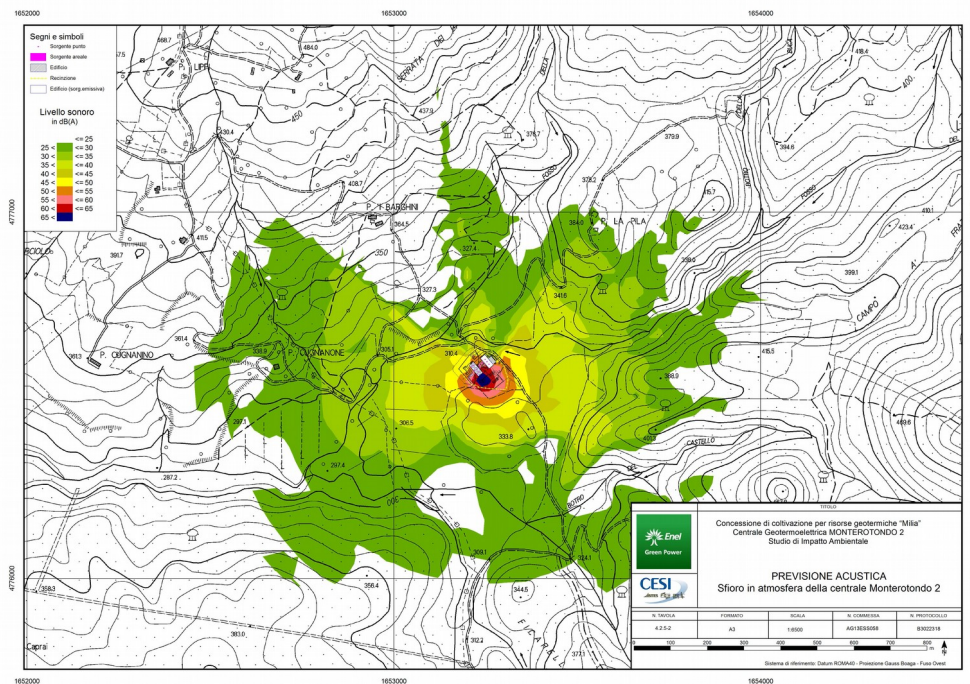


Fig. 61: Concessione di coltivazione per risorse geotermiche Milia: esempio di curve di livello acustico equivalente ( $Leq$ ) valutate in fase di fuori servizio della centrale.

Anche per i risultati del monitoraggio valgono le cautele indicate per i calcoli previsionali circa l'influenza dell'orografia del territorio e delle condizioni meteorologiche in corso di misura, pur nel rispetto, nel caso di queste ultime delle disposizioni di legge di cui al DM 16/03/98 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico".

Nel seguito sono analizzati gli impatti acustici associati alle varie attività attraverso esempi relativi a misure su varie tipologie di impianti rappresentativi delle attività nell'intera area geotermica.

#### 2.5.3.4.1 Monitoraggio dell'impatto acustico nelle fasi di perforazione e prova di un pozzo

La fase di perforazione e prova di un pozzo può, come sopra detto, essere distinta nelle seguenti sotto fasi:

- messa in opera del cantiere di perforazione;
- perforazione del pozzo;
- prove di erogazione.

Di seguito si riportano nelle Tabelle 14 e 15 i valori misurati da ARPAT, tra il 1998 e il 1999, in prossimità di due postazioni presso civili abitazioni ubicate a circa 500 m e 300 m di distanza dalle aree di cantiere dei pozzi "Montieri 4" e "Chiusdino 4" durante la fase di perforazione dei pozzi. In

entrambi i casi le aree interessate sono classificate in Classe III dal PCCA dei Comuni di Montieri (GR) e Chiusdino (SI).

I risultati delle misure evidenziano l'incremento del rumore di fondo nelle varie sotto fasi. In particolare, come dalle previsioni, l'attività più rumorosa è quella delle prove di erogazione. Livelli inferiori di rumore sono prodotti durante le fasi di montaggio e di perforazione che, come detto, hanno una durata notevolmente superiore e quindi, in generale, un peso maggiore dal punto di vista del possibile disturbo alla popolazione. Tra le due presenta un livello di impatto superiore la fase di perforazione vera e propria.

Per quanto riguarda i limiti di emissione e assoluto di immissione nel periodo notturno (ore 6-22) e il limite differenziale di immissione nel periodo notturno, ove applicabile, è necessaria (almeno nel caso del ricettore più vicino) l'adozione di misure di mitigazione (barriere mobili) o, in alternativa/concomitanza l'attivazione della prevista deroga al rispetto dei limiti di legge per attività temporanee almeno per la sottofase delle prove di erogazione..

SOTTO FASE	Leq,d (ore 6-22) dB(A)	Leq,n (22-6) dB(A)
Assenza di attività (periodo estivo)	49.5	40.0
Assenza di attività (periodo invernale)	42.0	35.0
Montaggio	47.0	46.5
Perforazione	50.5	44.0
Prove di erogazione	54.5	54.5

*Tabella 14: Postazioni "Montieri 4": valori di Leq rilevati presso abitazione a 500 m nelle varie sottofasi della fase di perforazione*

SOTTO FASE	Leq,d (ore 6-22) dB(A)	Leq,n (22-6) dB(A)
Assenza di attività (periodo estivo)	49.1	50.2
Montaggio	61.2	57.7
Perforazione	54.2	52.9

*Tabella 15: Postazioni “Chiusdino 4”,; valori di Leq rilevati presso abitazione a 300 m nelle varie sottofasi della fase di perforazione*

#### 2.5.3.4.2 Monitoraggio dell'impatto acustico prodotto dal traffico indotto

Per quanto riguarda il monitoraggio dell'inquinamento acustico dovuto al transito dei mezzi pesanti necessari al trasporto inerti si può fare riferimento, come esempio di impatto, al caso del cantiere della centrale geotermica “Travale 4”. Si riportano di seguito i risultati della campagna di monitoraggio effettuata da ARPAT nel 2002. Le misure sono state effettuate in due postazioni nel centro abitato di Castelnuovo Val di Cecina interessato dall'attraversamento. Le modalità di misura utilizzate sono state le stesse previste dal DM 16/03/98 sopra citato per il rumore stradale.

In Figura 62 è riportato l'andamento dei valori di Leq misurati in una delle due postazioni nell'arco della settimana di misure effettuate e in Figura 63 il corrispondente andamento del contributo dei mezzi di cantiere.

I risultati della campagna di monitoraggio evidenziano come il passaggio dei mezzi pesanti abbia modificato la situazione preesistente anche se in modo contenuto essendo quasi sempre inferiori a 1 dB.

#### 2.5.3.4.3 Monitoraggio dell'impatto acustico di una centrale geotermica in fase di esercizio

Al fine di fornire indicazioni sull'impatto acustico di una centrale in esercizio nel seguito sono descritti i risultati di una indagine presso la centrale “Larderello 3” nel Comune di Pomarance. La campagna di misure è stata effettuata nel 2005 nell'ambito di una campagna di rilevamento che ha interessato anche una serie di pozzi in esercizio. Tra questi si riportano i dati misurati relativi al pozzo “Gabbro 12” che alimenta la centrale “Nuova Gabbro” ubicata anch'essa nel Comune di Pomarance.

I siti di misura sono riportati nelle Figure 105 e 66 insieme all'attuale



classificazione acustica dei PCCA dei comuni interessati, mentre nelle Figure 65 e 67 sono sintetizzati i risultati. In particolare, nelle tabelle associate a tali figure sono indicati i valori di  $Leq,n$  e  $Leq,d$  riferiti all'intero periodo delle misure. Tali valori sono congruenti con le previsioni modellistiche ante-operam, come lo sono i valori limite assoluti di immissione con la classificazione dell'area di ubicazione della centrale: classe IV per il ricettore in Località Bagno al Morbo e classe III per il ricettore in Località Le Roccaie.

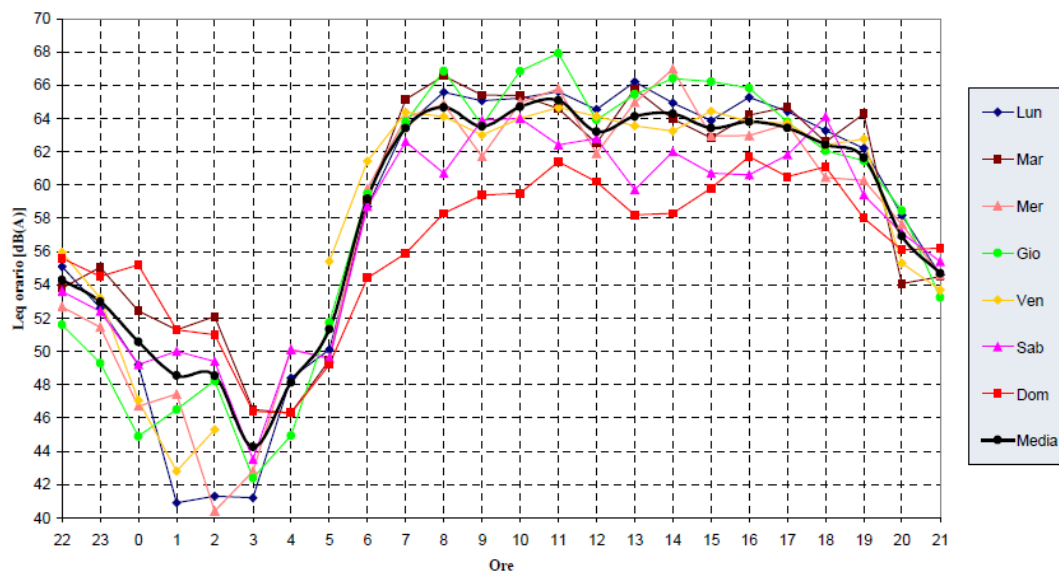


Fig. 62: Comune di Castelnuovo Val di Cecina, monitoraggio acustico in fase di cantiere centrale "Travale 4": andamenti  $Leq$  orari misurati per giorno della settimana

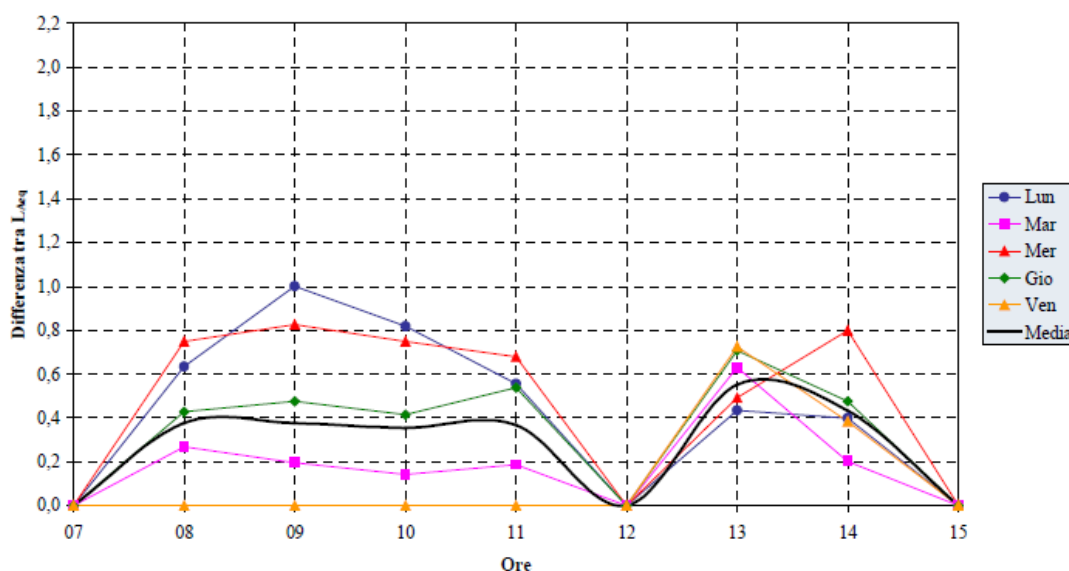


Fig. 63: Comune di Castelnuovo Val di Cecina, monitoraggio acustico in fase di cantiere centrale "Travale 4": Andamenti contributo passaggio mezzi pesanti sui  $Leq$  orari misurati

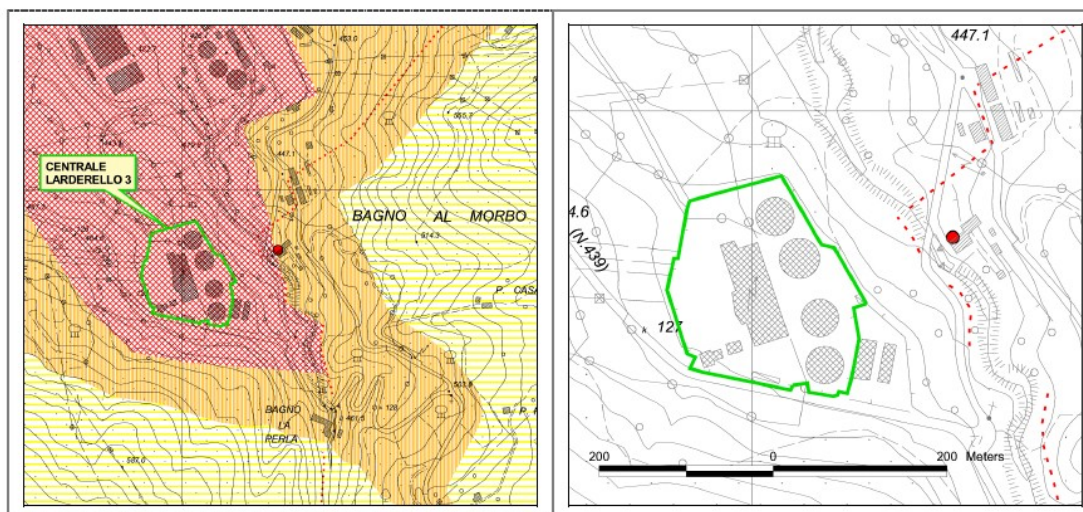
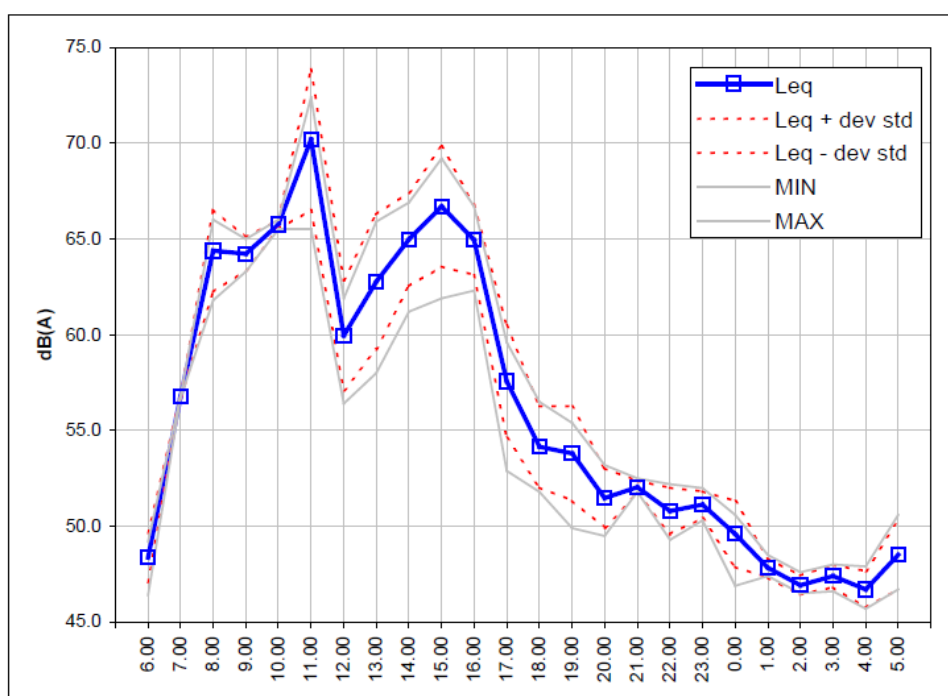


Fig. 64: Comune di Castelnuovo Val di Cecina, Località Bagno al Morbo – Centrale “Larderello 3”: cartografia del sito di misura (evidenziato con pallino rosso)



Periodo di rilevamento (inizio - fine):	<b>16/08/2005</b>	<b>19/08/2005</b>
Ore complessive di misura:	<b>66 ore</b>	
Strumentazione utilizzata (marca/mod.):	<b>O1dB-Stell / SIP95S (N° 20560)</b>	
Certificato taratura (data/certif./SIT):	<b>14.02.05 / F0050_05 / SIT 164</b>	
$L_{eq,TL}$ diurno:	<b>61.5 dB<sub>A</sub> (arrotondato a 0.5)</b>	
$L_{eq,TL}$ notturno:	<b>49.0 dB<sub>A</sub> (arrotondato a 0.5)</b>	

Fig. 65: Comune di Castelnuovo Val di Cecina, Località Bagno al Morbo Morbo – Centrale “Larderello 3”: andamento e variabilità Leq orari misurati

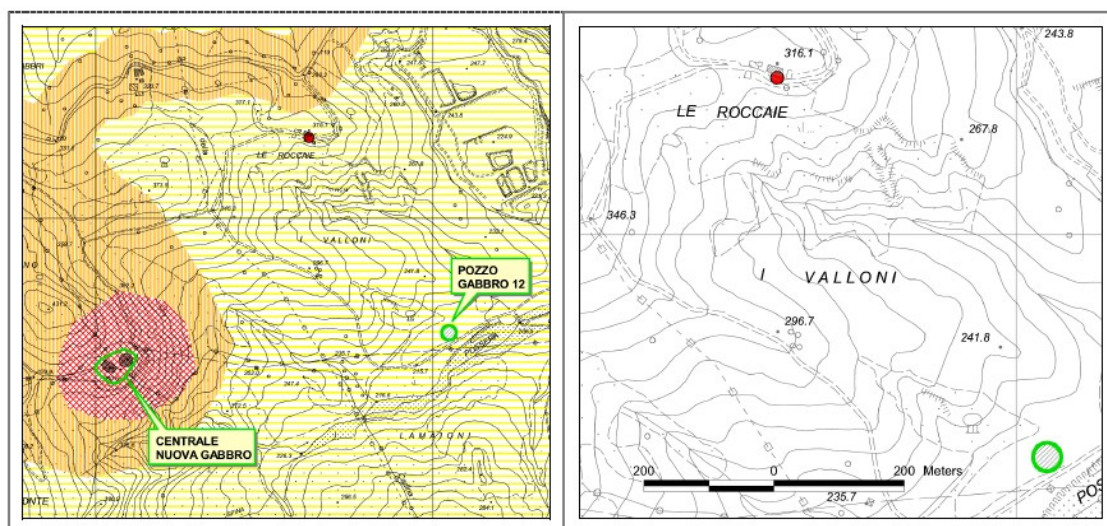
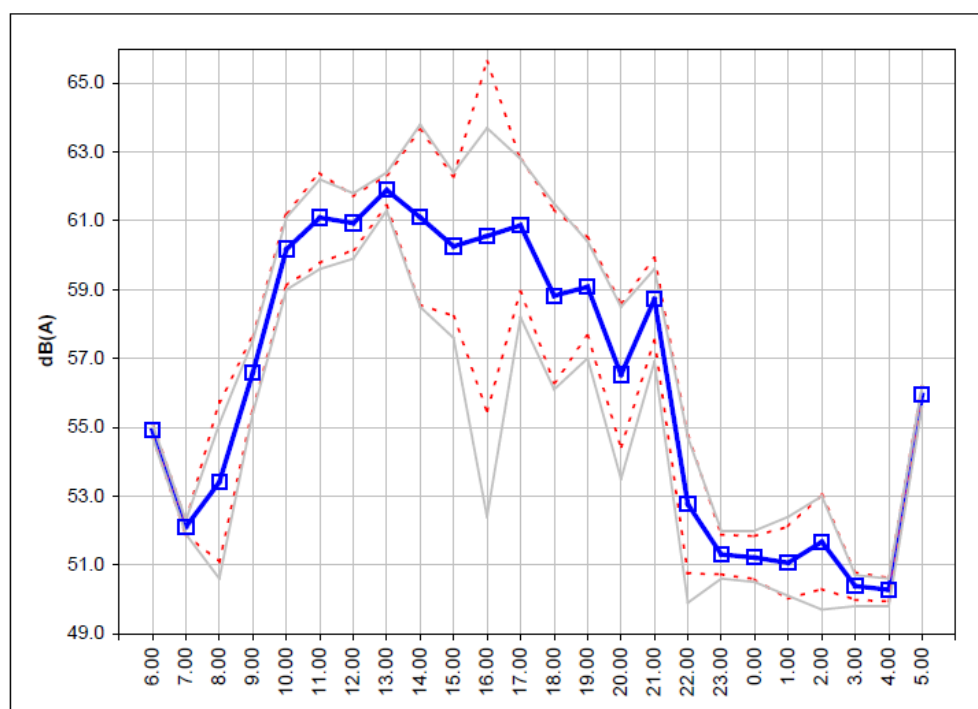


Fig. 66: Comune di Pomarance, Località Le Roccaie – Pozzo “Gabbro 12”: cartografia del sito di misura (evidenziato con pallino rosso)



Periodo di rilevamento (inizio - fine):	12/07/2006	15/07/2006
Ore complessive di misura:	66 ore	
Strumentazione utilizzata (marca/mod.):	O1dB-Stell / SIP95S (N° 20558)	
Certificato taratura (data/certif./SIT):	14.02.05 / F0051_05 / SIT 164	
$L_{eq,TL}$ diurno:	59.5 dB <sub>A</sub> (arrotondato a 0.5)	
$L_{eq,TL}$ notturno:	52.0 dB <sub>A</sub> (arrotondato a 0.5)	

Fig. 67: Comune di Pomarance, Località Le Roccaie – Pozzo “Gabbro 12”: andamento e variabilità  $L_{eq}$  orari misurati

#### **2.5.3.4.4 Monitoraggio dell'impatto acustico in fase di disservizio della centrale**

**In caso di disservizio della o delle centrali alimentate da un pozzo il fluido geotermico viene rilasciato in atmosfera completamente o in parte attraverso i silenziatori presso la postazione mineraria interessata.**

**Di seguito si forniscono i risultati relativi a tale fase per il pozzo "Bagnore 25" ubicato nel Comune di Arcidosso. Senza entrare nel merito delle cause dell'emergenza si riferisce solamente che la situazione di scarico si è verificata a seguito del disservizio della centrale "Bagnore 3" nel novembre 2011. Con entrambi i silenziatori in funzione, ARPAT ha effettuato una serie di misure in 3 postazioni a varie distanze dal pozzo per caratterizzarne l'impatto acustico. Più in particolare la postazione 1 dista circa 400 m dal pozzo, che si trova nella vallata sottostante. La postazione 2 dista circa 50 m dal pozzo ed è posta più in basso e parzialmente schermata da una collinetta. Infine, la postazione 3 dista 10 m dal pozzo. Le misure nelle postazioni 1 e 2 sono state effettuate a finestre aperte all'interno di un locale delle abitazioni interessate.**

**La Figura 68 mostra la mappa del territorio interessato con le postazioni di misura evidenziate.**

**Tutte le postazioni si trovano in un'area di classe II del PCCA del Comune di Arcidosso (area verde nella mappa).**

**I risultati delle misure nelle tre postazioni sono riassunti nelle Tabelle 108, 17 e 18. Dall'esame dei risultati si evince il rispetto dei limiti di legge (emissione e assoluto di immissione), per un'area di classe II. Considerati i valori misurati presso la postazione 2 in assenza della sorgente disturbante (fine disservizio e chiusura valvole di sfioro), il limite differenziale di immissione non è applicabile in quanto "ogni effetto del rumore è da ritenersi trascurabile" ai sensi dell'art. 2, comma 2, lettera a) del DPCM 14/11/97.**

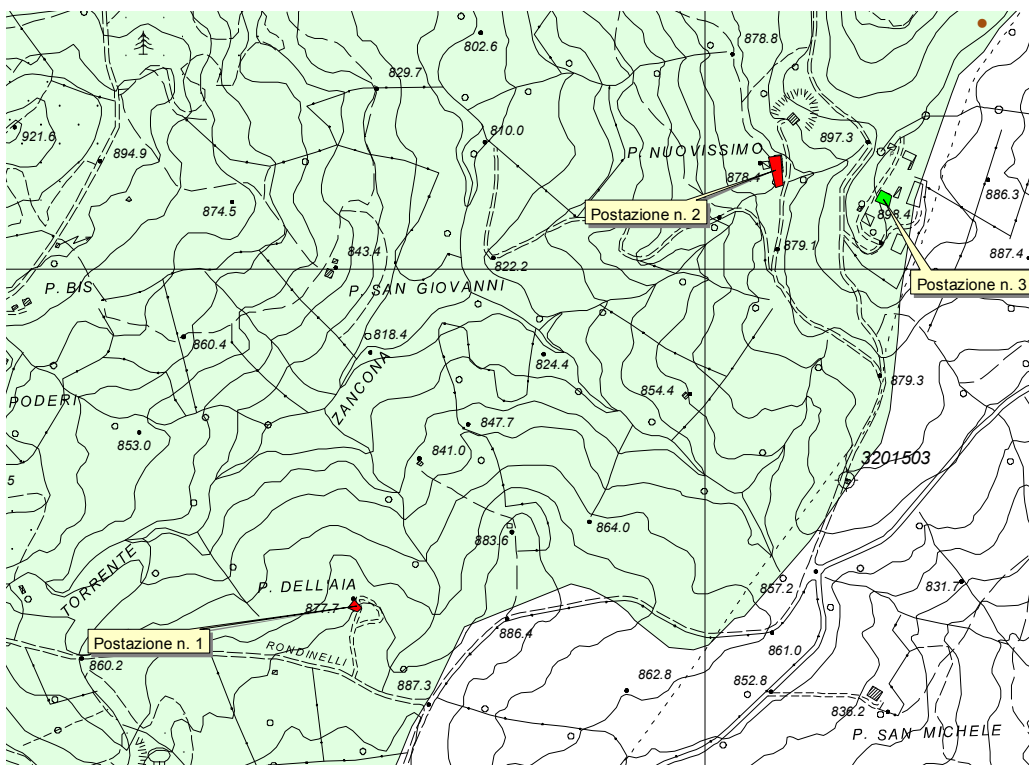


Fig. 68: Comune di Arcidosso – Pozzo “Bagnore 25”: cartografia del sito di misura (evidenziate in rosso le postazioni di misura 1 e 2 e in verde la postazione 3)

PARAMETRO	DATA (30/11/2006)
Leq(A)	27.5
LAF Min	18.0
LAF Max	65.0

Tabella 16: Comune di Arcidosso – Pozzo “Bagnore 25”: risultati delle misure in postazione 1

PARAMETRO	DATA (30/11/2006)	DATA (01/12/2006) (*)
Leq(A)	38.0	24.5
LAF Min	30.5	17.0
LAF Max	58.0	45.0

Tabella 17: Comune di Arcidosso – Pozzo “Bagnore 25”: risultati delle misure in postazione 2

(\*) ripristino disservizio



PARAMETRO	DATA (30/11/2006)
Leq(A)	69.5
LAF Min	67.0
LAF Max	75.0

Tabella 18: Comune di Arcidosso – Pozzo “Bagnore 25”: risultati delle misure in postazione 3

## 2.6 Caratterizzazione geologica e idrogeologica del territorio

La struttura geologica delle zone geotermiche toscane è caratterizzata da una serie di formazioni, frutto di processi geodinamici compressivi e distensivi che si sono succeduti negli ultimi trenta milioni di anni nel caso di Larderello-Travale, o di fenomeni effusivi che hanno generato un'importante struttura vulcanica in età quaternaria, nella caso del Monte Amiata.

In ogni caso un sistema geotermico è composto da un "serbatoio" confinato tra due strati impermeabili e può essere schematicamente rappresentato nel modo seguente:

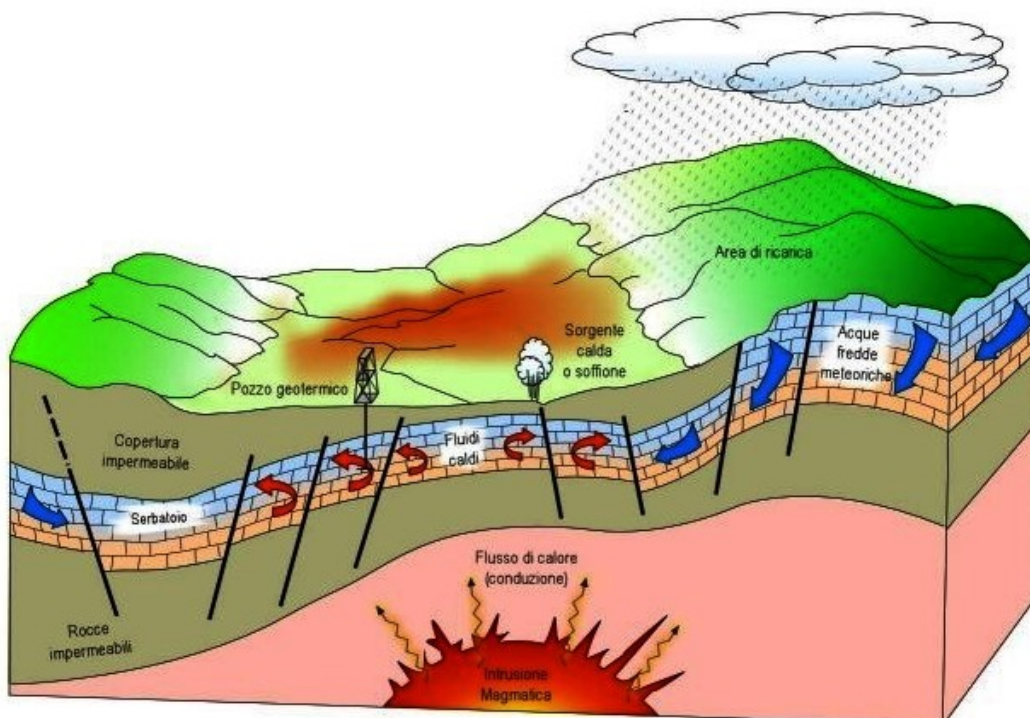


Fig. 69: Schema serbatoio geotermico (Fonte CNR)

Nell'area geotermica di Larderello-Travale-Radicondoli ad un primo complesso superficiale di formazioni neoautoctone, comprendenti argille,

sabbie e conglomerati, segue un complesso di formazioni alloctone comprendente formazioni composte da argilliti, calcari marnosi e arenari che possono contenere masse ofiolitiche. Queste due unità costituiscono la copertura impermeabile del serbatoio geotermico.

Quindi incontriamo formazioni costituite nella parte più alta da formazioni non carbonatiche (macigno, scisti policromi) e inferiormente dalle formazioni carbonatico-evaporitiche che costituiscono il serbatoio del sistema geotermico.

Sotto questo complesso geologico si trova il basamento metamorfico regionale contraddistinto dalle formazioni costituite da Filladi, Micascisti e Gneiss. Infine sono presenti rocce termo metamorfiche e intrusioni granitiche  
..

La fonte di calore che alimenta il sistema geotermico è stata identificata in un'intrusione granitica in via di raffreddamento a una profondità tra i 5-10 km.

Il sistema geotermico toscano presenta due serbatoi geotermici, uno superficiale e uno più profondo; il tetto del serbatoio superficiale è ubicato ad una profondità compresa tra i 400 e i 1500 mt e presenta un sistema di fratturazione che lo rende estremamente permeabile e uniformemente produttivo, con temperature che possono raggiungere i 250°C. Il serbatoio profondo, è invece ubicato all'interno delle formazioni metamorfiche del basamento tra i 2500 e i 4500 mt e presenta zone permeabili discontinue, intervallate da porzioni di rocce con bassa permeabilità che costituiscono talvolta vere e proprie barriere di permeabilità.

Attività esplorative hanno individuato alla profondità di 3000 m una temperatura omogenea lungo tutta la sezione che attraversa i campi di Larderello e Travale- Radicondoli, mostrando l'univocità del sistema costituito dai due campi geotermici, che pertanto sono da ritenersi collegati a livello del serbatoio più profondo.

Spostandosi dal centro del sistema geotermico le temperature decrescono progressivamente, raggiungendo nelle zone periferiche valori di circa 100°C a 1000 m di profondità.

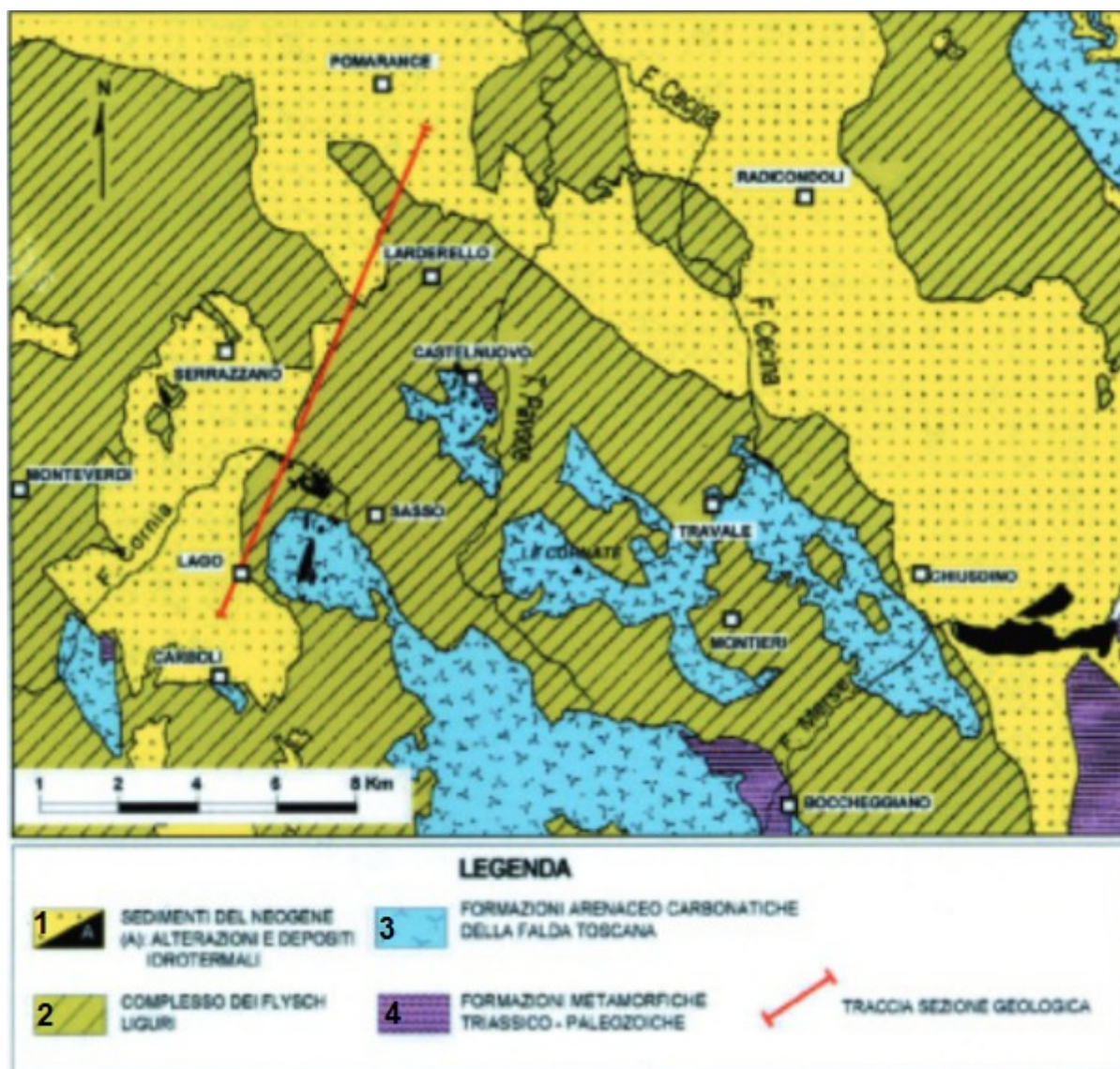
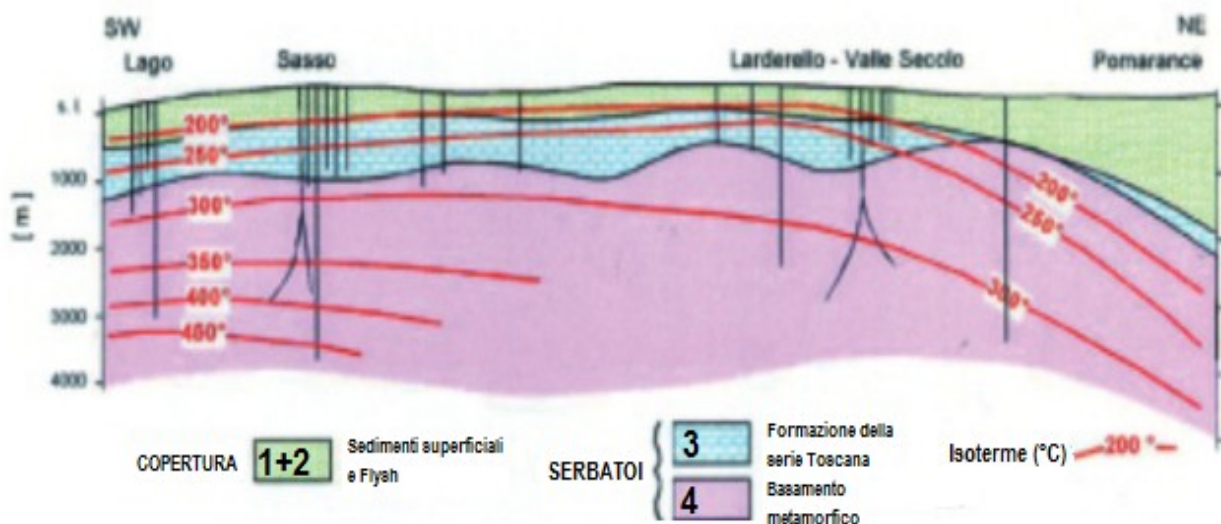


Fig. 70: Carta geologica area geotermia tradizionale



	Formazioni
1	Sedimenti superficiali
2	Flysh ligure
3	Serie toscana contenente il primo serbatoio geotermico
4	Basamento metamorfico contenente il serbatoio profondo

Fig. 71: Sezione Geologica parziale del campo evidenziata in rosso nella precedente figura (Fonte ENEL 2005)

L'altro sistema geotermico della Toscana, costituito dai campi di Bagnore e Piancastagnaio, è localizzato in prossimità del Monte Amiata.

In questa zona si sono verificati fenomeni effusivi che hanno generato un'importante struttura vulcanica in età quaternaria, caratterizzata da rocce vulcaniche permeabili ospitanti un importante acquifero che alimenta oltre 200 sorgenti. Tra queste le principali, impiegate ad uso idropotabile, sono quelle del Fiora (900–1300 l/s) e di Ermicciolo (150 l/s circa).

Sotto le vulcaniti sono presenti formazioni analoghe a quelle presenti nella zona di Larderello-Travale: un primo complesso fliscioide di rocce impermeabili, quindi la serie Toscana ed il basamento metamorfico.

Analogamente al campo di Larderello la sorgente di calore, , si ritiene dovuta alla presenza di un'intrusione granitica a una profondità tra i 5000–7000 mt.



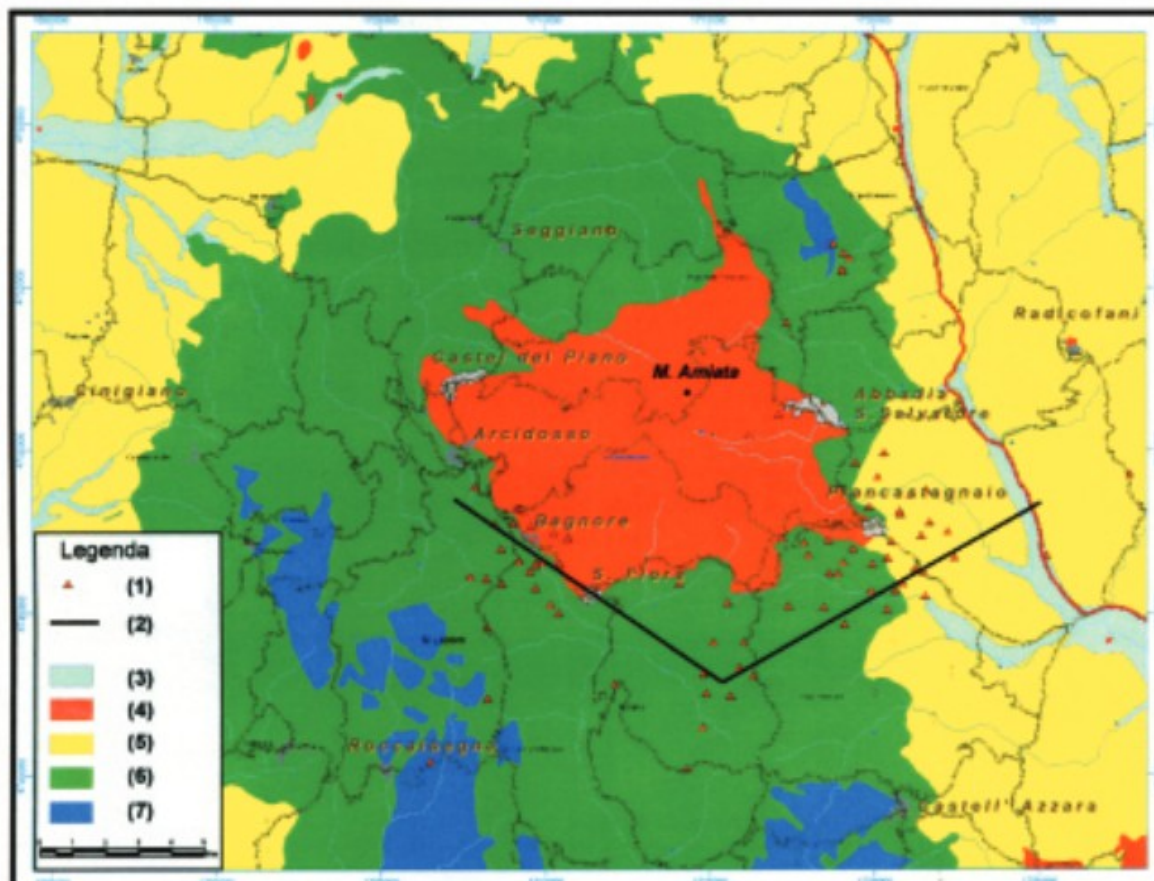


Fig. 72: Schema geologico dell'area del Monte Amiata: (1) Pozzi geotermici, (2) Traccia sezione geologica, (3) Depositi alluvionali, (4) Vulcaniti, (5) Formazioni neoautoctone, (6) Insieme ligure, (7) Serie Toscana. (Fonte ENEL 2005).

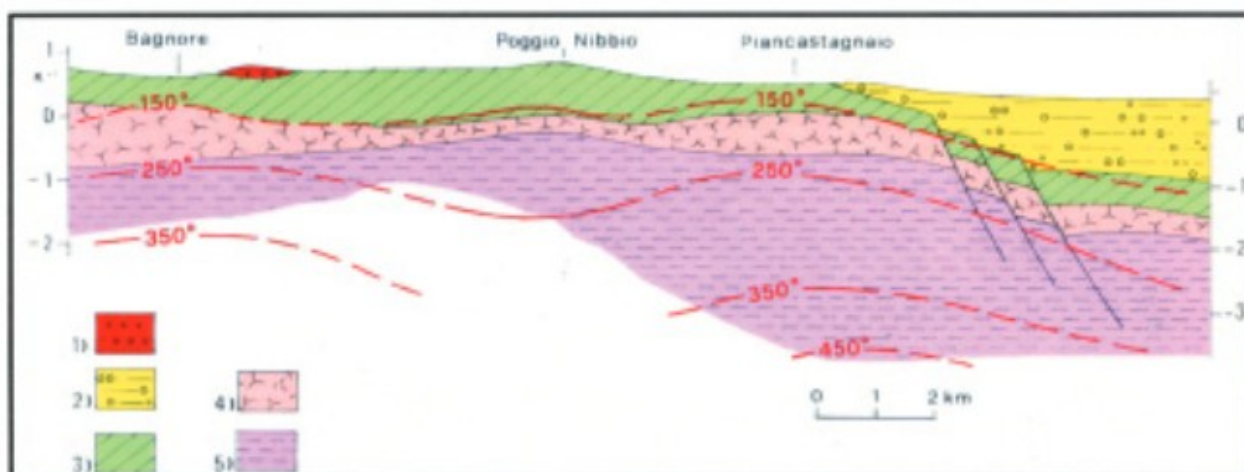


Fig. 73: Sezione Geologica parziale dei campi geotermici di Bagnore e Piancastagnaio. (1) Vulcaniti, (2) Formazioni neoautoctone, (3) Insieme Ligure, (4) Insieme Toscano, (5) Basamento Metamorfico. (Fonte ENEL 2005)

Anche nell'area geotermica di Bagnore-Piancastagnaio sono presenti due serbatoi geotermici, uno superficiale, compreso entro i primi 1500 m, e uno più profondo, compreso tra 2000 e 4500 m di profondità.



**Il fluido del sistema geotermico amiatino è costituito da acqua in pressione mentre in quello di Larderello, è presenta un fluido costituito esclusivamente da vapore surriscaldato.**

**Le temperature registrate al tetto del serbatoio superficiale nei campi di Bagnore e Piancastagnaio sono inferiori rispetto a quelle della regione boracifera di Larderello e variano tra valori di 160° C con una pressione di 22 bar di pressione per il campo di Bagnore, e 220° C con 42 bar di pressione per quello di Piancastagnaio.**

## ***2.7 Analisi della componente radioattività***

### **2.7.1 Introduzione**

Nel fluido geotermico estratto sono presenti sostanze radioattive naturali (NORM, natural occurring radioactive materials). Si tratta del gas radon (Rn-222) e di radionuclidi solidi di vario tipo (Ra-224, Ra-226, Pb-210, Pb-212, ecc.). Il radon viene rilasciato in aria, assieme agli altri gas incondensabili presenti nel fluido, in corrispondenza delle torri di refrigerazione e si va ad aggiungere al radon normalmente presente nell'ambiente per cause naturali. I materiali solidi si accumulano come incrostazioni lungo le parti di impianto in cui scorre il fluido, in particolare i vapordotti, diventando possibile causa di esposizioni in lavoratori e pubblico che stazionano in prossimità degli impianti.

### **2.7.2 Normativa**

Le attività di sfruttamento dell'energia geotermica non sono attualmente esplicitamente soggette alla normativa italiana di radioprotezione: non sono presenti nell'elenco dell'art 10-bis “Esposizioni da attività lavorative con particolari sorgenti naturali di radiazione” capo III-bis del d. lgs 230/95, né nel punto 1 dell'Allegato I-bis del d. lgs il quale elenca le attività lavorative che utilizzano o producono “residui abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali e provocano un aumento significativo dell'esposizione di persone del pubblico e, eventualmente, dei lavoratori.”.

La Direttiva europea 2013/59/Euratom del 5/12/2013 (“che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom”) ha però inserito la produzione di energia geotermica (compresa la ricerca e i processi secondari pertinenti) nell'elenco delle attività di cui all'Allegato VI, nel le quali è previsto quanto esposto più avanti. La Direttiva dovrà essere recepita dall'Italia entro il 6 febbraio 2018. L'articolo 23 della Direttiva prevede che “Gli Stati membri garantiscono l'individuazione di classi o tipi di 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. L'individuazione è effettuata con i mezzi appropriati, tenendo conto dei settori industriali elencati nell'allegato VI”. Le suddette classi di pratiche individuate dagli Stati membri sono soggette al controllo regolamentare (obbligo di notifica e

ispezioni). Gli Stati membri possono esentare dal controllo regolamentare (art 26) pratiche che trattano materiali con concentrazione o attività totale inferiore alle soglie specificate per ogni radionuclide nelle tabelle allegate alla direttiva.

La medesima Direttiva stabilisce disposizioni relative all'esposizione al radon negli ambienti chiusi, sia abitazioni che luoghi di lavoro, scuole comprese. L'articolo 74 richiede agli Stati membri di stabilire livelli di riferimento nazionali per le concentrazioni medie annue di radon in ambienti chiusi, che non siano superiori a 300 Bq/mc. Il medesimo articolo prevede che gli Stati membri promuovano interventi volti a individuare le abitazioni che presentano concentrazioni di radon superiori al livello di riferimento e se del caso, incoraggino, con strumenti tecnici o di altro tipo, misure di riduzione della concentrazione di radon in tali abitazioni.

#### ***2.7.2.1 Limiti di dose per la popolazione***

Il limite di dose per l'esposizione della popolazione non dovuta a cause naturali o volontarie (per scopi medici) è stabilito pari a 1 mSv all'anno, sia dall'attuale normativa nazionale (d. lgs 230/95 art 96, Allegato IV) che dalla direttiva europea (art 12). Si consideri che la dose di esposizione media (media geometrica) della popolazione in Italia per l'esposizione a sorgenti di radiazioni naturali (dovuto in buona parte al gas radon) è circa 2,4 mSv all'anno.

#### **2.7.3 Dati ed indagini regionali e di Enel**

##### ***2.7.3.1 Indagine regionale 2006-2010 sulle concentrazioni di radon in abitazioni e luoghi di lavoro***

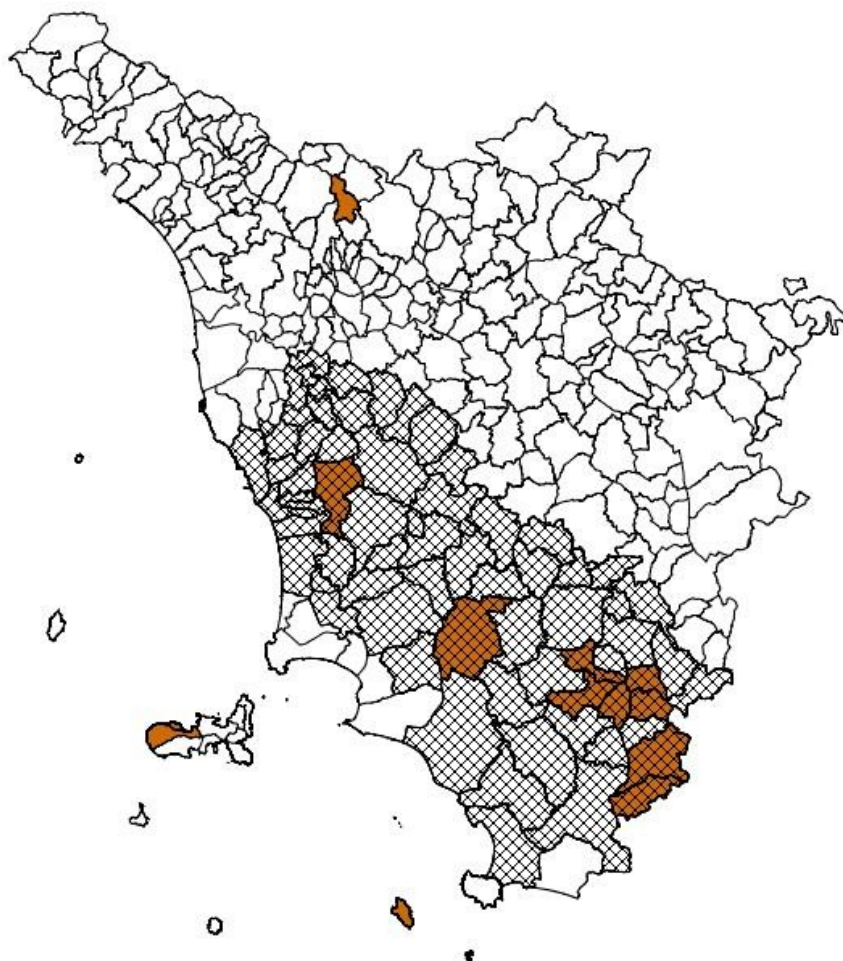
Attraverso la misurazione della concentrazione di radon media annua in migliaia di abitazioni sono state acquisite informazioni riguardo la diffusione del radon in tutto il territorio regionale ed ufficializzate successivamente con la DGR 1019/2012 “Indagine regionale sul gas radon negli ambienti di vita e di lavoro. Individuazione delle aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon ai sensi dell’art. 10 sexies del D.Lgs. n. 230/95 e s.m.i. – Diffusione dei dati statistici per comune riassuntivi delle misurazioni effettuate.”

Con la suddetta DGR sono stati ufficialmente individuati 13 comuni a maggior rischio radon, per i quali la percentuale di abitazioni con concentrazione di radon superiore a 200 Bq/mc è stata pari ad almeno il 10%: Abbadia San Salvatore, Arcidosso, Castel del Piano, Isola del Giglio, Marciana, Marciana Marina, Montecatini Val di Cecina, Piancastagnaio, Piteglio, Pitigliano, Roccastrada, Santa Fiora, Sorano. Una buona parte dei

comuni in questione appartengono al territorio regionale a potenzialità geotermica.

Si sottolinea che l'indagine ha interessato tutti i comuni toscani; tra i comuni non classificati alcuni hanno mostrato concentrazioni di radon non trascurabili; per procedere ad un'eventuale classificazione sarà necessario acquisire ulteriori misurazioni.

L'analisi della correlazione fra i valori di radon indoor e le formazioni geologiche della Toscana mostra che le aree con la maggiore presenza di radon corrispondono a formazioni geologiche di origine magmatica, le quali si trovano nella zona dei tufi, nell'Amiata e nelle isole.



*Fig. 74: Area ad interesse geotermico e comuni a rischio radon ai sensi della DGR 1019/2012*

#### **2.7.3.2      *Carta del contenuto di radioattività del territorio della regione Toscana***

Realizzata nel 2011 dal Centro di Geotecnologie dell'Università di Siena, all'interno del Progetto CIPE "Geologia e radioattività naturale"

(finanziamento con DD 2353/2008), è stata volta a misurare, tramite spettrometria dei campioni di roccia e di suolo, le abbondanze di K-40, di eU (Uranio equivalente; fanno parte della serie dell'uranio tra gli altri il radon Rn-222, Ra-226, Pb-210) e di eTh (Torio equivalente; fanno parte della serie del torio tra gli altri il Ra-224, Pb-212). La mappa è stata elaborata sulla base della Carta geologica della Toscana ('Carta geologica della Toscana' 1:250.000, Carmignani et al., 2004) raggruppando le misurazioni fatte per le varie classi geologiche e calcolandone i parametri statistici medi. La mappa indica maggiore radioattività (sia radioattività totale che relativa alla serie dell'uranio) per le rocce magmatiche ("rocce magmatiche neogeniche e quaternarie"); in particolare i valori maggiori (1663-3761 Bq/kg) si hanno per la formazione geologica "Rocce effusive e depositi piroclastici" (zona dei tufi nei comuni di Pitigliano e Sorano, Amiata; la medesima formazione si trova in aree limitate nei comuni di Roccastrada, Castagneto Carducci e Montecatini Val di Cecina). I suddetti risultati sono fortemente correlati con i risultati dell'indagine regionale radon: quasi tutti i comuni a rischio radon di cui alla DGR 1019/2012 si trovano sulla suddetta formazione di rocce magmatiche. Ovviamente l'impatto dell'attività di sfruttamento dell'energia geotermica è correlato alla geologia non tanto delle formazioni presenti in superficie quanto delle formazioni interessate dai pozzi geotermici, ed in particolare delle formazioni che forniscono i fluidi geotermici. Sia nei campi geotermici di Larderello-Travale-Radicondoli che in quelli di Bagnore-Piancastagnaio della zona dell'Amiata vengono sfruttati un serbatoio geotermico superficiale e un serbatoio geotermico profondo. Le formazioni del serbatoio superficiale, carbonatiche del Dominio Toscano, hanno contenuto di radioattività relativamente basso (secondo la Carta di contenuto della radioattività in oggetto hanno valori di radioattività compresi tra 39 e 110 Bq/mc); le formazioni del serbatoio profondo (Dominio Toscano, formazioni metamorfiche-triassico-paleozoiche) hanno radioattività più elevata (568-763 Bq/mc) ma comunque nettamente inferiore alle formazioni toscane con maggiore contenuto di radioattività (rocce magmatiche; presenti negli strati più superficiali dell'area dell'Amiata).







Periodo	Arcidosso	Lustignano	Montalcinello	Montecerboli	Monterotondo
2011	6,28	3,98	9,81	4,19	4,82
2012	5,22	3,67	8,06	6,15	5,1
2011-2012	5,92	3,86	9,07	5,03	4,94

*Tabella 19: concentrazioni di gas radon nelle emissioni degli impianti (in Bq/mc) e valutazioni dell'incremento di radon outdoor (Monitoraggio ENEL)*

**I suddetti valori sono in linea con i valori normalmente presenti nell'aria secondo la letteratura internazionale (UNSCEAR 1988, 1993 e successive), la quale riporta valori all'aperto in genere compresi tra 4 e 20 Bq/mc.**

**L'incremento massimo di concentrazioni outdoor attribuibile all'esercizio degli impianti geotermici secondo le valutazioni di ENEL è stimato inferiore a 1 Bq/mc. In letteratura sono presenti valutazioni del tutto simili; in UNSCEAR 1988 si stima un aumento medio di concentrazione di radon a 1 km da un impianto geotermico di 100 MW di a 0,1 Bq/mc. Si consideri che la massima parte dell'esposizione per la popolazione al radon avviene negli ambienti indoor, abitazioni e luoghi di lavoro; in Toscana il valore medio (media geometrica) della concentrazione di radon nelle abitazioni è pari secondo l'indagine regionale 2006–2010 a 35 Bq/mc ed per l'area amiatina è pari a 143 Bq/mc per il comune di Arcidosso e 151 per il comune di Piancastagnaio. L'incremento di dose derivante dall'emissione di radon degli impianti geotermici risulta quindi trascurabile rispetto alla dose connessa con la permanenza negli ambienti chiusi.**

### **2.7.3.3      *Documento ENEL R.G27.11.00.00.008.00 ottobre 2006*** ***“Valutazione dell'esposizione a radiazioni ionizzanti dovuta agli impianti geotermoelettrici dell'area del Monte Amiata”***

**Riporta i risultati delle seguenti misurazioni:**

- spettrometrica gamma di campioni di incrostazioni prelevati nei vapordotti, in diversi punti degli impianti di Bagnore22 e di Piancastagnaio;**
- rateo di dose equivalente gamma esterna rilevata in punti degli impianti accessibili al personale o al pubblico dell'impianto di Bagnore 3 (vapordotti, torri di raffreddamento, valvole, ecc.).**

**Per quanto riguarda le misure sui campioni di incrostazioni esse sono comparabili con i valori di un normale terreno a parte la concentrazione di Pb-210 che risulta più alta della concentrazione degli altri radionuclidi della serie dell'uranio. La relazione conclude che in ogni caso l'impatto radiologico di tale arricchimento è da considerarsi trascurabile poiché il Pb-210 emette radiazioni a bassa energia che rimangono confinate all'interno delle**

tubazioni.

Campione	Uranio		Torio		K-40		Pb-210	
	Conc. [Bq/g]	Errore statistico [Bq/g]	Conc. [Bq/g]	Errore statistico [Bq/g]	Conc. [Bq/g]	Errore statistico [Bq/g]	Conc. [Bq/g]	Errore statistico [Bq/g]
Piancastagnaio rete Sud - PC 35 vapore	<11		<12		141	28	<72	
PC 33 vapore	5	1	<3		<25		<16	
Bagnore 22 - reiniezione calda (bifase)	31	2	39	2	525	52	1021	91
Piancastagnaio rete nord - reiniezione calda (bifase)	30	2	43	2	342	34	1209	107
Bagnore 22 - sep. vapore	3.6	0.3	5.1	0.4	21	5	<11	
Piancastagnaio rete sud - reiniezione fredda	6	1	8	1	30		14	3

*Tabella 20: Misure di spettrometrica gamma di campioni di incrostazioni  
impianti geotermoelettrici Amiata (Bagnore 22, Piancastagnaio)*

Per quanto riguarda le misure del rateo di dose, i livelli di esposizione gamma esterna dell'impianto di Bagnore 3 variano da 0,13 a 0,22 microSievert/ora. Questi valori sono simili a quelli riscontrati in precedenti campagne di misura nell'area dell'Amiata ed in accordo con valori tipici di dose gamma ambientale riportati in letteratura. Si fa presente che i valori del rateo registrati dalle 8 stazioni della rete regionale di monitoraggio della radioattività in aria sono mediamente compresi tra circa 0,08 microSv/h e circa 0,15 microSv/h. La natura geologica vulcanica dell'area dell'Amiata determina valori maggiori del rateo. La relazione conclude che dalle misurazioni effettuate si può affermare che un impianto geotermoelettrico del tipo di quello caratterizzato nell'area in esame non provoca un aumento significativo dell'esposizione gamma esterna dei lavoratori e delle persone del pubblico.

N° Punto di misura	Posizione di misura	μSv/h	N° Punto di misura	Posizione di misura	μSv/h
<b>Zona VALVOLA REGOLAZIONE LIVELLO</b>			<b>POSTAZIONE BAGNORE 25 POZZI FERMI INTERCETTATI</b>		
1	Alla distanza di cm.50 dalla valvola	0.16	12	Zona ambiente fondo	0.14
2	Ad 1 cm dalla superficie del tubo sulla circonferenza		13	Valvola interna emergenza	0.13
A	90°	0.16	14	Casse acqua	0.15
B	180°	0.16	<b>POSTAZIONE BAGNORE 22 POZZI ATTIVI</b>		
C	270°	0.14	15	Zona ambiente fondo	0.16
D	0°	0.17	16	Valvola emergenza scoibentata a monte	0.14
<b>VALVOLA AMMISSIONE VAPORE</b>			17	Valvola emergenza scoibentata a valle	0.14
3	Sulla curva	0.16	19	Tubazione valvola Regolazione sulla circonferenza	
4	Sulla valvola	0.17	A	90°	0.14
<b>TUBAZIONE ESTERNA VAPORDOTTO</b>			B	180°	0.14
5	A monte valvola	0.19	C	270°	0.14
6	A valle valvola	0.20	D	0°	0.14
7	Tubo inferiore	0.21	20	Cassa acqua	0.22
<b>TORRI DI RAFFREDDAMENTO</b>			21	Filtro cassa acqua	0.14
8	Zona antistante	0.15	22	Testa di pozzo	0.14
<b>Zona SALA MACCHINE TURBINA</b>			<b>POZZO DI REINIEZIONE ANTEIE n° 2</b>		
9	SOPRA TURBINA	0.15	23	Zona ambiente fondo	0.13
<b>Zona SALA MANOVRA</b>			24	Testa di pozzo	0.14
10	Sala quadro	0.14			
11	Quadri bassa tensione	0.13			

Tabella 21: Misure di esposizione gamma esterna presso gli impianti di Bagnore

#### **2.7.3.4 Rapporto CISE 4742 Indagini relative alla radioattività naturale del suolo della zona circostante gli impianti di Larderello: Rn-222, Pb-210 (Battaglia, De Pasquale, Quaini) 1989**

Viene effettuata una caratterizzazione della radioattività naturale presente nella zona di Larderello: mappatura dose gamma, determinazione radionuclidi nel terreno, mappatura flusso di radon dal suolo, mappatura dell'eccesso di Pb-210 depositato al suolo proveniente dalle ricadute dovute alla presenza di radon nell'atmosfera.

L'intensità di dose misurata è risultata compresa tra 0,063 e 0,135 microSievert/ora, in linea dunque con i normali valori outdoor presenti in Toscana.

La distribuzione dei radionuclidi nel terreno rilevata non presenta particolari anomalie; essa è tipica delle zone costituite da rocce sedimentarie. Il contenuto di uranio, torio e k-40 nei terreni è risultato quasi ovunque modesto, in accordo con la composizione mineralogica dei terreni.

Il flusso di radon dal suolo (campagna estiva) è risultato compreso tra i 4,4 e i 63 milliBequerel/mq.sec, ovvero di entità comparabile con quello rilevato in altre zone costituite da rocce sedimentarie.



Per quanto riguarda l'eccesso di Pb-210 è stato riscontrato un anomalo accumulo di entità apprezzabile, ma non allarmante, nella parte più orientale della zona indagata, da attribuirsi al radon introdotto nell'atmosfera dagli impianti geotermici. In base al flusso di radon emanato dai terreni della zona oggetto di indagine, infatti è stato calcolato l'eccesso di Pb-210 che si sarebbe dovuto rilevare e accertare la suddetta anomalia.

#### **2.7.4 Sintesi impatto attività geotermica**

Le misure delle concentrazioni di radon presenti nelle emissioni di alcune centrali sia dell'area di Larderello che di quella amiatina indicano valori del tutto simili alle concentrazioni normalmente presenti in aria. Le simulazioni dell'incremento delle concentrazioni di radon nelle aree circostanti gli impianti portano a stime di incrementi inferiori ad 1 Bq/mc, e dunque l'incremento di dose derivante dall'emissione di radon degli impianti geotermici risulta trascurabile rispetto alla dose dovuta al radon negli ambienti chiusi. Si consideri che la concentrazione media regionale indoor di radon è di 35 Bq/mc e la concentrazione nell'area amiatina è dell'ordine dei 150 Bq/mc.

E' stato accertato un eccesso di accumulo nei suoli del Piombo-210 dovuto alla ricaduta conseguente la suddetta immissione in atmosfera del radon (misurazioni Enel, vedi Rapporto CISE 4742); l'arricchimento in questione è comunque modesto anche se come detto accertato sperimentalmente.

Per quanto riguarda le incrostazioni di materiali NORM, ENEL ha realizzato (vedi Documento ENEL R.G27.11.00.00.008.00) sia misurazioni della dose ambientale presso parti di impianti, sia misure dei radionuclidi contenuti nei campioni di incrostazioni. Le misure di dose ambientale indicano valori simili ai valori normalmente presenti nell'ambiente per la radioattività di origine naturale. I valori di radioattività presenti nelle incrostazioni sono in linea con i normali valori contenuti nelle rocce eccetto per il Pb-210, il quale impatto radiologico è in ogni caso da considerarsi trascurabile in quanto le relative radiazioni emesse, a bassa energia, rimangono confinate all'interno delle tubazioni.

### ***2.8 Caratterizzazione della risorsa geotermica***

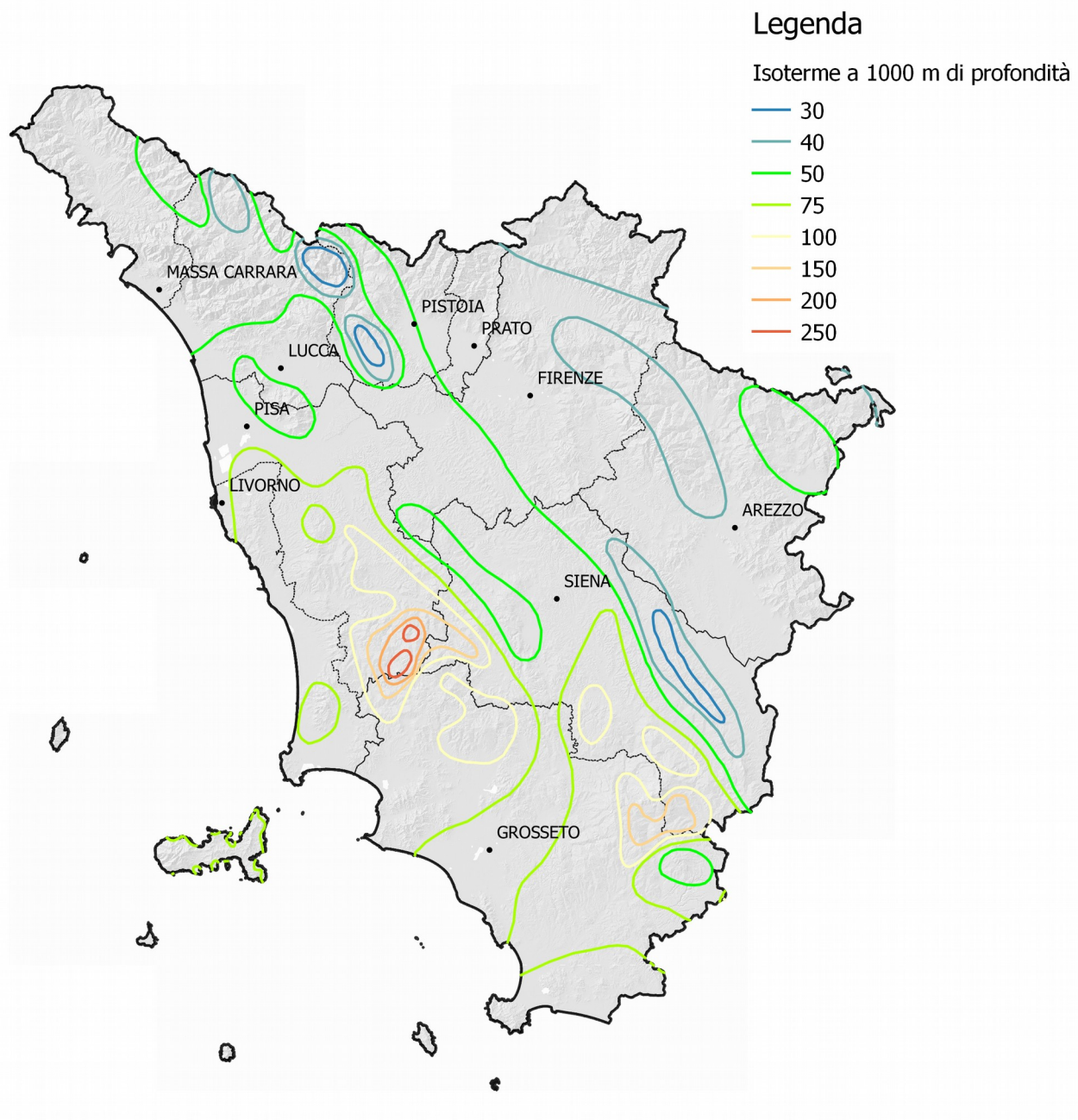
Il principale riferimento inerente la caratterizzazione delle risorse geotermiche in Italia è L'“Inventario delle risorse geotermiche nazionali” previsto dalla Legge n. 896 del 9/12/1986 e abrogata dal D.L. N 22 del 11/02/2010. Tale progetto, realizzato da ENEL, ENI-AGIP, CNR ed ENEA con il coordinamento dell'allora Ministero dell'Industria, è composto da una serie di rapporti regionali con relativi elaborati grafici e dai database dei pozzi e

delle sorgenti geotermiche, questi ultimi attualmente accessibili anche online.

L'inventario delle risorse geotermiche in Toscana, in particolare, come precisato nella premessa del lavoro, non è un mero elenco di dati trattandosi la Toscana di una delle tre regioni insieme a Lazio e Campania, di maggior interesse geotermico.

Sotto la parola "Inventario" è stato, quindi, ricompreso non solo una raccolta, se pur sistematica, di dati di interesse, ma anche una successiva elaborazione ed interpretazione delle stesse, materializzata in una serie di carte tematiche che possono costituire un indirizzo in programmi di ricerca e utilizzazione di risorse geotermiche.

Di particolare interesse risultano le carte delle temperature a 1000, 2000 e 3000 m sotto il p.c., la carta del tetto del potenziale serbatoio e la carta della temperatura al tetto del potenziale serbatoio che sono state digitalizzate e riportate nelle successive figure.



*Fig. 76: Isoterme a 1000 di profondità sotto il p.c.*

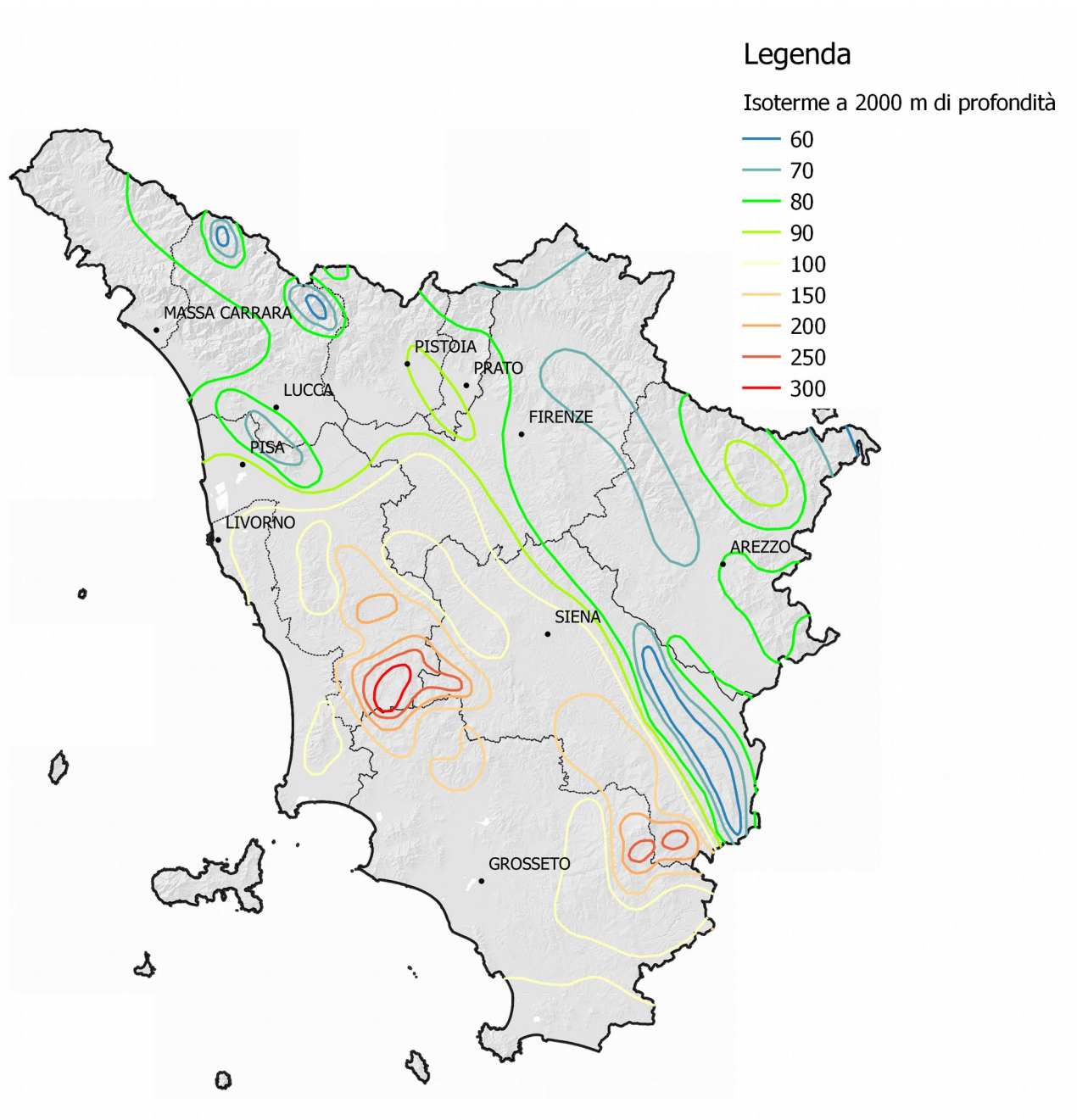


Fig. 77: Isoterme a 2000 di profondità sotto il p.c.

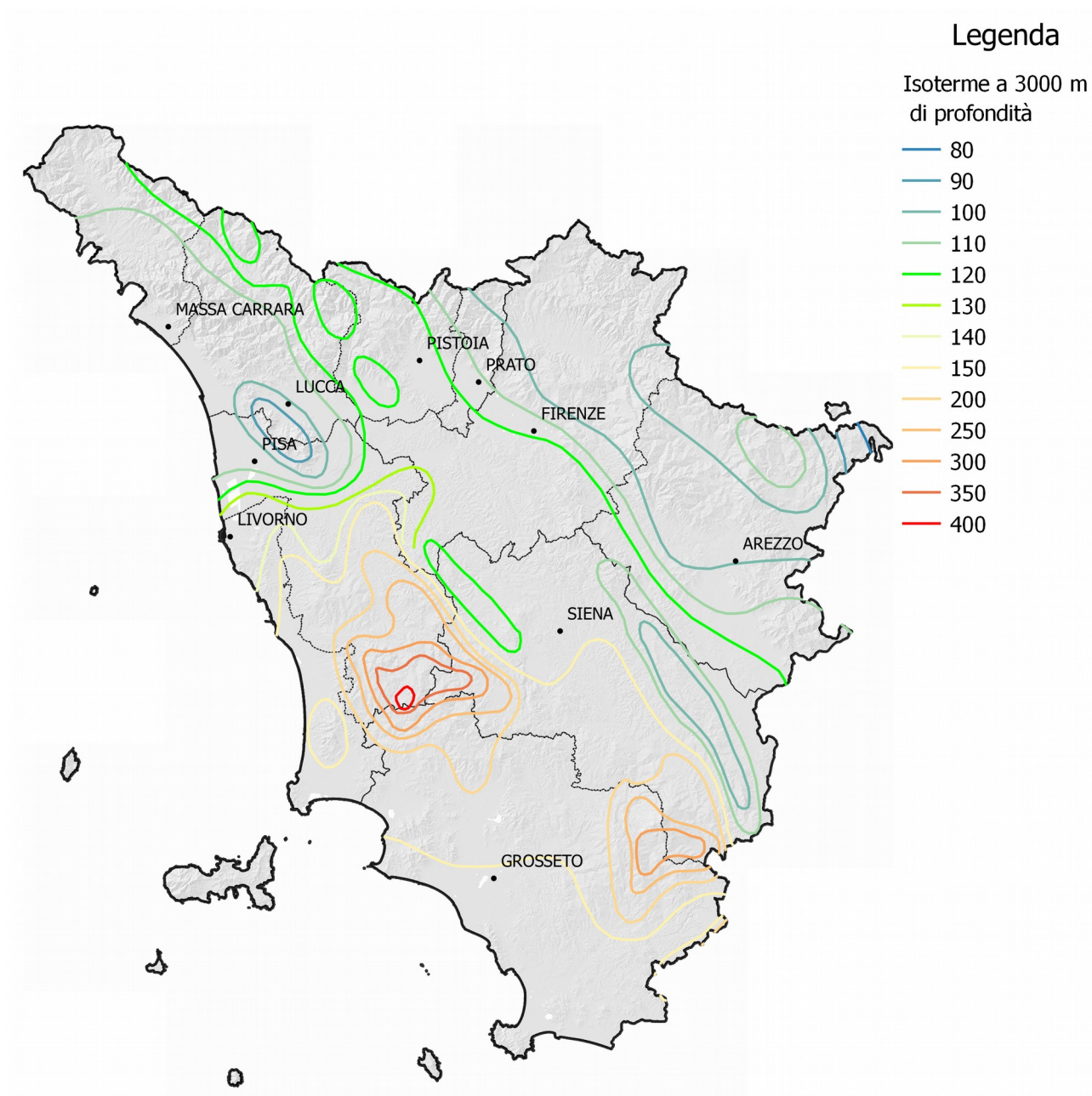
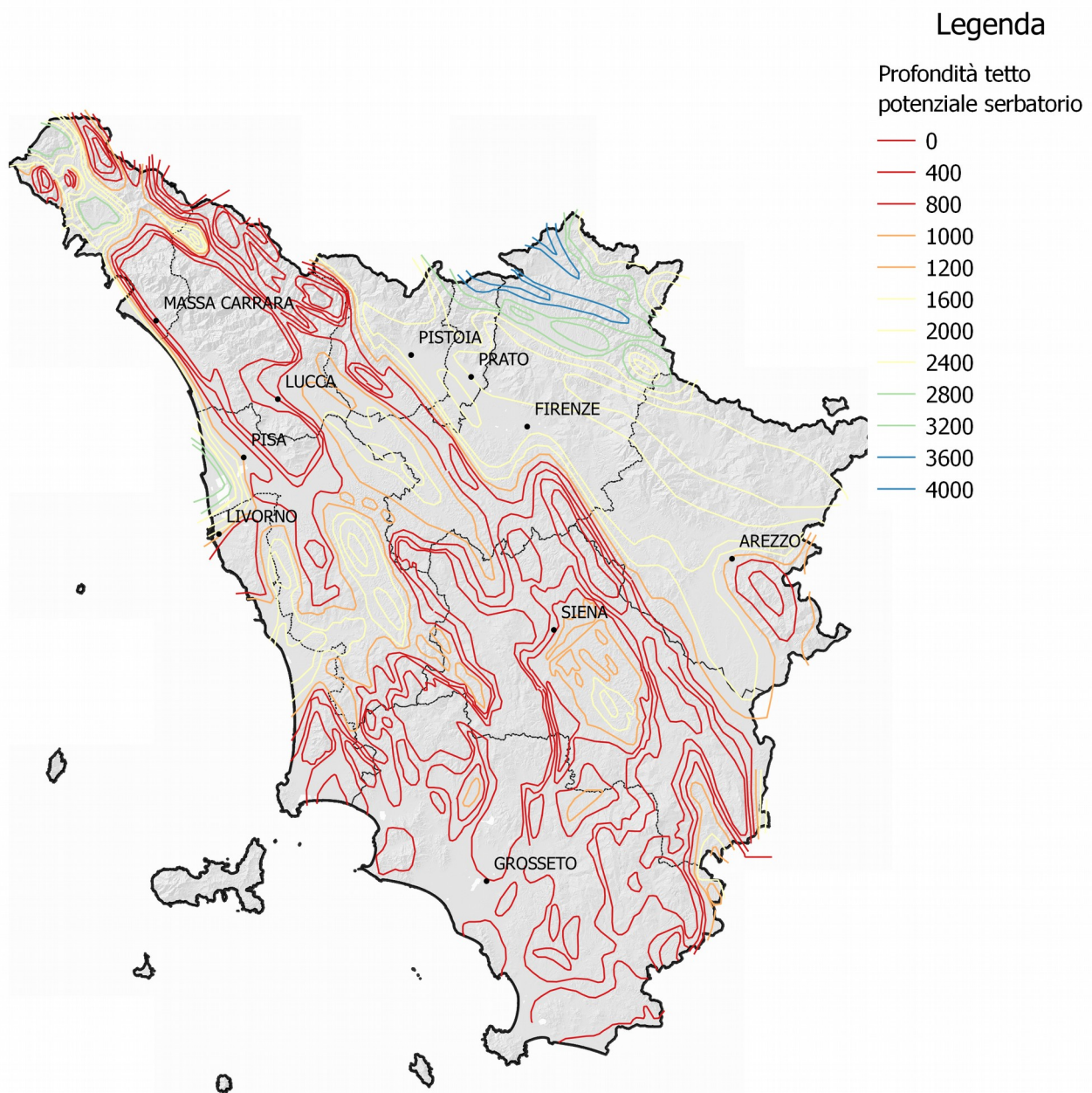


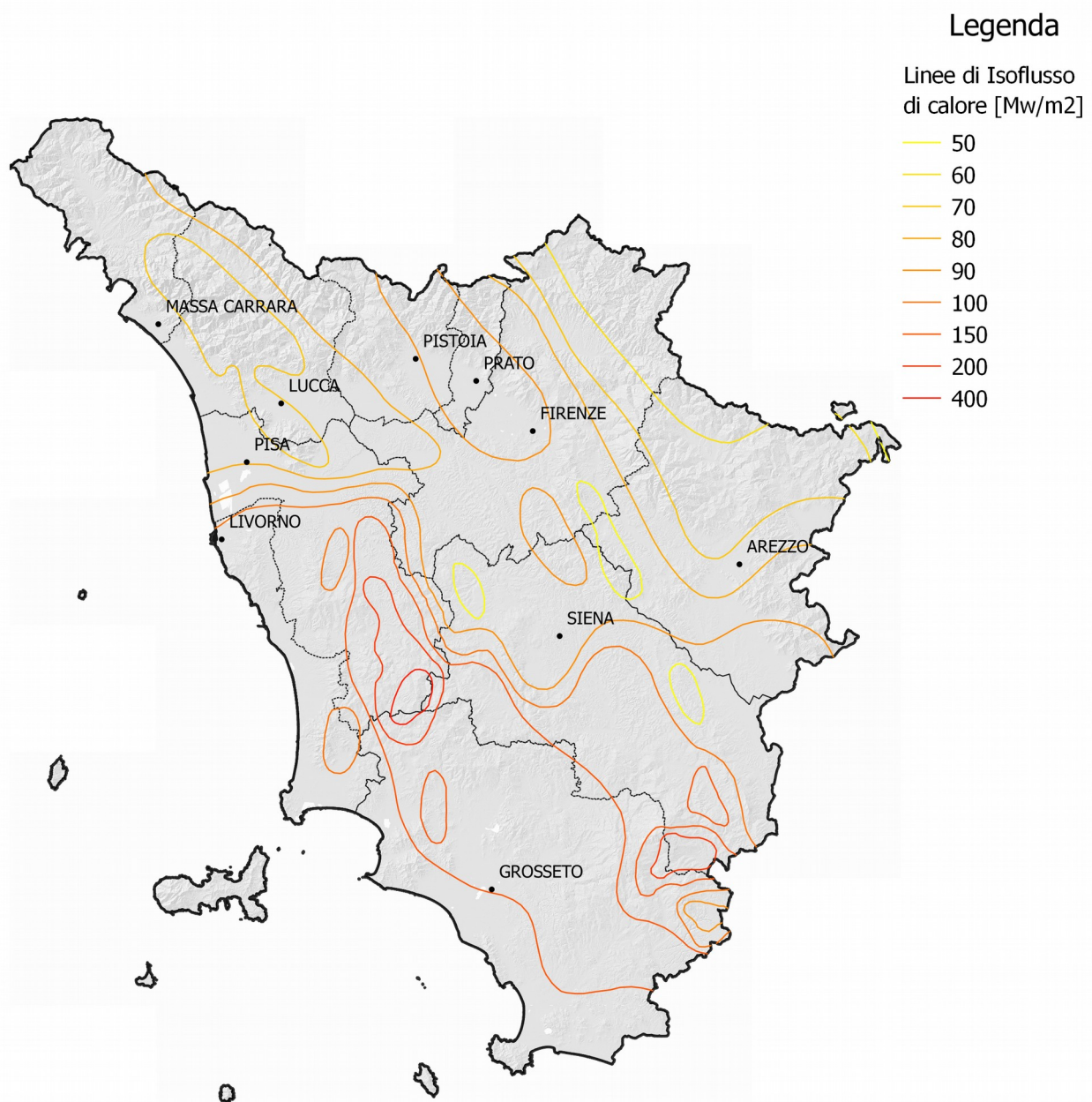
Fig. 78: Isoterme a 3000 di profondità sotto il p.c.





*Fig. 79: Isobate tetto potenziale serbatoio*

All'interno dell'Inventario delle risorse geotermiche nazionali è stata sviluppata anche una mappa delle isolinee del flusso di calore geotermico: tale grandezza può essere considerata come l'espressione superficiale dei processi geotermici in profondità e può variare nello spazio e nel tempo; il suo valore e la sua variabilità sono indicatori sensibili dei processi di trasferimento del calore. Nella successiva figura si riporta l'estrapolazione di tale mappa per la Toscana.



*Fig. 80: Mappa delle isolinee di flusso di calore geotermico in  $\text{Mw/m}^2$*

Richiamando, infine, brevemente le conclusioni dell'intero progetto si evidenzia la presenza di temperature positivamente anomale in tutta la Toscana marittima a Sud dell'Arno: ciò sta ad indicare che questa zona è interessata da una grande “anomalia termica regionale”, sembra legata ad assottigliamento crustale; le carte mostrano un'accentuazione di tale anomalia in determinate aree quali Larderello, Travale e Monte Amiata; le carte evidenziano anche delle anomalie locali o “superficiali” dovute a concentrazioni di fluidi caldi a modesta profondità in strutture permeabili che conincidono con i campi geotermici appena citati.

Per quanto riguarda in particolare la medio - bassa entalpia poi, lo studio conclude che, in buona parte della Toscana marittima a sud dell'Arno, con particolare riferimento alle provincie di Pisa, Siena, Livorno e Grosseto, il tetto del potenziale serbatoio geotermico si trova a profondità inferiori a 500-1000 m sotto il pc con temperature, alle profondità suddette, dell'ordine di 50°C e oltre.

Per dare un'idea ancora migliore dell'effettiva potenzialità geotermica del territorio toscano risulta di interesse una classificazione delle risorse geotermiche in Italia proposta da un gruppo di lavoro Enel-CNR Pisa ed Università di Bari nel 1995<sup>3</sup>.

Lo studio, infatti, si pone come obiettivo l'illustrazione della complessa situazione delle potenzialità geotermiche del territorio italiano in relazione al modello geodinamico, agli aspetti idrogeologici e alle condizioni termali fino ad un massimo 3 Km di profondità, basandosi sulla valutazione qualitativa dei successivi aspetti:

- 1 Caratteristiche idrogeologiche dei differenti complessi rocciosi attualmente presi in esame per identificare i maggiori acquiferi regionali entro una profondità di 3 Km;
- 2 Variazione di temperatura degli acquiferi regionali e dei complessi rocciosi impermeabili, basata sui dati disponibili di temperatura, flusso di calore e condizioni geodinamiche e strutturali.

In base all'analisi dei precedenti parametri il territorio italiano è stato suddiviso in 4 categorie principali (da A a D, in ordine decrescente di importanza geotermica); ogni categoria è stata suddivisa in sottocategorie, secondo la temperatura massima stimata dell'acquifero regionale e della formazione impermeabile all'interno della profondità di riferimento, ed in accordo con la differente

potenzialità d'uso della risorsa geotermica.

Le classi utilizzate sono le seguenti:

Categoria A - aree di rilevante interesse geotermico: ragionevole certezza della presenza, ad una profondità inferiore a 3 km, di un acquifero contenente fluidi ad una temperatura superiore a 150°C. Le aree appartenenti alla sottocategoria A1 sono quelle a più alta priorità in assoluto in cui promuovere la ricerca per il rinvenimento di risorse geotermiche per la produzione di energia elettrica; le aree di sottocategoria A2 hanno interessanti prospettive per lo sfruttamento per la produzione di energia

---

<sup>3</sup> R. Cataldi, F. Mongelli, P. Squarci, L. Taffi, G. Zito and. C. Calore - Geothermal ranking of Italian Territory. *Geothermics* Vol. 24 No 1 pp. 115-129, 1995

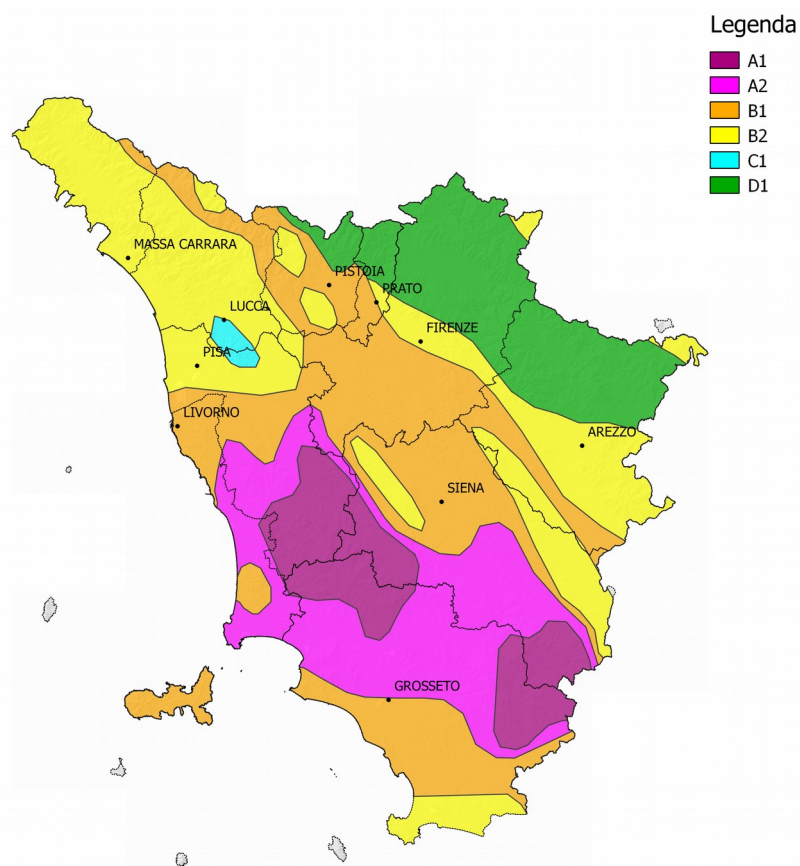
**elettrica o comunque sono molto promettenti per la presenza di temperatura da alte a moderate di interesse per uso diretto.**

**Categoria B – aree di moderato interesse geotermico: ragionevole certezza della presenza, ad una profondità inferiore a 3 km, di un acquifero contenente fluidi ad una temperatura tra 90°C e 150°C. Tali aree presentano interesse soprattutto per uso diretto, una eventuale resa economica per l'utilizzazione ai fini di generazione elettrica è al momento improbabile, almeno a breve-medio termine.**

**Categoria C – aree di scarso interesse geotermico: ragionevole certezza della presenza, ad una profondità inferiore a 3 km, di un acquifero contenente fluidi ad una temperatura tra 30°C e 90°C; in generale le aree ricadenti nelle categoria C si considerano zone di infiltrazione e ricarica delle falde sotterranee, che possono dar luogo a temperature mediamente basse intorno ai 30°C anche a 2 km di profondità**

**Categoria D – aree di scarsissimo interesse geotermico: aree in cui la temperatura possono assumere valori variabili (comunque inferiori ai 150°C), comunque in acquiferi di minore interesse; in linea generale questi complessi si possono considerare impermeabili e pertanto non produttivi;**

**Di seguito si riporta la classificazione della Toscana.**



*Fig. 81: Classificazione del territorio toscano secondo R. Cataldi ed al.(1995)*

Come si evince dalla precedente figura quasi tutto il territorio regionale ricade nelle classi A e B e ben il 30% circa della superficie regionale rientra nelle classi di rilevante interesse geotermico (A1 e A2).

Di rilevante interesse anche le informazioni contenute nell'edizione del 2002 dell'Atlante delle risorse geotermiche in Europa<sup>4</sup>, che rappresentano una sintesi delle informazioni tecnico-scientifiche alla data disponibili con conseguente individuazione delle risorse e delle riserve attualmente conosciute in Europa.

All' interno dell'Atlante le risorse geotermiche sono considerate quelle parti dell'energia geotermica che possono essere estratte, economicamente e legalmente nel prossimo futuro: tali risorse possono essere reperite all'interno delle "riserve", che sono le parti del reservoir che possono essere attualmente esplorate e che sono già state verificate e determinate con sondaggi o con dati geologici, geochimici e geofisici oppure all'interno delle "riserve" che sono considerate aree geotermiche potenziali che risultano essere adeguate per poter permettere l'esplorazione geotermica, ma per le

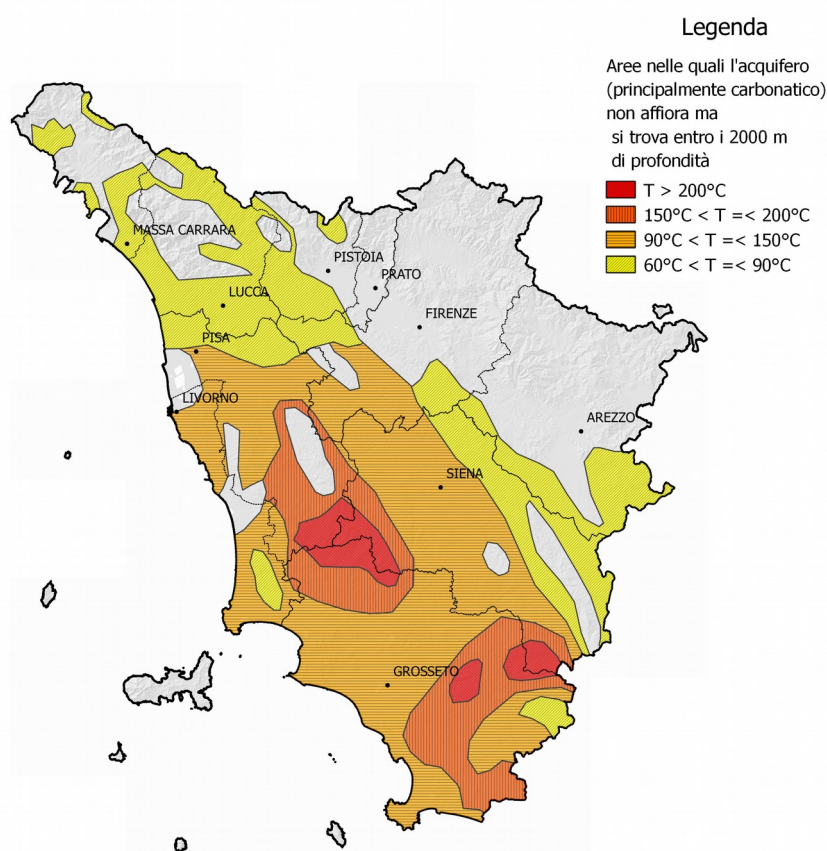
<sup>4</sup> Atlas of "Geothermal Resources in Europe". Publication n. EUR 17811 of the European Commission L – 2985. S. Hurter and R. Haenel Editors. Luxembourg-© European Communities, (2002),



quali i dati al momento disponibili risultano inadeguati per poter consentire una stima quantitativa delle risorse.

L'Atlante fornisce, basandosi su contributi specifici per ogni singolo paese, una rappresentazione a grande scala dei campi geotermici europei, e delle aree potenziali e delle zone con campi in sfruttamento e con riserve accertate per ogni singolo paese.

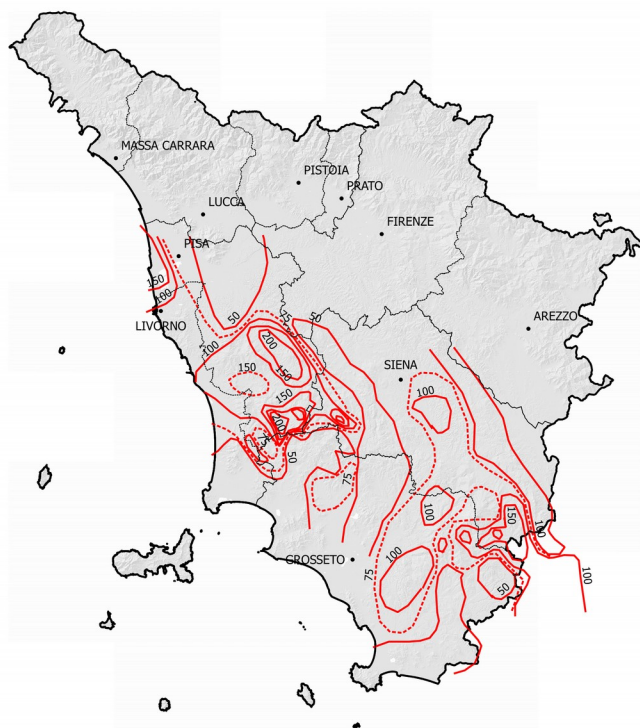
Nello specifico la Carta Risorse geotermali e aree potenziali dell'Italia, curate da Baldi et al contiene informazioni sulla presenza di aree con acquiferi superficiali e sotterranei, con sistemi geotermici e con presenza di sorgenti, e con le isoterme fino ad una profondità di 2000 m. Di seguito si riporta un estratto per la nostra regione del tematismo della classificazione.



*Fig. 82: Classificazione geotermica del territorio toscano a 2000 m di profondità estratta dall'Atlante delle risorse geotermiche in Europa (2002).*

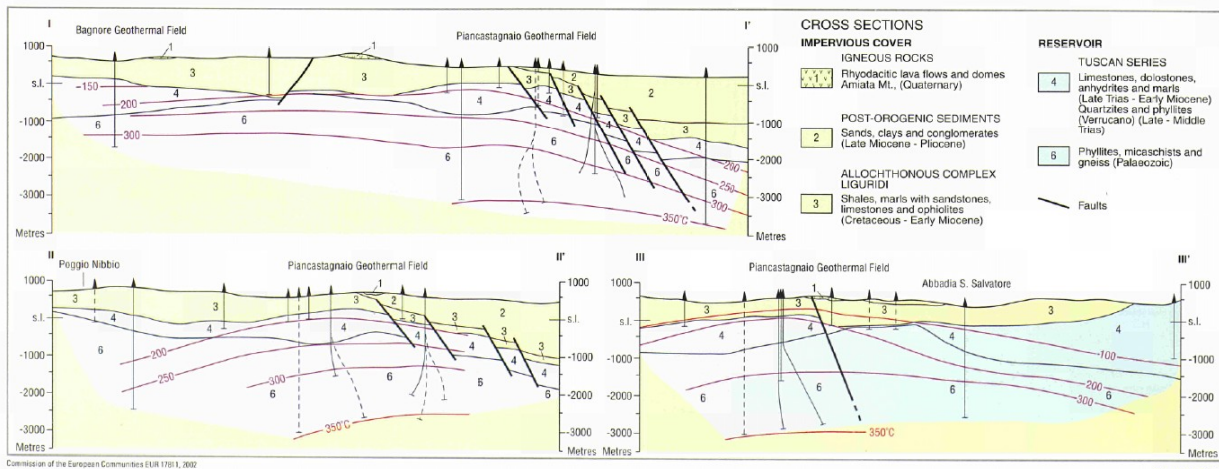
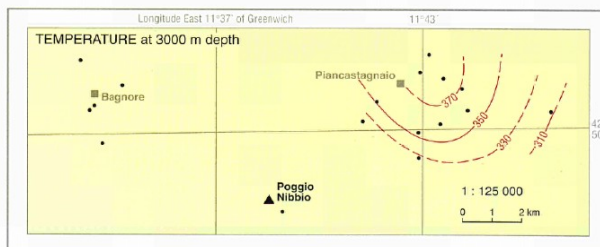
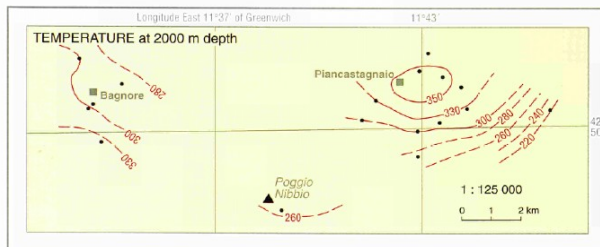
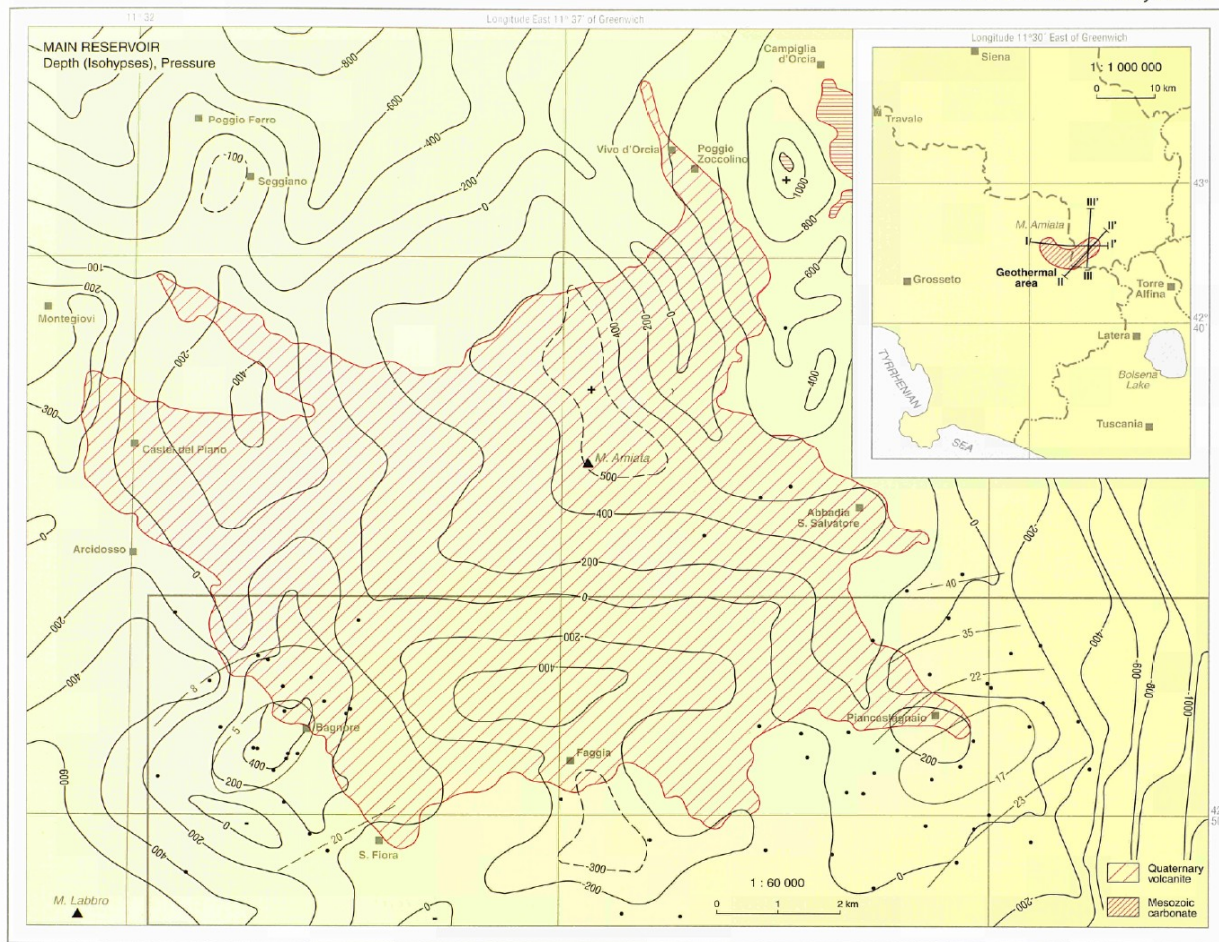
Tra le altre elaborazioni di interesse riguardanti la Toscana presenti all'interno Atlante delle risorse geotermiche in Europa. Troviamo un dettaglio delle isoterme dell'acquifero principale e due focus sull'area dell'Amiata e su quella di Larderello e Travale - Radicondoli. Nella successiva figure si riportano la digitalizzazione delle isoterme dell'aquifero principale e la

riproduzione delle tavole riportanti i due focus suddetti.



*Fig. 83: Isotherme acquifero principale.*

## Mount Amiata, ITALY



*Fig. 84: Tav. 39 – Monte Amiata – Estratta dall'Atlante delle risorse geotermiche in Europa.*



# ITALY, Larderello and Travale-Radicondoli

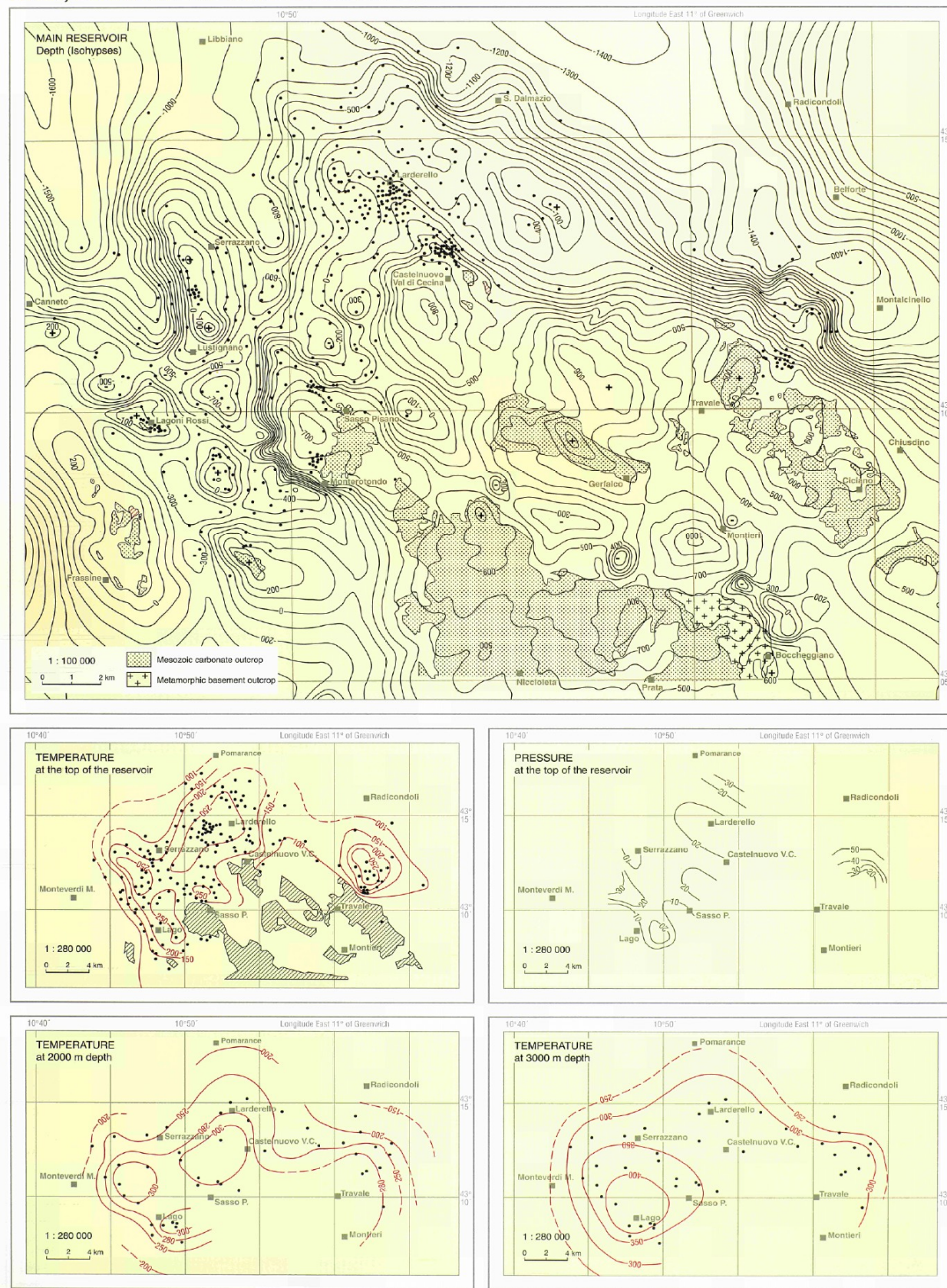
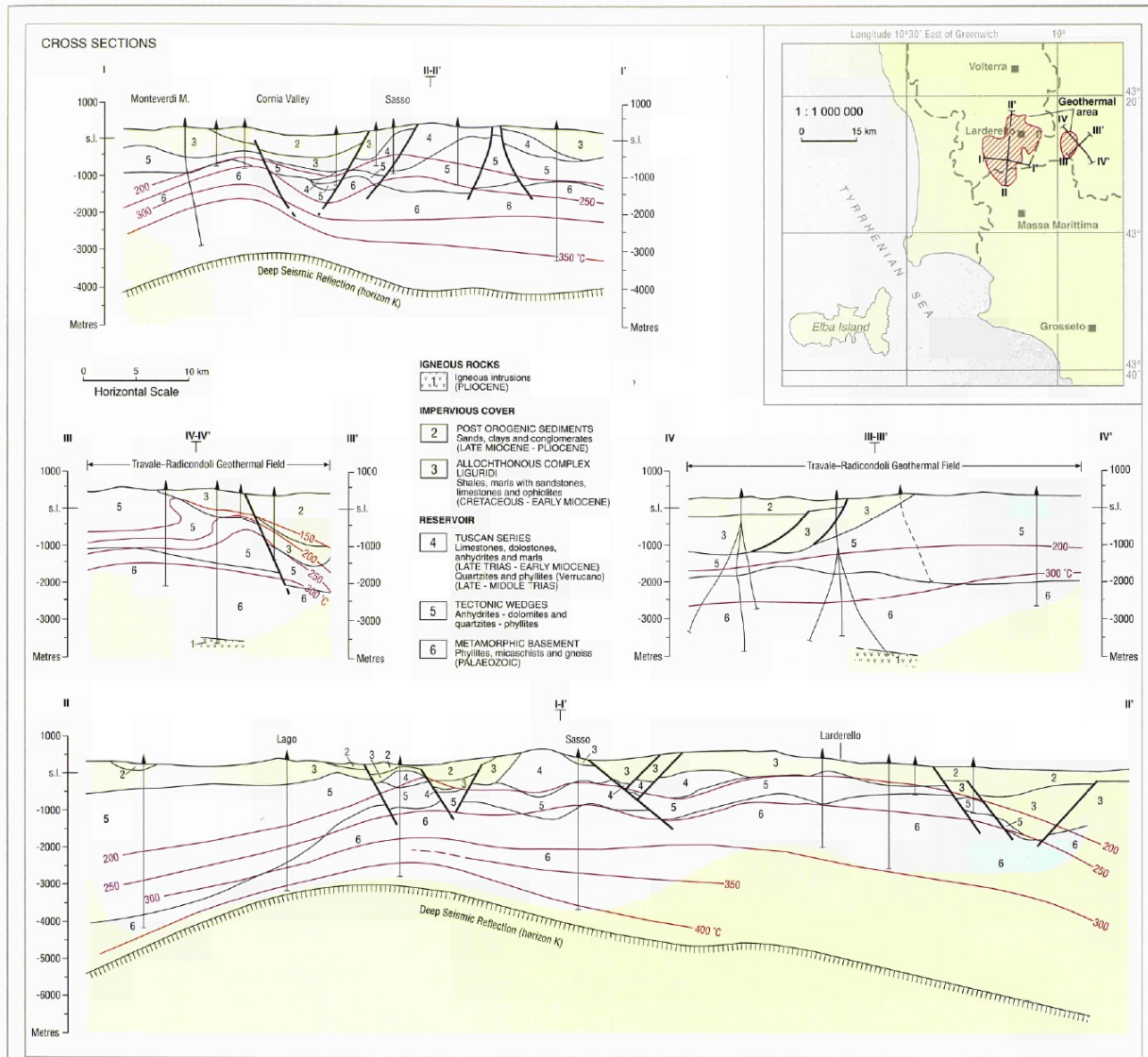


PLATE 40

Commission of the European Communities EUR 17611, 2002

Fig. 85: Tav. 40 – Larderello e Travale Radicondoli – Estratta dall'Atlante delle risorse geotermiche in Europa.



**Larderello and Travale-Radicondoli, ITALY**

*Fig. 86: Estratto dalla Tav. 40 – Larderello e Travale Radicondoli – Estratta dall'Atlante delle risorse geotermiche in Europa.*



### 3. L'ELABORAZIONE E L'ANALISI DEI DATI

#### 3.1 Introduzione

A seguito della raccolta dati effettuata nel quadro conoscitivo sono state effettuate una serie di analisi di tipo sia statistico che spaziale sui dati raccolti al fine di individuare i possibili criteri e parametri utili a rispondere a quanto richiesto dalla L.R. 17/2015.

Nei successivi paragrafi, infatti, si analizzano i dati del quadro conoscitivo che necessitano di ulteriori elaborazioni al fine di poter trarre le necessarie conclusioni. In particolare modo i dati inerenti la distribuzione e classificazione dei pozzi data la loro complessità ed il loro ingente numero necessitano di un'analisi al fine di individuare parametri ed indicatori utili a rispondere alle richieste della Legge Regionale con particolare riguardo al numero massimo di pozzi da assentire.

E' stata altresì effettuata un'analisi di dettaglio della componente Rumore al fine di collegare l'ubicazione dei pozzi con la classificazione acustica del territorio regionale.

Analisi geospaziali sul catasto dei pozzi geotermici.

Il primo e più semplice tipo di analisi spaziale che si è deciso di effettuare sul catasto pozzi geotermici è il calcolo della densità media rispetto alle concessioni esistenti: si è proceduto, dunque, al conteggio del numero di pozzi per concessione ed il risultato è stato diviso per l'area della concessione stessa; il risultato è riportato nella successiva tabella.

Concessione	Densità per kmq
<i>Piancastagnaio</i>	1,36
<i>Bagnore</i>	0,87
<i>Chiusdino</i>	0,24
<i>Travale</i>	1,34
<i>Rio Secco</i>	1,74
<i>Canneto</i>	0,68
<i>Larderello</i>	3,97
<i>Lustignano</i>	3,45

Tabella 22- Densità pozzi per chilometro quadrato per concessione

Come si evince dalla tabella precedente le concessioni con una maggiore densità di pozzi per kmq sono, ovviamente, quelle nel cuore della zona classica della geotermia e cioè Larderello e Lustignano.

Volendo avere, poi, un informazione più caratteristica si è deciso di effettuare lo stesso tipo di analisi per un'area di 1000 m intorno alle centrali geotermoelettriche funzionanti, ottenendo i risultati riassumibili nella successiva tabella.

<b>Centrale</b>	<b>Potenza [MW]</b>	<b>Densità per kmq</b>
<i>Bagnore 4</i>	40	3,822
<i>Bagnore 3</i>	20	3,822
<i>Piancastagnaio 3</i>	20	5,096
<i>Piancastagnaio 4</i>	20	3,822
<i>Piancastagnaio 5</i>	20	3,822
<i>Farinello</i>	60	3,822
<i>Nuova Castelnovo</i>	14,5	27,707
<i>Nuova Gabbro</i>	20	3,185
<i>Nuova Larderello</i>	20	26,115
<i>Nuova Molinetto</i>	20	2,229
<i>Sesta 1</i>	20	2,866
<i>Vallesecolo</i>	120	12,420
<i>Chiusdino</i>	20	1,592
<i>Nuova Radicondoli 1</i>	40	8,280
<i>Pianacce</i>	20	2,866
<i>Rancia 1</i>	20	1,911
<i>Rancia 2</i>	20	3,822
<i>Travale 3</i>	20	1,274
<i>Travale 4</i>	40	1,274

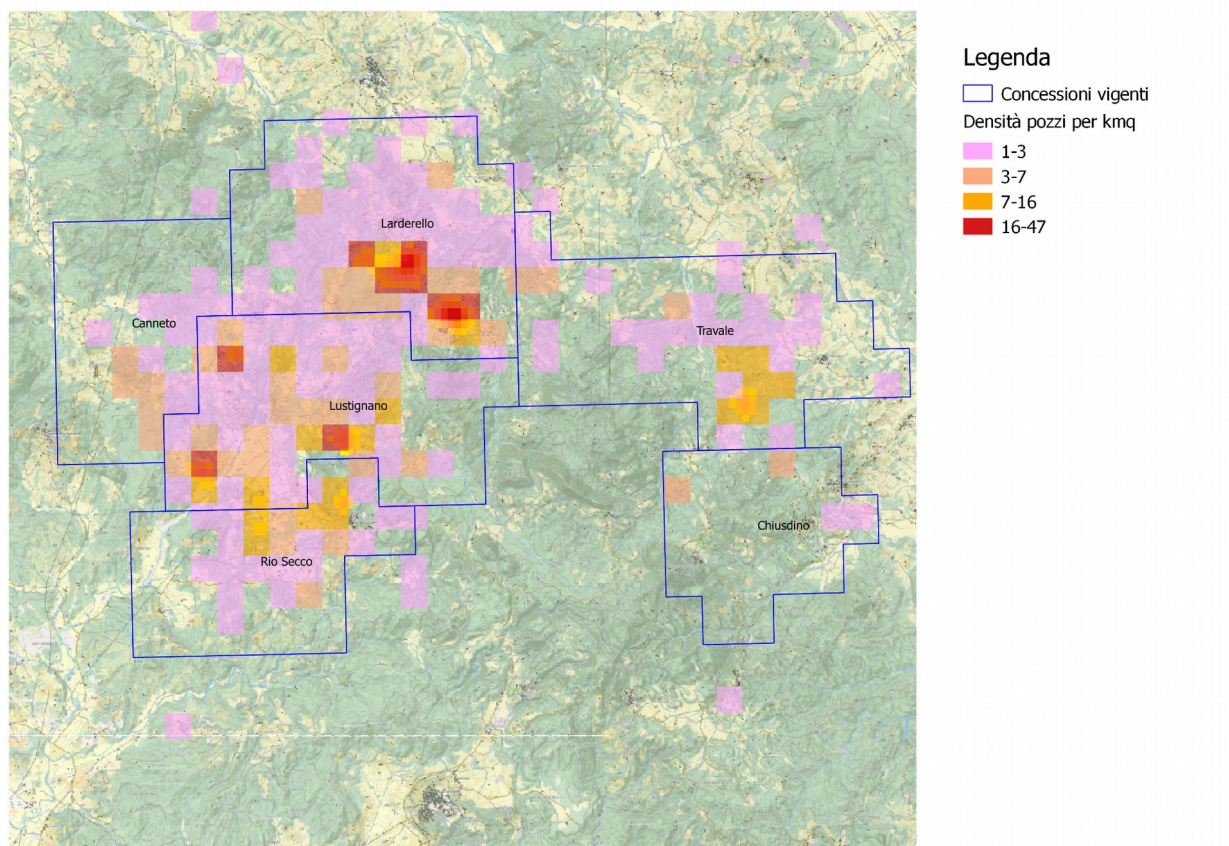
	Potenza [MW]	Densità per kmq
<b>Centrale</b>		
<i>Carboli 1</i>	20	4,140
<i>Carboli 2</i>	20	3,822
<i>Cornia 2</i>	20	5,096
<i>La Prata</i>	20	5,732
<i>Monteverdi 1</i>	20	3,822
<i>Monteverdi 2</i>	20	2,229
<i>Nuova Lago</i>	10	8,280
<i>Nuova Lagoni Rossi</i>	20	11,146
<i>Nuova Monterotondo</i>	10	6,688
<i>Nuova San Martino</i>	40	6,369
<i>Nuova Sasso</i>	20	12,420
<i>Nuova Serrazzano</i>	60	8,599
<i>Sasso 2</i>	20	13,057
<i>Selva 1</i>	20	2,548
<i>Gruppo Binario Bagnore</i>	1	3,503
<i>Nuova Radicondoli 2</i>	20	7,962

*Tabella 23- Densità pozzi per chilometro quadrato nell'intorno (raggio 1 km) delle centrali*

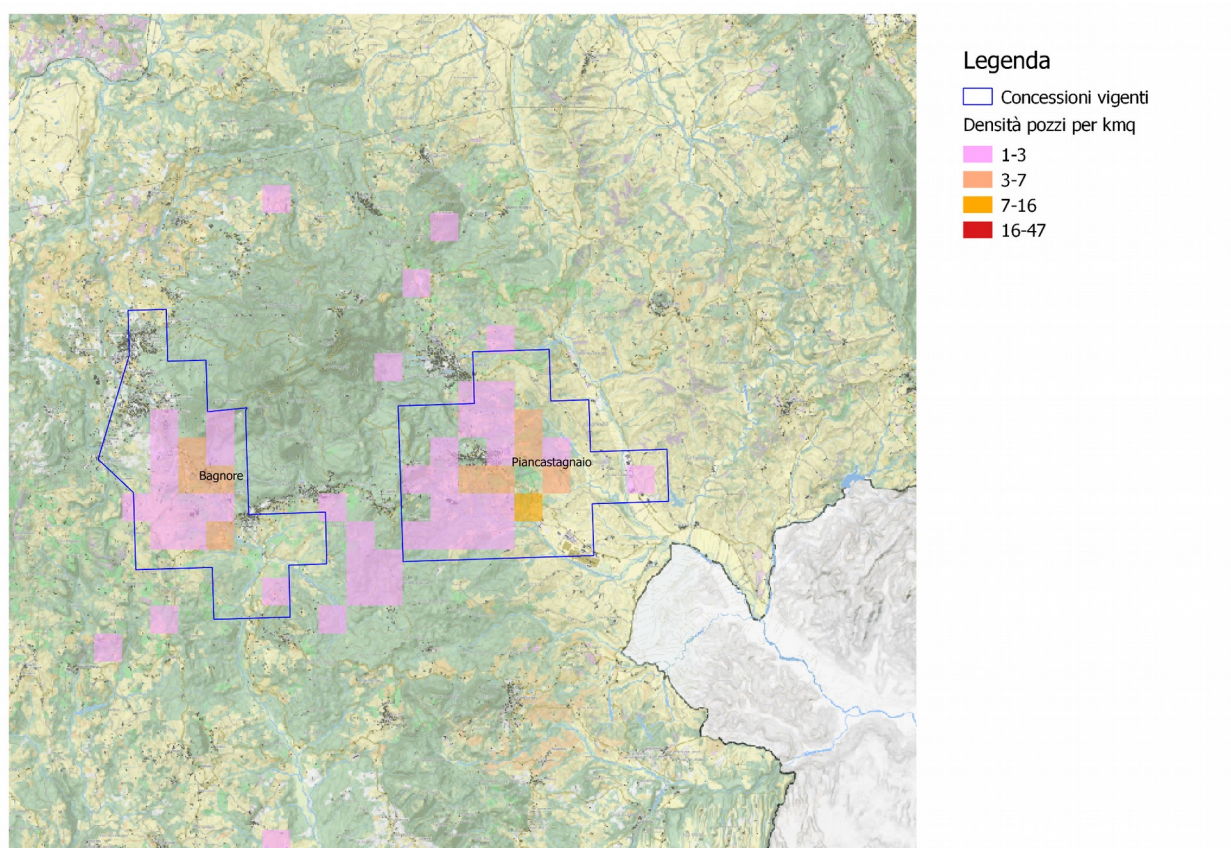
Le centrali con una maggior densità di pozzi nei dintorni sono Nuova Castelnuovo, Nuova Larderello e Vallesecolo : dai valori riportati in tabella appare chiaro che non vi è correlazione tra potenza installata e densità di pozzi, dato confermato dall'indice di correlazione di Pearson, che calcolato per le due variabili da come valore circa  $2 \cdot 10^{-5}$ , quindi prossimo allo zero.

Le analisi appena svolte, pur fornendo dati numerici interessanti non danno nessuna informazione sulla distribuzione spaziale della densità dei pozzi: si è proceduto dunque ad una prima analisi di densità spaziale con il metodo denominato *Quadrat methods* (Metodo dei Quadrati) il quale prevede di suddividere l'area di studio in quadrati, contare quanti punti ci sono in ciascun quadrato e calcolare conseguentemente in base alla dimensione del

quadrato la densità: nel nostro caso l'area verrà suddivisa in quadrati di lato 1 km (e di area 1 kmq); le figure successive mostrano i risultati ottenuti per l'area di Larderello e per quella del Monte Amiata.



*Fig. 87- Densità di pozzi per kmq (concessioni Canneto, Larderello, Travale, Lustignano, Rio Secco, Chiusdino)*



*Fig. 88- Densità di pozzi per kmq (concessioni Bagnore, Piancastagnaio)*

Come si evince dalla figure precedenti l'area di Larderello presenta le densità maggiori che raggiungono il loro massimo nella concessione di Larderello in corrispondenza del centro abitato con una densità di 47 pozzi per kmq.

Sempre dalle figure precedenti appare chiaro come nell'area del Monte Amiata le concentrazioni di pozzi siano in genere molto più basse e uniformemente distribuite, rispetto all'area di Lardello.

A titolo di confronto con la precedente elaborazione, effettuata a scala di concessione, si riportano le densità medie di pozzi per concessione ottenute con la presente metodologia: i valori sono del tutto confortabili con quelli ottenuti con la precedente più grossolana analisi.

Concessione	Densità per kmq
<i>Piancastagnaio</i>	1,49
<i>Bagnore</i>	0,84
<i>Chiusdino</i>	0,25
<i>Travale</i>	1,35



Concessione	Densità per kmq
<i>Rio Secco</i>	1,77
<i>Canneto</i>	0,68
<i>Larderello</i>	3,88
<i>Lustignano</i>	3,64

*Tabella 24- Densità pozzi per chilometro quadrato concessioni*

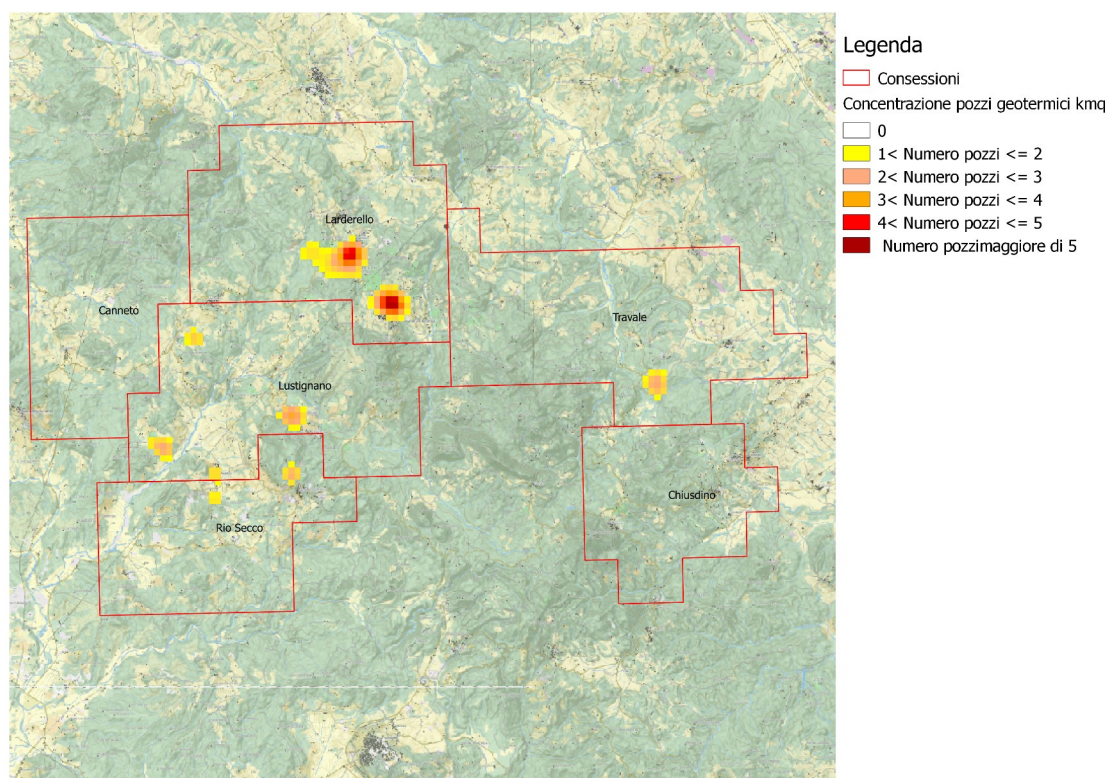
**L'analisi appena effettuata, però, se pur significativa, ha i seguenti limiti:**

- **che è fortemente dipendente dalla scelta della dimensione della cella;**
- **che da una misura della dispersione, non dell'effettivo pattern della distribuzione, perchè si basa principalmente sulla densità dei punti non sulla loro distribuzione uno in relazione all'altro;**

**Per ovviare ai precedenti limiti è, per questo, è possibile effettuare, sempre tramite lo strumento GIS, un'analisi di concentrazione in modo da rappresentare nello spazio la densità per kmq : tale tipologia di analisi consente non solo di visualizzare in generale la concentrazione sul territorio dei pozzi geotermici esistenti ma anche di individuare gli eventuali hot spot.**

**A partire dallo shp puntuale contenente l'ubicazione dei pozzi è stata calcolata la densità in ogni punto della carta, misurando il numero di pozzi che sono inclusi entro un raggio specificato (in questo caso prescelto in modo che l'area della circonferenza fosse 1 kmq), utilizzando una funzione gaussiana (kernel).**

**Il risultato è stato rappresentato in scala di colore per le densità maggiori di un pozzo per kmq ed è rappresentato nella successiva figura.**



*Fig. 89- Analisi hot spots pozzi*

Entrando più nel dettaglio si nota come le concessioni dell'area amiatina non presentino aree con densità superiore ad un pozzo per kmq, mentre le aree a maggior densità si trovano, come era prevedibile, nell'area della geotermia classica e più in particolare nella concessione di Larderello.

Gli “hot spots”, cioè le aree con una particolare concentrazione di punti, facilmente individuabili dalla mappa realizzata, e localizzate ovviamente in corrispondenza di centrali geotermoelettriche in funzione, sono :

- 3 l'area a nord dell'abitato Castelnuovo Val di Cecina (Comune di Castelnuovo Val di Cecina, con area baricentrica la zona di Lagoni), dove si raggiunge una densità media di pozzi per kmq massima prossima a 5; l'area contiene le centrali di Vallesecolo e Nuova Larderello.
- 4 l'area immediatamente a sud del centro storico di Larderello (Comune di Larderello); l'area contiene la centrale di Nuova Castelnuovo
- 5 l'area a sud di M. Gabbro (Comuni di radicondoli e Montieri); l'area è immediatamente a sud delle centrali di Nuova Radicondoli 1 e 2 ed immediatamente a nord delle centrali di Travale 3 e 4;
- 6 l'area ad ovest della loc. Lagoni del Sasso (Comune di Castelnuovo Val di Cecina); l'area contiene le centrali di Nuova Sasso e Sasso 2;
- 7 l'area a nord est di Poggio Ghirlanda (Comune di Pomarance); l'area contiene la centrale di Nuova Lagoni Rossi;

- 8 l'area a nord dell'abitato Monterotondo Marittimo (Comune di Monterotondo Marittimo), l'area contiene la centrale di Nuovo Monterotondo;
- 9 l'area ad est della Loc.Fabbriche (Comune di Larderello); l'area contiene la centrale di Nuova Serrazzano;
- 10 l'area in prossimità del Lago Boracifero (Comune di Monterotondo Marittimo); l'area è immediatamente a sud della centrale di Nuova Lago;

Un altro tipo di analisi che spaziale che è possibile effettuare sullo shape del catasto dei pozzi è la cosiddetta *Average nearest neighbour* o *Analisi del vicino più prossimo* che da la possibilità di analizzare se la distanza tra i punti è minore o maggiore della distanza attesa nel caso di distribuzione casuale completa: nel caso di distanza minore i punti avranno una distribuzione “a cluster” cioè a gruppi concentrati se maggiore la distribuzione spaziale dei punti sarà “dispersa”, se è pressochè simile alla distanza attesa la distribuzione sarà casuale.

Procedendo concessione per concessione il risultato è riassumibile nella seguente tabella:

Concessione	Distanza osservata [m]	Distanza attesa [m]	Indice vicino più prossimo	Classificazione Pattern
<i>Piancastagnai o</i>	262,37	403,93	0,65	clusterizzato
<i>Bagnore</i>	351,7	418,76	0,84	clusterizzato
<i>Chiusdino</i>	148,54	605,57	0,25	clusterizzato
<i>Travale</i>	222,31	513,88	0,43	clusterizzato
<i>Rio Secco</i>	189,59	332,49	0,57	clusterizzato
<i>Canneto</i>	248,73	445,89	0,56	clusterizzato
<i>Larderello</i>	197,91	263,62	0,75	clusterizzato
<i>Lustignano</i>	203,34	277,8	0,73	clusterizzato

Tabella 25- Risultati Analisi del vicino più prossimo per concessione

Come si puo' desumere dalla precedente tabella pur risultando tutte le distribuzioni clusterizzate, dall'andamento dei valori dell' Indice vicino più prossimo si desume che le concessioni di Bagnore e Larderello si avvicinano comunque di più alla distribuzione casuale.

Per quanto riguarda l'analisi della distanza pozzi – centrali è possibile fare un Analisi di prossimità mediante lo strumento GIS.

In particolare nella successiva tabella si riporta, per ciascuna centrale, la distanza media, minima, massima e la deviazione standard dei primi 20 pozzi più prossimi alla centrale stessa.

<b>Centrale</b>	<b>Potenza [MW]</b>	<b>Media [m]</b>	<b>Deviazione standard [m]</b>	<b>Distanza minima [m]</b>	<b>Distanza Massima [m]</b>
<i><b>Bagnore 4</b></i>	40	994,26	395,74	378,73	1581,26
<i><b>Bagnore 3</b></i>	20	936,29	418,02	201,96	1551,46
<i><b>Piancastagnaio 3</b></i>	20	792,96	420,73	146,58	1704,84
<i><b>Piancastagnaio 4</b></i>	20	816,06	571,66	102,91	1630,09
<i><b>Piancastagnaio 5</b></i>	20	833,62	524,40	310,67	1698,48
<i><b>Farinello</b></i>	60	930,59	304,84	175,82	1299,47
<i><b>Nuova Castelnuovo</b></i>	14,50	146,74	43,78	57,68	208,85
<i><b>Nuova Gabbro</b></i>	20	1057,21	374,09	70,19	1595,11
<i><b>Nuova Larderello</b></i>	20	354,71	118,44	166,15	535,24
<i><b>Nuova Molinetto</b></i>	20	1007,14	358,31	274,24	1504,20
<i><b>Sesta 1</b></i>	20	1292,20	843,84	30,72	2672,66
<i><b>Vallesecolo</b></i>	120	350,73	142,78	110,94	626,50
<i><b>Chiusdino</b></i>	20	2001,66	1085,17	110,58	2898,74
<i><b>Nuova Radicondoli 1</b></i>	40	629,37	134,88	85,71	735,59
<i><b>Pianacce</b></i>	20	1092,01	345,86	232,72	1721,23
<i><b>Rancia 1</b></i>	20	1250,50	536,44	204,05	1713,20

	<b>Potenza</b> <b>a</b> <b>[MW]</b>	<b>Media</b> <b>[m]</b>	<b>Deviazione</b> <b>standard</b> <b>[m]</b>	<b>Distanza</b> <b>minima</b> <b>[m]</b>	<b>Distanza</b> <b>Massima</b> <b>[m]</b>
<b>Centrale</b>					
<i>Rancia 2</i>	20	969,12	303,52	361,05	1581,74
<i>Travale 3</i>	20	1038,27	349,13	252,49	1333,75
<i>Travale 4</i>	40	1066,40	362,47	222,05	1380,90
<i>Carboli 1</i>	20	856,34	345,02	232,25	1311,32
<i>Carboli 2</i>	20	879,85	328,32	209,45	1300,53
<i>Cornia 2</i>	20	775,60	321,03	189,50	1276,99
<i>La Prata</i>	20	766,06	244,42	191,58	1159,37
<i>Monteverdi 1</i>	20	871,48	419,44	111,96	1620,26
<i>Monteverdi 2</i>	20	1054,02	531,41	177,08	1521,99
<i>Nuova Lago</i>	10	446,13	187,71	75,67	733,25
<i>Nuova Lagoni Rossi</i>	20	338,30	127,30	105,58	530,72
<i>Nuova Monterotondo</i>	10	269,89	95,40	69,81	468,91
<i>Nuova San Martino</i>	40	605,73	182,21	128,94	946,31
<i>Nuova Sasso</i>	20	191,25	59,76	78,65	257,84
<i>Nuova Serrazzano</i>	60	377,07	142,15	138,44	648,46
<i>Sasso 2</i>	20	213,10	63,45	111,13	333,94
<i>Selva 1</i>	20	1231,77	428,58	629,43	1834,09
<i>Gruppo Binario Bagnore</i>	1	929,08	412,79	143,68	1561,83
<i>Nuova Radicondoli 2</i>	20	635,99	142,23	26,42	704,71

Tabella 26- Risultati Analisi di prossimità per Centrale



Dalla precedente tabella si evidenzia come la centrale mediamente più lontana dai pozzi sia quella di Chiusdino, mentre mediamente quella più vicina sia Vallesecolo; La centrale che presenta il pozzo più vicino risulta essere Nuova Castelnuovo, mentre quelle che presenta il pozzo più lontano (sempre tra i 20 più vicini) è sempre Chiusdino.

Calcolando di parametri medi otteniamo che la media delle distanze medie è pari a 800,04 m, la media delle distanza minime è 174,71 m e la media delle distanze massime è 1262,40 m.

Se effettuiamo lo stesso tipo di analisi limitandoci ai soli pozzi classificati come destinati alla produzione di energia elettrica e limitandoci ai 5 pozzi più vicini i risultati sono i seguenti.

Centrale	Potenza [MW]	Media [m]	Deviazione Standard [m]	Distanza minima [m]	Distanza massima [m]
<i>Bagnore 4</i>	40	1238,14	363,22	798,41	1581,62
<i>Bagnore 3</i>	20	1316,77	274,60	982,47	1580,08
<i>Piancastagnaio 3</i>	20	1001,22	177,34	905,73	1355,73
<i>Piancastagnaio 4</i>	20	290,80	218,20	110,10	566,98
<i>Piancastagnaio 5</i>	20	358,35	43,41	320,41	422,85
<i>Farinello</i>	60	816,64	125,00	588,76	972,93
<i>Nuova Castelnuovo</i>	14,50	179,97	87,65	57,68	279,19
<i>Nuova Gabbro</i>	20	674,29	347,24	70,19	1036,06
<i>Nuova Larderello</i>	20	299,72	82,71	167,12	422,85
<i>Nuova Molinetto</i>	20	518,78	190,84	274,24	791,23
<i>Sesta 1</i>	20	958,76	53,73	914,15	1046,07
<i>Vallesecolo</i>	120	191,41	61,35	110,94	249,44

<b>Centrale</b>	<b>Potenza [MW]</b>	<b>Media [m]</b>	<b>Deviazione Standard [m]</b>	<b>Distanza minima [m]</b>	<b>Distanza massima [m]</b>
<b><i>Chiusdino</i></b>	<b>20</b>	<b>399,54</b>	<b>542,07</b>	<b>110,58</b>	<b>1483,32</b>
<b><i>Nuova Radicondoli 1</i></b>	<b>40</b>	<b>607,49</b>	<b>4,24</b>	<b>601,11</b>	<b>613,77</b>
<b><i>Pianacce</i></b>	<b>20</b>	<b>738,97</b>	<b>270,94</b>	<b>232,72</b>	<b>1008,13</b>
<b><i>Rancia 1</i></b>	<b>20</b>	<b>982,75</b>	<b>560,47</b>	<b>204,05</b>	<b>1679,77</b>
<b><i>Rancia 2</i></b>	<b>20</b>	<b>653,75</b>	<b>172,95</b>	<b>361,05</b>	<b>838,30</b>
<b><i>Travale 3</i></b>	<b>20</b>	<b>698,33</b>	<b>542,90</b>	<b>252,49</b>	<b>1391,95</b>
<b><i>Travale 4</i></b>	<b>40</b>	<b>690,11</b>	<b>565,82</b>	<b>222,05</b>	<b>1385,25</b>
<b><i>Carboli 1</i></b>	<b>20</b>	<b>556,15</b>	<b>230,13</b>	<b>232,25</b>	<b>791,91</b>
<b><i>Carboli 2</i></b>	<b>20</b>	<b>539,29</b>	<b>227,38</b>	<b>209,45</b>	<b>806,65</b>
<b><i>Cornia 2</i></b>	<b>20</b>	<b>289,98</b>	<b>77,28</b>	<b>189,50</b>	<b>428,81</b>
<b><i>La Prata</i></b>	<b>20</b>	<b>456,42</b>	<b>172,45</b>	<b>191,58</b>	<b>708,30</b>
<b><i>Monteverdi 1</i></b>	<b>20</b>	<b>543,60</b>	<b>352,01</b>	<b>111,96</b>	<b>833,89</b>
<b><i>Monteverdi 2</i></b>	<b>20</b>	<b>469,24</b>	<b>336,58</b>	<b>177,08</b>	<b>1106,39</b>
<b><i>Nuova Lago</i></b>	<b>10</b>	<b>223,11</b>	<b>81,15</b>	<b>75,67</b>	<b>322,51</b>
<b><i>Nuova Lagoni Rossi</i></b>	<b>20</b>	<b>215,29</b>	<b>123,09</b>	<b>105,58</b>	<b>382,90</b>
<b><i>Nuova Monterotondo</i></b>	<b>10</b>	<b>214,53</b>	<b>70,79</b>	<b>93,68</b>	<b>272,04</b>
<b><i>Nuova San Martino</i></b>	<b>40</b>	<b>387,09</b>	<b>139,67</b>	<b>128,94</b>	<b>541,49</b>
<b><i>Nuova Sasso</i></b>	<b>20</b>	<b>240,13</b>	<b>21,25</b>	<b>199,12</b>	<b>257,84</b>
<b><i>Nuova Serrazzano</i></b>	<b>60</b>	<b>321,70</b>	<b>45,41</b>	<b>239,75</b>	<b>360,61</b>
<b><i>Sasso 2</i></b>	<b>20</b>	<b>178,86</b>	<b>8,61</b>	<b>162,25</b>	<b>185,57</b>

Centrale	Potenza [MW]	Media [m]	Deviazione Standard [m]	Distanza minima [m]	Distanza massima [m]
<b>Selva 1</b>	20	773,17	8,99	760,29	783,01
<b>Gruppo Binario Bagnore</b>	1	1368,34	312,07	988,30	1659,77
<b>Nuova Radicondoli 2</b>	20	643,58	12,60	619,90	656,46

Tabella 27- Risultati Analisi di prossimità per Centrale (solo pozzi produzione energia elettrica)

In questo caso la distanza media più alta (escludendo dall'analisi il Gruppo binario) ce l'ha la centrale di Bagnore 3 solo leggermente più alta di quella di Bagnore 4, mentre la distanza media più bassa si ha per la centrale di Sasso 2. La distanza massima si ritrova per la centrale di Rancia 1, mentre quelle mini ma per la Centrale di Nuova Castelnovo. Anche in questo caso è possibile calcolare i parametri medi che risultano 572,5 m per quanto riguarda la distanza media, 336,3 m per quanto riguarda la distanza minima e 822,96 m per quanto riguarda la distanza massima.

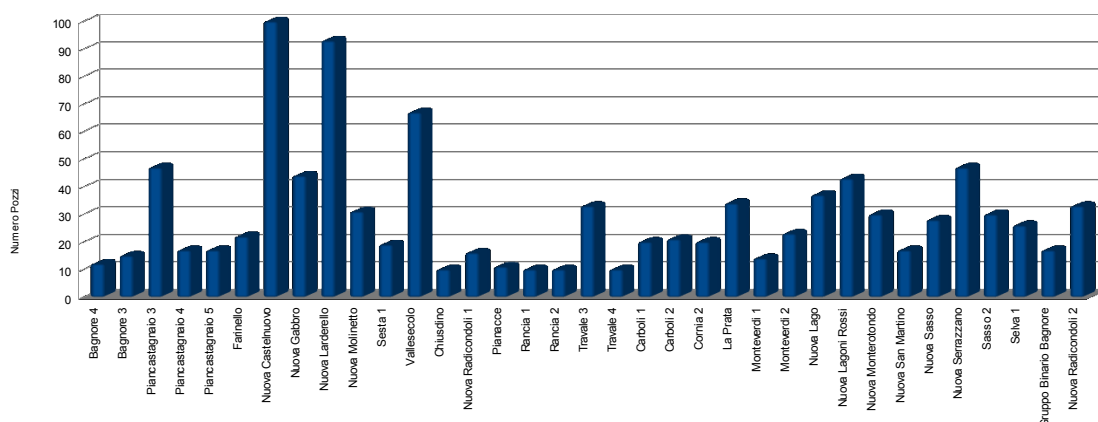


Fig. 90- Analisi di vicinanza pozzo-centrale

Sempre con lo stesso tipo di algoritmo è stata effettuata un'analisi di distanza "inversa" rispetto a quelli effettuati sopra che prendevano in considerazione le distanze dei pozzi dalle centrali e precisamente è stata analizzata la distanza della centrale dal singolo pozzo; in particolare si è individuato per ciascun pozzo la centrale più vicina.

Nella figura 90 sono rappresentati i risultati in forma aggregata : per ciascuna centrale è rappresentato il numero di pozzi che hanno quella centrale come "più vicina"; in questo modo si ha un'ulteriore differente

misura della densità di pozzi intorno ad una centrale.

La centrale che risulta la più vicina al maggior numero di pozzi è la Centrale di Nuova Castelnuovo (100 pozzi) che non a caso presentava la maggior densità di pozzi per kmq nei dintorni, seguita dalle centrali di Nuova Larderello (93) e Vallesecolo (67).

### ***3.2 Analisi in termini rischio minerario***

Il successo della perforazione di un pozzo esplorativo è, ovviamente, correlata ad un certo grado di incertezza in relazione alla quantità ed alla qualità della risorsa reperita; sono piuttosto rari i casi di pozzi completamente secchi ("dry hole"), tuttavia, un pozzo geotermico può essere considerato senza successo per una o più ragioni – per esempio se:

- ci sono problemi meccanici imprevisti si verificano durante la perforazione;
- ha una temperatura inadeguata;
- ha una pressione troppo bassa statica;
- si rileva un serbatoio che è troppo "stretto" (cioè, il Productivity Index (PI) è basso);
- ha problemi chimici inaccettabili.

In senso lato il successo dipende anche, in parte, sulla differenza tra uso previsto di un bene prima perforazione, e quali sono le caratteristiche di tale pozzo perforato permettono. Ad esempio, un pozzo destinato per la produzione potrebbe invece essere utilizzato per l'iniezione, e potrebbe essere considerato riuscito per tale scopo. Appare chiaro comunque che non esistono criteri universalmente accreditati per definire se il pozzo abbia avuto successo o meno.

L'International Finance Corporation (IFC) nel 2013 ha eseguito uno studio<sup>5</sup> per analizzare i rischi associati alla perforazione geotermica, basata su un database di circa 2600 pozzi geotermici, distribuiti in 14 paesi nel mondo e che coprono 57 campi geotermici (2 in Italia, nel Lazio), cercando altresì di individuare una relazione tra "successo"<sup>6</sup> del pozzo e caratteristiche del pozzo stesso. Le informazioni presenti nel database per ciascun pozzo

---

5 International Finance Corporation (IFC). 2013. "Success of Geothermal Wells: A global study." Washington DC: World Bank Group. Accessed November 4, 2013.  
[http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics\\_ext\\_content/ifc\\_external\\_corporate\\_site/ifc+sustainability/publications/publications\\_gpn\\_geothermal-wells](http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/ifc+sustainability/publications/publications_gpn_geothermal-wells)

6 Nella relazione IFC un pozzo è stato ritenuto " infruttuoso " se soddisfa uno dei seguenti criteri : ( 1 ) problemi meccanici imprevisti ; ( 2 ) Temperatura insufficiente ; ( 3 ) una pressione troppo bassa statica per abilitare il flusso ad una pressione di testa pozzo commercialmente accettabile ; ( 4 ) il pozzo ha una basso indice di produttività ; o ( 5 ) problemi chimici inaccettabili (come fluidi gassosi , corrosivi ,ecc...)

riguardano: la data di Completamento, lo stato iniziale e attuale del pozzo, i MW di producibilità, la profondità, il tipo di risorsa (temperatura/entalpia), il tipo di Geologia, la dimensione del casing, il “successo” pozzo, il fatto di essere collegato ad un impianto di pompaggio o di essere stato ri-forato.

Per quanto riguarda le percentuali di successo dei pozzi lo studio conclude che nel campo con la peggiore casistica si è raggiunta una percentuale di successo del 35%; tuttavia, i due terzi di tutti i campi investigati hanno registrato tassi di successo superiori al 60%. Ciò dimostra che la probabilità di successo varia notevolmente nei vari campi, una constatazione che enfatizza ulteriormente le caratteristiche uniche dei singoli campi geotermici. La percentuale media di successo di tutti i pozzi è stata, comunque, del 78%.

Inoltre, lo studio dell'IFC ha rilevato che nel 63 % dei campi, oltre il 50 % dei pozzi ha avuto successo nella fase di esplorazione, confermando gli elevati rischi di perforazione iniziale: lo studio ha rilevato anche, però, che il tasso di successo per pozzi perforati durante la fase di esplorazione è costantemente migliorato nelle ultime decadi.

Infine, la IFC ha evidenziato che un tasso di successo tra il 60% e il 70% è risultato essere il risultato più comune per i pozzi perforati durante la fase di sviluppo (il tasso di successo medio per pozzi perforati durante la fase di sviluppo è 72%). Nel 76 % di tutti i campi esaminati più del 60 % dei pozzi perforati durante la fase di sviluppo sono stati considerati come aventi successo.

### Cumulative average well success rates

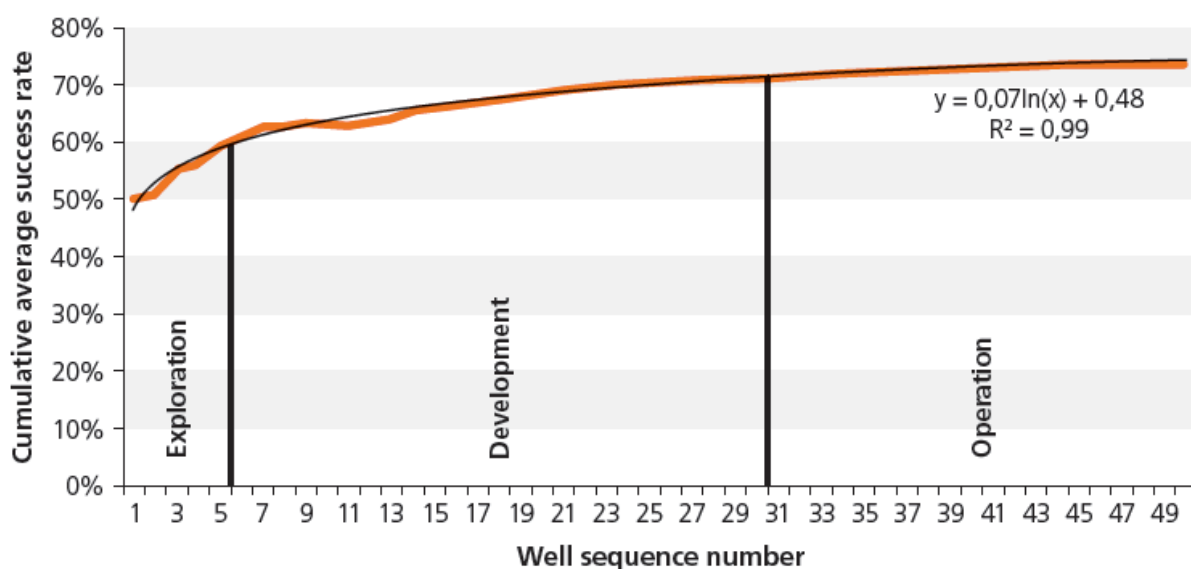


Fig. 91- Curva di apprendimento – percentuale di successo dei pozzi (fase di esplorazione (exploration) = perforazioni iniziale per stabilire le caratteristiche della risorsa, fase di sviluppo (development) = perforazioni effettuate per raggiungere la piena potenza preventivata, fase operativa (operation) = perforazioni per rimpiazzare risorse perse)



Nessuna delle caratteristiche del pozzo esaminate (profondità, geologia, dimensione del casing, ecc...) ha mostrato una chiara correlazione con il successo del pozzo.

La successiva figura è tratta da un documento pubblicato da GeothermEx<sup>7</sup> che tenta di quantificare praticamente il rischio legato alla risorsa geotermica per un generico progetto di esplorazione: essa mostra come l'effetto di apprendimento può migliorare la probabilità di successo nella fase di perforazione in un ipotetico campo: la probabilità di successo aumenta quando si è in grado di reperire numerose informazioni precedentemente alla fase di perforazione. Ad esempio, la successiva figura indica che per un programma di perforazione di 5 pozzi, la probabilità cumulativa di ottenere almeno due pozzi aventi successo è dell'81 % in assenza di effetto di apprendimento. Tuttavia, tale probabilità aumenta al 92 % con il beneficio dell'effetto della curva di apprendimento.

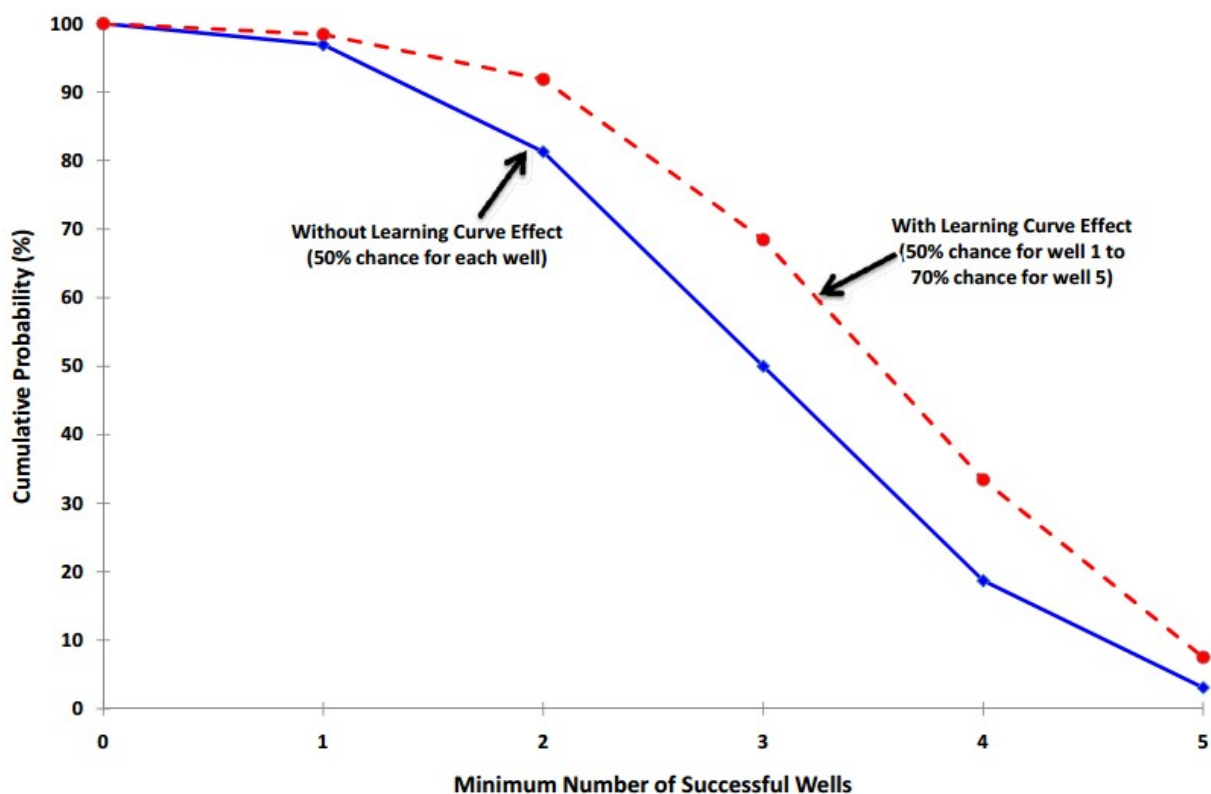


Fig. 92- Effetto della curva di apprendimento sulla probabilità di successo (Sanyal & Morrow 2010.)

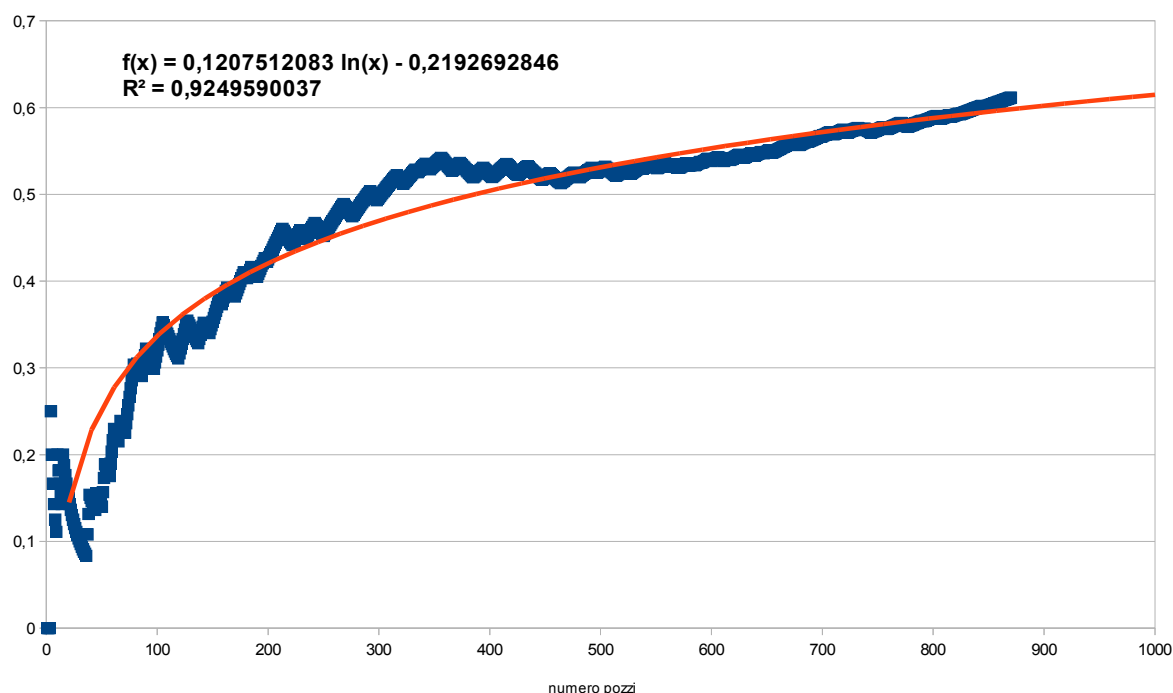
## Il catasto dei pozzi elaborato per il territorio regionale della regione Toscana,

<sup>7</sup> Sanyal, Subir K. and James W. Morrow. 2010. "Quantification of Geothermal Resource Risk – A Practical Perspective." Richmond, California: GeothermEx Inc. Accessed November 4, 2013.  
[http://www.slb.com/~media/Files/geothermal/tech\\_papers/sanyal\\_2010\\_4.pdf](http://www.slb.com/~media/Files/geothermal/tech_papers/sanyal_2010_4.pdf)

comprende tra le altre, per un certo numero di pozzi le informazioni relative all'anno di realizzazione del pozzo ed alla “produttività” o meno del pozzo stesso; come descritto nei precedenti paragrafi nel catasto sono stati individuati come produttivi i pozzi che soddisfano uno o entrambi i seguenti criteri:

- è definito “produttivo” all'interno dell'inventario delle risorse nazionali
- vi è notizia che alimenti o abbia alimentato una centrale geotermoelettrica oppure un impianto di teleriscaldamento

Ordinando, dunque, cronologicamente i pozzi per cui sono disponibili sia le informazioni relative all'anno che quelle relative alla produttività è possibile, ispirandosi a quanto fatto nello studio dell'IFC la curva che rappresenta la percentuale di successo cumulata in funzione del numero di pozzi scavati: nella figura successiva è rappresentata tale curva per la totalità dei pozzi analizzabili con relativa curva interpolante che mostra un'ottima capacità di interpolazione ( $R^2 = 0,92$  circa).



*Fig. 93- Curva di apprendimento – percentuale di successo dei pozzi in Toscana*

Dalla figura precedente si evince come l'andamento sia logaritmico, in analogia allo studio dell' IFC e che la curva si attesta, per gli ultimi pozzi scavati ad un tasso di successo del **61%**, sempre in accordo con i risultati dello studio dell'IFC.

Per completezza, tenuto conto che in realtà i campi geotermici principali sul territorio regionale sono 2 (area Larderello ed area Amiata) è stata eseguita

la stessa analisi anche separando i pozzi per area di appartenenza: la percentuale di successo finale si attesta a circa il 62% per l'area di Larderello ed al 69% per l'area dell'Amiata; il risultato più alto per l'area dell'Amiata era prevedibile in funzione del fatto che le esplorazioni in quell'area sono cominciate molto dopo l'Area di Larderello, dunque la percentuale di successo è stata maggiore, anche per i primi pozzi anche in virtù delle migliori tecniche di esplorazione non invasiva disponibili. Tale dato è in accordo anche con la minor densità di pozzi generalmente presenti nell'Area dell'Amiata.

Ipotizzando dunque una probabilità di successo del 61%, pari a quella finale della curva ottenuta dall'elaborazione di tutti i dati a livello regionale ( e che dunque tiene conto anche dell'effetto di “apprendimento” ) è possibile costruire la curva di probabilità cumulata di ottenere almeno un pozzo produttivo su x pozzi scavati: come è possibile desumere dalla figura successiva sono sufficienti 4 pozzi per ottenere una probabilità di successo superiore al 95%.

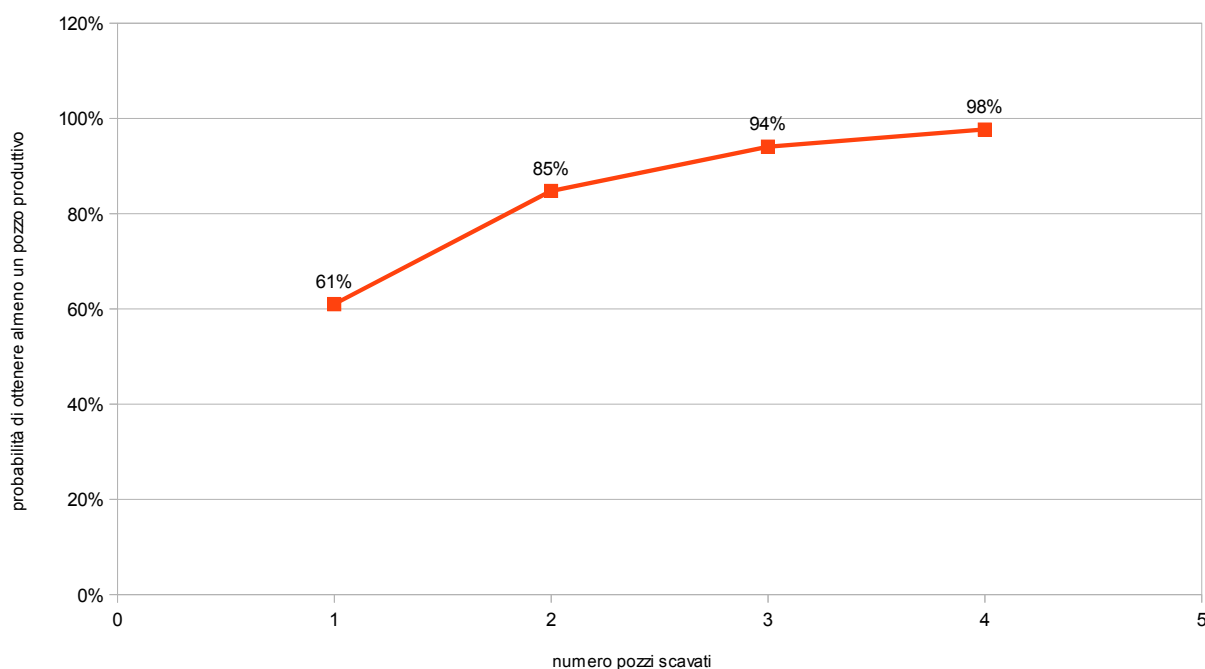


Fig. 94- Curva di probabilità cumulata di ottenere almeno un pozzo produttivo su x pozzi scavati

### ***3.3 Elaborazione dei dati relativi all'inquinamento acustico***

Partendo dai dati riportati nel paragrafo 2.5 relativi ai vigenti piani di classificazione acustica del territorio approvati dai comuni dell'area geotermica e dai dati delle valutazioni di impatto acustico in ambito VIA

nonché dai dati delle campagne di misura sul campo effettuate da ARPAT di cui allo stesso paragrafo è stata sviluppata un'apposita procedura per la definizione dell'Area Potenzialmente Utilizzabile per la localizzazione di nuove centra e quindi dei pozzi relativi.

Sempre utilizzando i dati raccolti si è inoltre cercato di definire un indicatore per caratterizzare l'impatto delle centrali in termini di territorio con limiti acustici elevati (aree industriali di V e VI classe).

### **3.3.1 Area Potenzialmente Utilizzabile**

La procedura utilizzata per la definizione di tale Area è stata la seguente:

- 1) a partire dai dati geo-referenziati dei PCCA Comunali sono state estratte le aree in classe III, IV, V e VI che sono state successivamente fuse in una sola geometria poligonale;
- 2) da tale area è stato poi sottratto un buffer interno pari a 400 m in accordo con le indicazioni emerse dalle valutazioni modellistiche in ambito VIA e le indagini sul campo di ARPAT riportate nel paragrafo 2.5. Tale buffer rappresenta una cintura di salvaguardia dal rumore per le aree in classe I e II.

Nelle mappe di cui alle figure da 95 a 97 sono riportati i risultati della suddetta procedura. In esse l'Area di Potenzialmente Utilizzabile per la localizzazione di nuovi impianti è rappresentata in colore arancio.

Al fine di aumentare la leggibilità delle mappe prodotte, si è scelto di etichettare le centrali esistenti con un numero identificativo progressivo invece che con il nome dell'impianto.

In Tabella 28 sono riportate le corrispondenze tra il numero nelle figure e il nome dell'impianto esistente.

Dall'esame delle figure emerge quanto segue:

- salvo utilizzare aree industriali già sede di impianto, non sono, allo stato attuale dei piani di comunali di classificazione acustica vigenti localizzabili nuovi siti di impianto, ponendo come vincolo non superabile la protezione delle attuali aree di I e II classe dello stesso piano;
- il piano comunale di classificazione acustica consente, in diversi comuni, di individuare nuovi siti di impianto in aree attualmente classificate come aree a destinazione agricola (III classe), ma tale localizzazione è comunque soggetta all'approvazione da parte del comune interessato di una variante della classificazione che preveda il passaggio delle stesse (limitatamente all'area di impianto (e di

localizzazione dei pozzi) in aree di VI e V classe con area di interposizione opportune in IV classe.

ID	NOME
1	<i>Bagnore 4</i>
2	<i>Bagnore 3</i>
3	<i>Piancastagnaio 3</i>
4	<i>Piancastagnaio 4</i>
5	<i>Piancastagnaio 5</i>
6	<i>Farinello</i>
7	<i>Nuova Castelnuovo</i>
8	<i>Nuova Gabbro</i>
9	<i>Nuova Larderello</i>
10	<i>Nuova Molinetto</i>
11	<i>Sesta 1</i>
12	<i>Vallesecolo</i>
13	<i>Chiusdino</i>
14	<i>Nuova Radicondoli 1</i>
15	<i>Nuova Radicondoli 2</i>
16	<i>Pianacce</i>
17	<i>Rancia 1</i>
18	<i>Rancia 2</i>
19	<i>Travale 3</i>
20	<i>Travale 4</i>
21	<i>Carboli 1</i>
22	<i>Carboli 2</i>



ID	NOME
23	<i>Cornia 2</i>
24	<i>La Prata</i>
25	<i>Monteverdi 1</i>
26	<i>Monteverdi 2</i>
27	<i>Nuova Lago</i>
28	<i>Nuova Lagoni Rossi</i>
29	<i>Nuova Monterotondo</i>
30	<i>Nuova San Martino</i>
31	<i>Nuova Sasso</i>
32	<i>Nuova Serrazzano</i>
33	<i>Sasso 2</i>
34	<i>Selva 1</i>
35	<i>Gruppo           Binario Bagnore</i>

Tabella 28- Centrali esistenti, corrispondenza tra numero identificativo riportato nelle Figure da 1 a 3 e nome delle centrali.

**Quest'ultima modifica è comunque accettabile/possibile previa valutazione di dettaglio dello stato dei luoghi. Deve essere salvaguardata infatti la classificazione attuale in corrispondenza di eventuali nuclei minori o edifici abitativi isolati non considerati nella procedura di delimitazione dell'Area Potenzialmente Utilizzabile utilizzata.**

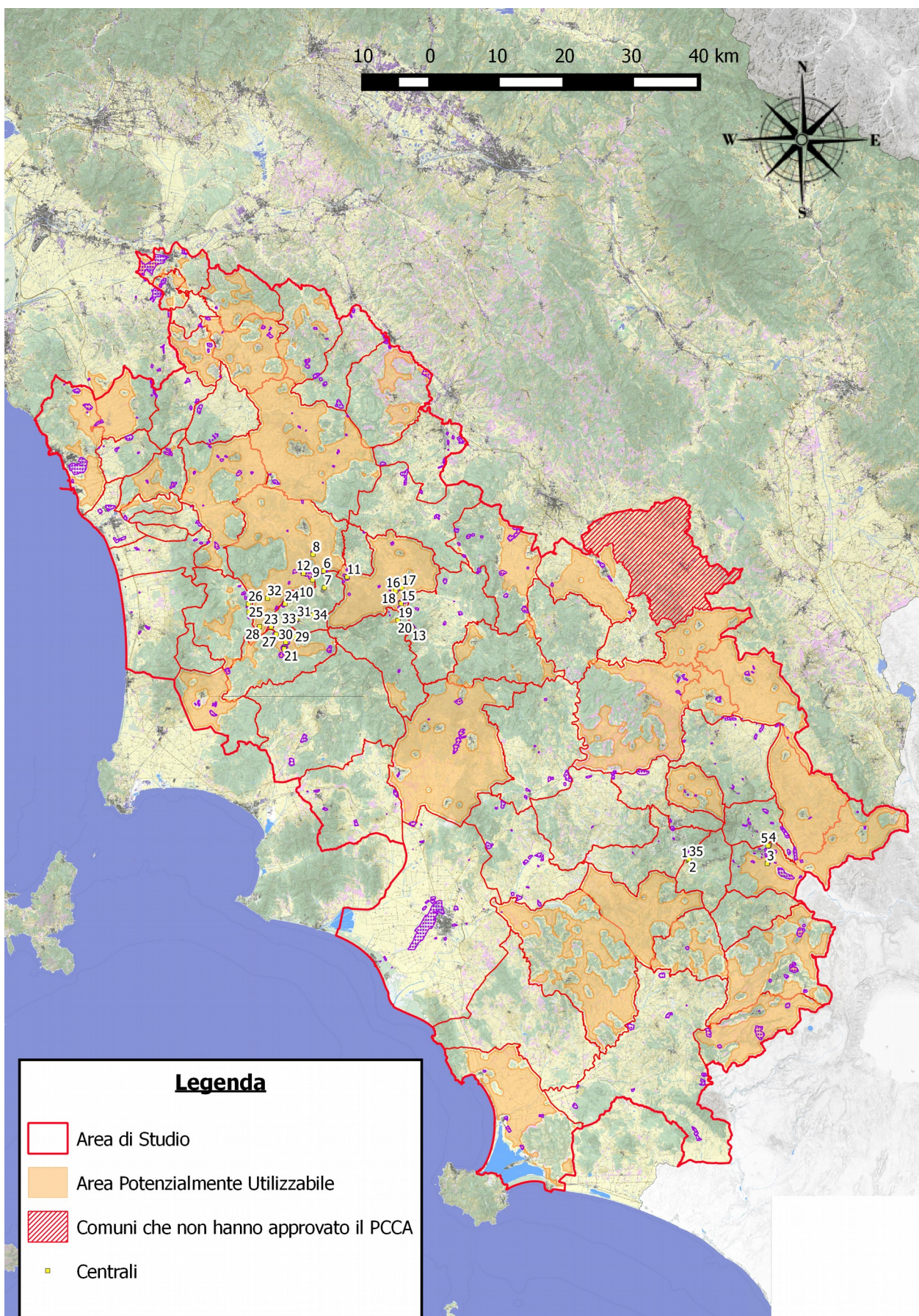


Fig. 95- Componente “Rumore”, individuazione delle Aree potenzialmente utilizzabili: quadro generale dell'Area di Studio



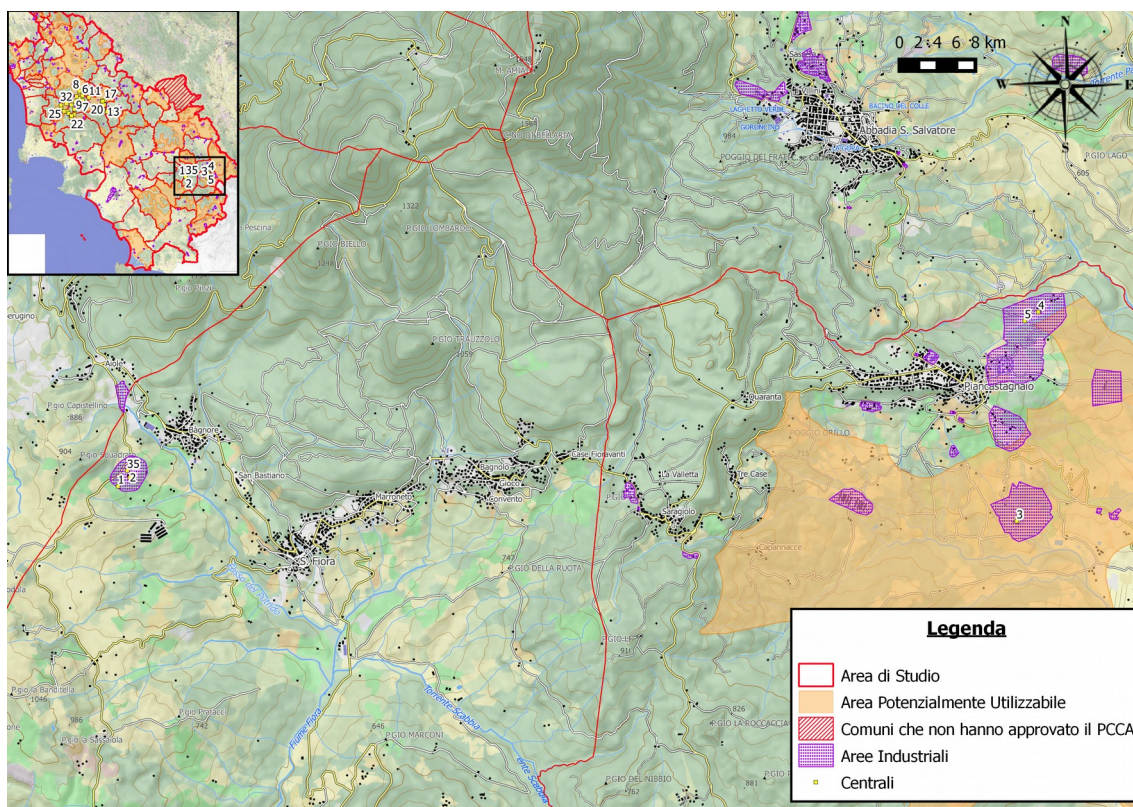


Fig. 96- Componente “Rumore”, individuazione delle Aree potenzialmente utilizzabili: dettaglio dell'Area del Monte Amiata.

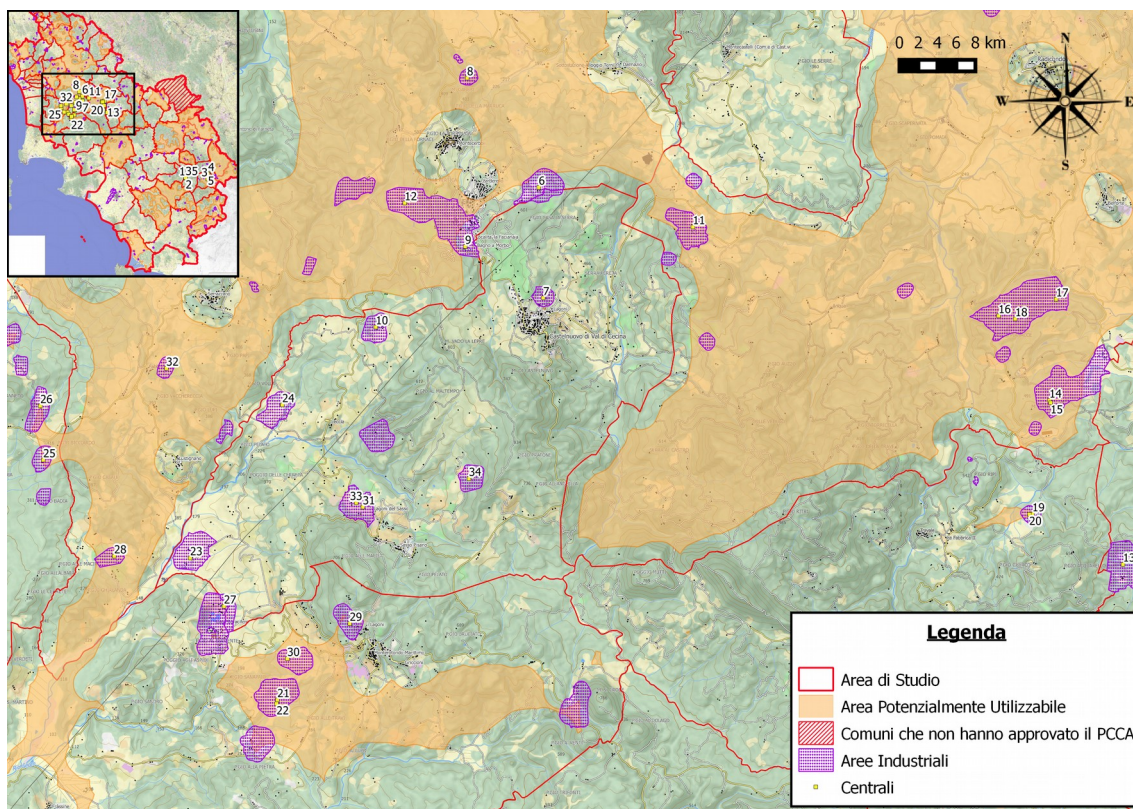


Fig. 97- Componente “Rumore”, individuazione delle Aree potenzialmente utilizzabili: dettagli dell'Area storica.

### 3.3.2 Indicatore di impatto

Come possibile indicatore dell'impatto acustico nel tempo legato allo sfruttamento della risorsa geotermica nell'area di studio è stata considerato il seguente:

$$I_i = (\sum A_i)_j / N_j$$

dove:

- $A_i$  è l'area in VI e V classe associabile alla centrale  $i$  e  $(\sum A_i)_j$  la somma delle aree di tutte le centrali attive nell'anno  $j$ ;
- $N_j$  il numero delle centrali attive nell'anno  $j$

Partendo dai siti delle centrali attuali ad ogni centrale sono quindi state associate le corrispondenti aree classificate in V e VI classe e l'anno di attivazione della stessa.

Nella tabella seguente si riportano distinti per anno i valori del numero delle centrali attive e l'estensione delle aree in classe VI e V in cui tali centrali ricadono espresse in m<sup>2</sup>.

Anno	Numero Centrali Attive	Area Zone in Classe V e VI (m <sup>2</sup> )	Valore Indicatore (m <sup>2</sup> / n°centrali)
1986	1	3965028.13	3965028.13
1994	7	16955807.02	2422258.15
1999	17	34130898.1	2007699.89
2005	29	64333572.26	2218399.04
2014	35	69071442.52	1973469.79

*Tabella 29- Valori per anno del numero di centrali attive e estensione aree classi VI e V in cui ricadono*