

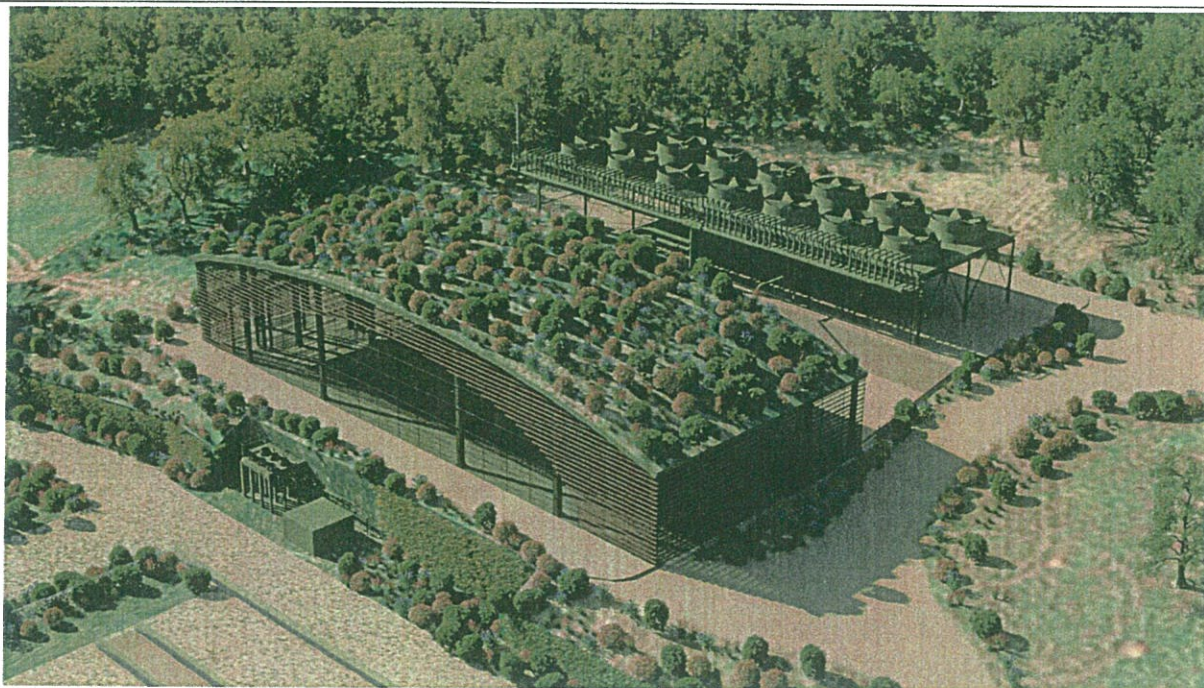
# RGT - RETE GEOTERMICA TOSCANA s.r.l.

VIA ERNESTO ROSSI N°9 - 52100, AREZZO

P.I. - 03263030540 C.S. 120.000,00 i.v.

PEC: retegeotermicatoscana@pec.it

## Impianto Geotermico Pilota Castelnuovo



00	09/05/2017	Emissione	GE.MIN.A.	MAGMA ENERGY ITALIA SRL Magma Energy Italia, Arezzo 52100 Rete Geotermica Toscana Tel 0575 326451 - Fax 0575 326457 magma@geotermicatoscana.it C.F. 03263030540	APPROVATO
REV.	DATA	OGGETTO	PREPARATO	CONTROLATO	

PROGETTISTA:

**GE MIN A**  
SOCIETÀ PROFESSIONALE

RGT-RETE GEOTERMICA TOSCANA SRL  
VIA E. ROSSI N. 9 - 52100 AREZZO  
C.F. 03263030540

TITOLO:

**SISTEMI IDROGEOLOGICI E CIRCOLAZIONE DEI FLUIDI GEOTERMICI**

NOTE:

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

C	A	S	0	2	D	E	G	R	R	0	8	7
ARGOMENTO	PROGETTO	LIVELLO	AREA	TIPO	PROGRESSIVO							

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

FOGLIO:  
1

FORMATO:  
A4

# IMPIANTO GEOTERMICO PILOTA “CASTELNUOVO”

## SISTEMI IDROGEOLOGICI E CIRCOLAZIONE DEI FLUIDI GEOTERMICI

MAGGIO 2017

### INDICE:

1. Struttura idrogeologica e modello di ricarica del campo geotermico di Larderello-Travale.....	2
1.1 Assetto stratigrafico e idrogeologico del Campo Geotermico di Larderello-Travale.....	2
1.1.1 Stratigrafia.....	2
1.1.2 Elementi idrogeologici generali.....	3
1.2 La ricarica del Reservoir Carbonatico-Evaporitico di Larderello.....	4
1.3 La ricarica del Reservoir Metamorfico di Larderello-Travale.....	7
2. I sistemi di circolazione idrica locale nella zona del Progetto Pilota.....	10
2.1 La struttura geologica Regionale.....	10
2.2 La struttura geologica locale.....	11
2.3 La geologia di dettaglio del sito e le emergenze idrogeologiche.....	15
3. La protezione delle formazioni ad opera del profilo di tubaggio delle perforazioni.....	20
4. Conclusioni.....	22

## 1. STRUTTURA IDROGEOLOGICA E MODELLO DI RICARICA DEL CAMPO GEOTERMICO DI LARDERELLO-TRAVALE

### 1.1 ASSETTO STRATIGRAFICO E IDROGEOLOGICO DEL CAMPO GEOTERMICO DI LARDERELLO-TRAVALE

#### 1.1.1 STRATIGRAFIA

Per poter esaminare la struttura dei serbatoi geotermici è necessario richiamare il noto schema concettuale geologico-stratigrafico di questa zona della Toscana, i cui riferimenti sono reperibili in numerose pubblicazioni (Fig. 1).

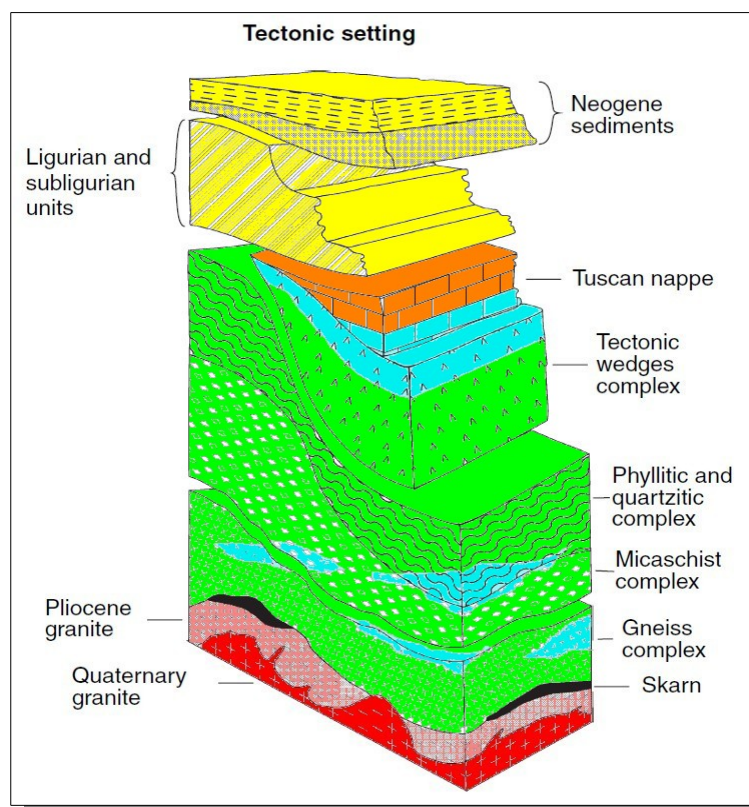


Fig. 1. Schema dell'assetto geologico e strutturale del campo geotermico di Larderello (da Bertini et al., 2006 - Geological structure of a long-living geothermal system, Larderello, Italy – Modificato con colori). Giallo: unità di copertura, permeabilità da molto bassa a irrilevante; Arancione: Unità terrigene della Serie Toscana, permeabilità variabile; Verde: complesso a scaglie tettoniche e unità metamorfiche, permeabilità da bassa a molto bassa; Rosso: graniti, permeabilità non nota.

In celeste sono evidenziate le unità carbonatico-evaporitiche della Serie Toscana e le fasce, la cui distribuzione nel basamento metamorfico è disomogenea, che possono presentare alta permeabilità.

Il sistema geotermico, salvo modesti e marginali affioramenti di unità carbonatiche, è estesamente coperto da spessori di centinaia di metri di formazioni nel complesso impermeabili, in quanto di natura prevalentemente argillosa (unità neogeniche) o argillitica (liguridi) (Fig. 2). Queste impediscono che il sistema abbia un contatto generalizzato con i pochi sistemi di circolazione idrica superficiali, che sono limitati ad acquiferi quaternari profondi pochi metri negli alvei fluviali e a modeste circolazioni che possono instaurarsi in acquiferi di poche decine di metri di profondità nelle Calcareniti, nelle Ofioliti e nell'arenaria “Macigno”, oltre agli acquiferi carbonatici nelle poche zone di alto strutturale in cui sono affioranti (in zone marginali del campo).

Il cosiddetto “primo serbatoio” che si incontra nel campo geotermico di Larderello-Travale è rappresentato dalle unità carbonatiche-evaporitiche appartenenti alla Serie Toscana e, talvolta, dalla

parte superiore – fortemente tettonizzata - del “complesso a scaglie tettoniche”, nel quale si ritrovano prevalentemente elementi carbonatici-evaporitici alternati a lembi di quarziti e filladi. Tali unità nella zona di Castelnuovo-Larderello si trovano a poche centinaia di metri di profondità e a profondità sensibilmente più elevate in altre zone del campo.

Scendendo più in profondità nelle unità metamorfiche è possibile incontrare fasce o livelli permeabili produttivi, la cui posizione e distribuzione è assai disomogenea, che nel complesso vengono identificati come “serbatoio profondo” o “serbatoio metamorfico”, generalmente localizzato a 3-4000 m di profondità. Riguardo alla permeabilità dei sottostanti graniti, che sono stati intercettati solo occasionalmente, non è possibile fornire chiare informazioni.

### 1.1.2 ELEMENTI IDROGEOLOGICI GENERALI

Nella carta idrogeologica di Fig. 2 (modificata da Arias et al.) sono evidenti sia l'estesa copertura impermeabile che gli affioramenti delle rocce del primo serbatoio, che si trovano in alti strutturali a sud-sudest delle aree geotermiche utilizzate. In corrispondenza di tali affioramenti si assume che le piogge abbiano una significativa aliquota di infiltrazione, dimostrata dall'esistenza di sistemi di circolazione freatica che danno origine ad alcune sorgenti di contatto, perenni, captate ad uso idropotabile.

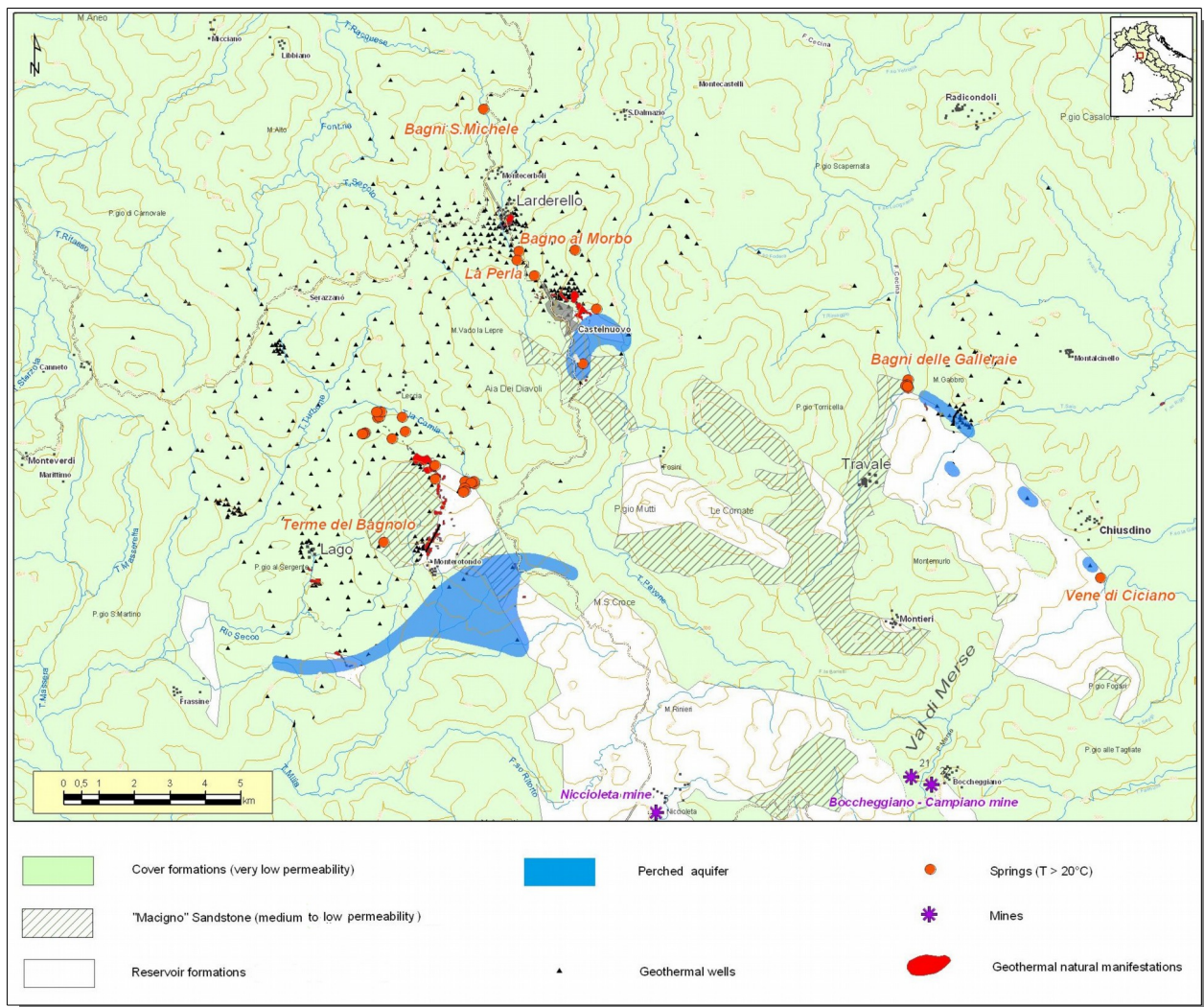


Fig. 2. Carta idrogeologica schematica del campo geotermico di Larderello-Travale (Modif., da: Arias et al., 2010 - Geoscientific Feature Update of the Larderello-Travale Geothermal System for a Regional Numerical Modeling).

In merito alle caratteristiche e alle potenzialità idrogeologiche dei carbonati – cui aggiungiamo il

Macigno, il quale ha una trascurabile porosità efficace ma è caratterizzato da elevata permeabilità per fratturazione (la quale tuttavia, decrescendo con la profondità per intasamento meccanico delle fratture, risulta di interesse solo per profondità dell'ordine di 100-200 m) – nello studio di Arias et al. viene riferita l'esistenza al loro interno di due acquiferi, legati alle infiltrazioni superficiali:

- un primo acquifero, detto “di base”, che ha un livello piezometrico a circa +160 m s.l.m.;
- un secondo acquifero più profondo (ma non a livello di primo serbatoio geotermico) il quale dà luogo ad una circolazione più ampia che si allontana dal campo geotermico in direzione sud-sudest, dalla quale si originano le più importanti sorgenti di questa parte della Regione (Vene di Ciciano, Venelle, Aronna, Accesa) come ben evidenziato nella Fig. 3 (da Arias et al., 2010).

Questo schema non sembra del tutto esauriente in quanto, ad esempio, non chiarisce quale tipo di circolazione prenda origine dal principale rilievo di Calcare Massiccio della zona (M. Cornate, in posizione intermedia tra Castelnuovo e Montieri), né purtroppo può essere approfondito in quanto i dati di base non sono stati pubblicati. Seppur con dette incertezze, si può osservare come le principali circolazioni ivi indicate abbiano direzioni uscenti dal campo geotermico e quindi confermino il modello del campo geotermico elaborato da Minissale nel 1991 (cfr. paragrafo seguente e schema di Fig. 4), laddove quest'ultimo conclude che il contributo delle infiltrazioni superficiali nella ricarica del primo serbatoio è secondario.

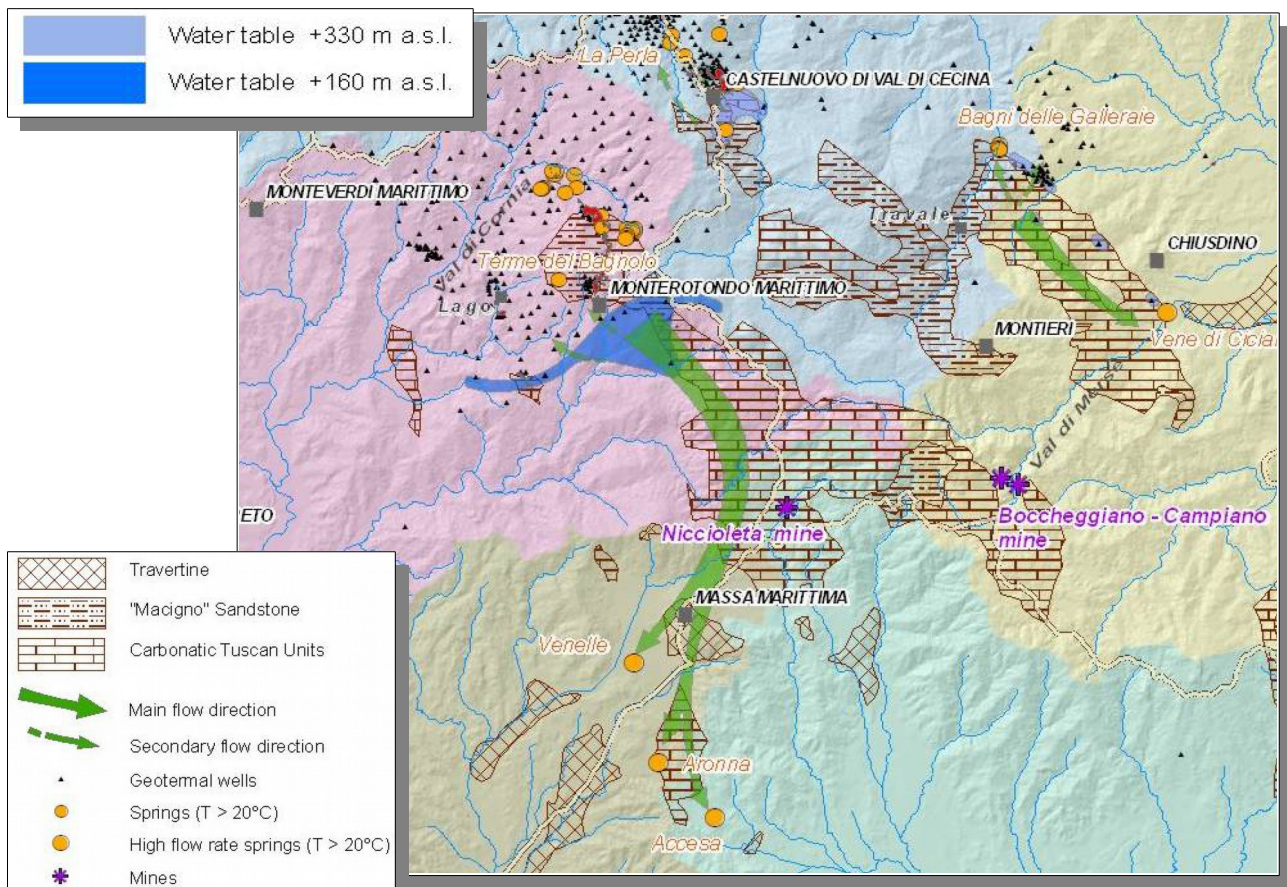


Fig. 3. Estratto della mappa idrogeologica interpretativa di Arias et al., 2010.

## 1.2 LA RICARICA DEL RESERVOIR CARBONATICO-EVAPORITICO DI LARDERELLO

Sebbene ai fini della produzione geotermoelettrica il “primo serbatoio” si sia rivelato produttivo solamente nelle zone centrali del campo geotermico, le unità carbonatiche generalmente vengono mappate ovunque come “top” del serbatoio. Al suo interno, le condizioni di temperatura e pressione dei fluidi all'interno del primo serbatoio variano in drasticamente da zona a zona. Nella parte

centrale del campo si hanno generalmente temperature che vanno da 120 a 170°C con pressione di pochi bar, localmente talmente ridotta da consentire la presenza di vapore in formazione anche per temperature relativamente basse. Le temperature degradano a distanze sempre maggiori dalle parti centrali del campo geotermico, e la formazione diviene un semplice acquifero idrotermale. Inoltre, le caratteristiche di trasmissività sono più o meno favorevoli a seconda della zona, in funzione dei valori dello spessore e della permeabilità dei carbonati, che rappresentano due parametri fortemente variabili.

Per capire in modo esaustivo il comportamento e la variabilità del primo serbatoio è necessario fare riferimento al paper di A. Minissale “*The Larderello geothermal field: a review*” (Earth-Science Reviews, 31 – 1991 – pp. 133-151), con il quale l’Autore riesamina congiuntamente i dati geologici, geochimici, petrologici e geofisici unitamente ai parametri di serbatoio e propone un modello interpretativo unitario del serbatoio.

Da tale pubblicazione si riporta uno schema concettuale molto chiaro con le caratteristiche del primo serbatoio, il quale viene schematicamente caratterizzato come segue:

- 120-140°C / 1.5-3 bar @200-300 m di profondità a Castelnuovo V.C. (pozzi “tipo 3” in figura);
- 150-170°C / 5-10 bar @300-500 m di profondità a Sasso Pisano, Lago, Monterotondo, Lagoni Rossi, Serrazzano (pozzi “tipo 3”);
- 200-260°C / 10-35 bar @500-1200 m di profondità a Larderello, Castelnuovo V.C. e Serrazzano (pozzi “tipo 1a” e “tipo 1b”).

Il serbatoio profondo è invece caratterizzato da 300-400°C / 60-80bar @4000 m di profondità (pozzi “tipo 4”).

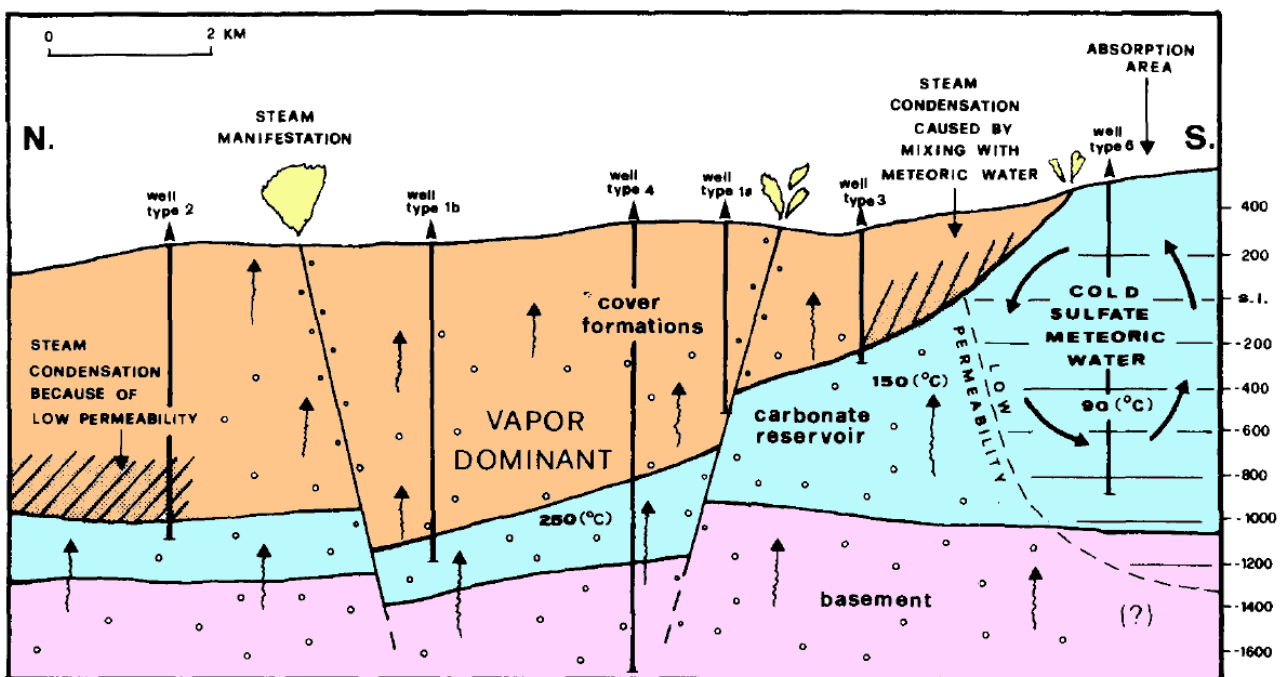


Fig. 4. Schema concettuale del campo geotermico di Larderello, sec. Minissale (1991), modificato con colori.

L’Autore, grazie ai dati idrogeochimici disponibili, mette in evidenza come gli affioramenti carbonatici, sebbene possa apparire logico dal punto di vista idrogeologico che essi rappresentino punti di ricarica anche del serbatoio profondo (come venne ipotizzato da Cataldi nel 1963), forniscano un contributo molto piccolo alla produzione di vapore. Ciò è spiegato dalla presenza di fasce a bassa permeabilità interposte tra il sistema a vapore dominante e gli acquiferi freddi che lo circondano, dove è spiegato (e accertato) che le condizioni fisiche variano drasticamente su brevi

distanze. Infatti i pozzi “tipo 3” a vapore surriscaldato si ritrovano a distanza relativamente breve da alcuni affioramenti carbonatici, dove alcuni pozzi (“tipo 6”) hanno riscontrato acque solfato-calciche con andamento delle temperature di tipo convettivo, attorno a 90°C. In effetti, a differenza di altri campi geotermici, il primo serbatoio non viene raffreddato dalle acque meteoriche che si infiltrano nelle parti affioranti.

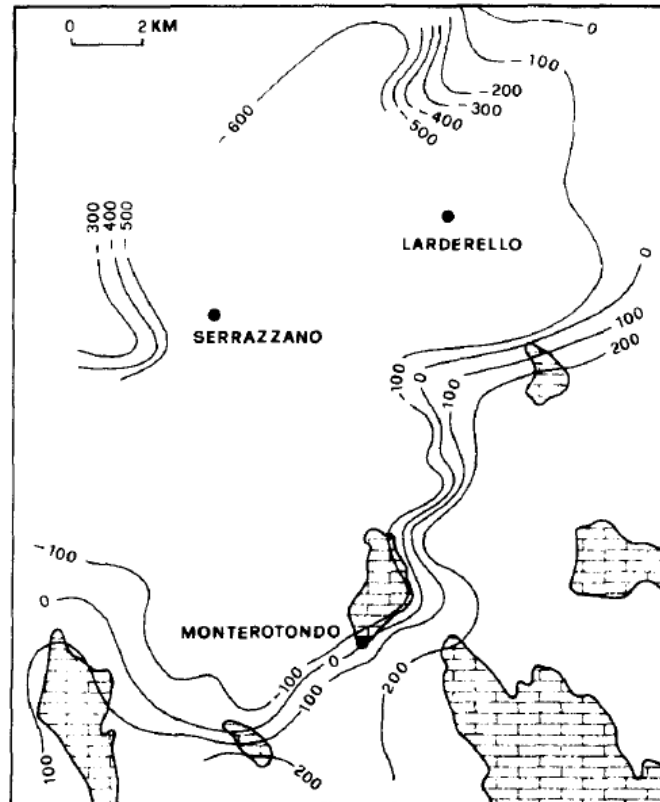


Fig. 5. Affioramenti carbonatici e Isobate dell’acquifero (m s.l.m.) considerato il limite liquido del primo serbatoio (da Cappetti, 1982, cit. in Minissale, 1991).

Inoltre, Minissale interpreta la presenza di fasi liquide nelle aree periferiche come un effetto di condensazione del vapore, dovuto sia a condizioni di bassa permeabilità che al mixing tra acque meteoriche solfato-calciche provenienti da acquiferi superficiali e vapore surriscaldato risalente da serbatoi più profondi.

Minissale elabora un modello – anche evolutivo – del campo geotermico, così sintetizzabile.

Il campo si trovava in uno stadio idrotermale liquido circa 3 Ma fa. Il flusso di calore ha portato nel tempo alla trasformazione in vapore del liquido idrotermale, dando luogo anche ad esplosioni freatiche. Allo stadio precedente all’utilizzazione il campo era caratterizzato da vapore dominante, con risalita di vapore attraverso sistemi di frattura nelle zone dei “lagoni” (es. Castelnuovo e Sasso Pisano) dove tale vapore passava in posto a condizioni surriscaldate. Secondo la ricostruzione di Minissale il campo doveva trovarsi in condizioni di flusso di vapore stazionarie; tale flusso naturale era stato stimato in 3000 t/h. Attualmente nel campo si può incontrare una fase liquida nel primo serbatoio, dovuta a condensazione, mentre in profondità non esiste alcuna fase liquida.

Conclude quindi l’Autore che la caratteristica fondamentale del campo geotermico di Larderello si avvicina più ad un sistema conduttivo in stato stazionario che ad un sistema convettivo, dove il vapore viene prodotto con il contributo di una sorgente molto profonda e molto ampia.

Romagnoli et alii (*An updated numerical model of the Larderello–Travale geothermal system, Italy*. Geothermics 39 (2010) 292–313) forniscono una stima preliminare del flusso di vapore originato da ricarica locale, che varrebbe  $485 \pm 105$  t/h, quindi pari a circa 1/6 del flusso stazionario naturale

valutato da Minissale e circa 1/10 della portata totale del campo geotermico in esercizio, indicata in 4700 t/h.

### 1.3 LA RICARICA DEL RESERVOIR METAMORFICO DI LARDERELLO-TRAVALE

E' stato più volte messo in evidenza come a partire da profondità di circa 3 km – e come già evidenziato nei pozzi “tipo 4” di Minissale – i due campi geotermici di Larderello e Travale, che a livello di primo serbatoio sono apparentemente distinti, fanno parte di un unico sistema caratterizzato da temperature generalmente superiori a 280-300°C e pressioni superiori a 50-60 bar.

Un modello unitario del sistema geotermico profondo di Larderello-Travale è stato presentato in due lavori pressochè coevi di Barelli et alii (*Numerical Modeling for the Larderello-Travale Geothermal System (Italy)* - Proceedings World Geothermal Congress 2010) e di Romagnoli et al., 2010, già citato.

Gli Autori hanno utilizzato il simulatore tridimensionale “Tough2” per indagare il meccanismo di produzione del vapore surriscaldato, le interazioni tra il campo geotermico (300 kmq) e gli acquiferi profondi circostanti su un'area di 4900 kmq e infine la sostenibilità del campo nel tempo. Essi hanno simulato con successo sia lo stato naturale del campo che la storia di utilizzazione industriale delle risorse.

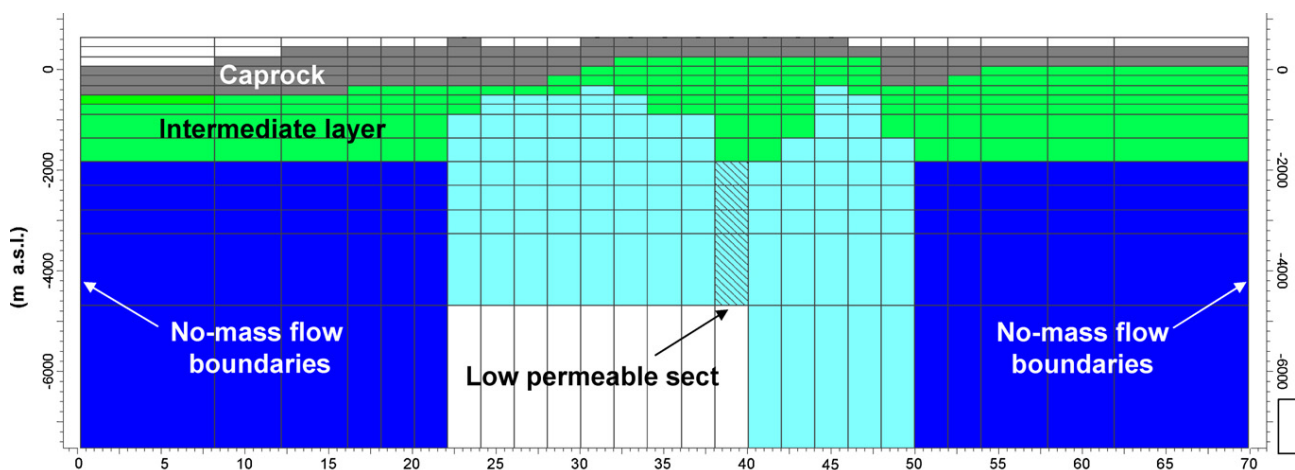


Fig. 6. Sezione W-E del modello numerico di Romagnoli et al., 2010, riprodotto il modello geologico da essi adottato. In grigio = copertura argilloso-scagliosa; verde = serbatoio carbonatico fratturato; celeste; serbatoio geotermico in rocce metamorfiche; blu = acquiferi profondi in rocce metamorfiche, che circondano il serbatoio; bianco = intrusione granitica, sorgente di calore del sistema.

Sono stati presentati 4 step evolutivi del modello grazie ai quali è possibile spiegare l'origine del vapore prodotto industrialmente nell'arco di un secolo:

- prima della messa in posto dei graniti (Fig. 7) sono state assunte condizioni medie dei gradienti geotermico e di pressione, controllata da condizioni idrostatiche;
- con la messa in posto dei graniti (Fig. 8) tra 3.0 e 0.5 Ma si è verificato un processo di evaporazione del fluido che ha originato le manifestazioni naturali e una depressurizzazione del serbatoio;
- prima dell'utilizzazione industriale si erano raggiunte condizione di completa vaporizzazione della parte liquida in serbatoio, comportanti un sistema surriscaldato e depressurizzato;
- durante la fase di coltivazione industriale la ricarica principale avviene dagli acquiferi regionali a bassa permeabilità circostanti, in rocce metamorfiche, in risposta al calo di pressione in serbatoio. Sui limiti del serbatoio surriscaldato è probabile l'esistenza di un



sistema bifase. Gli autori stimano in  $16 \text{ km}^3$  ( $16 \text{ Gm}^3$ ) il volume totale disponibile per l’immagazzinamento di vapore nel serbatoio profondo del sistema geotermico di Larderello-Travale, corrispondente ad una massa di  $3.5 \times 10^8 \text{ t}$ . Tale massa costituirebbe meno di 1/5 del vapore totale estratto dal campo (al 2009). E’ per questo motivo, tenuto conto che la ricarica da acquiferi superficiali varrebbe appena  $485 \pm 105 \text{ t/h}$ , che la ricarica del sistema deve avvenire da una origine profonda, spiegata dal modello con la continua evaporazione ai limiti del campo surriscaldato e depressurizzato.

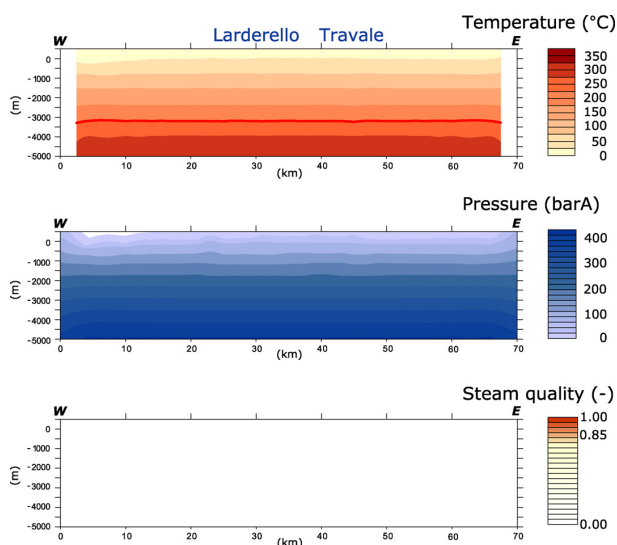


Fig. 7. Simulazione del campo geotermico secondo il modello di Romagnoli et al., 2010. Parametri Temperatura / Pressione / Titolo di Vapore sulla sezione W-E – Modello Iniziale

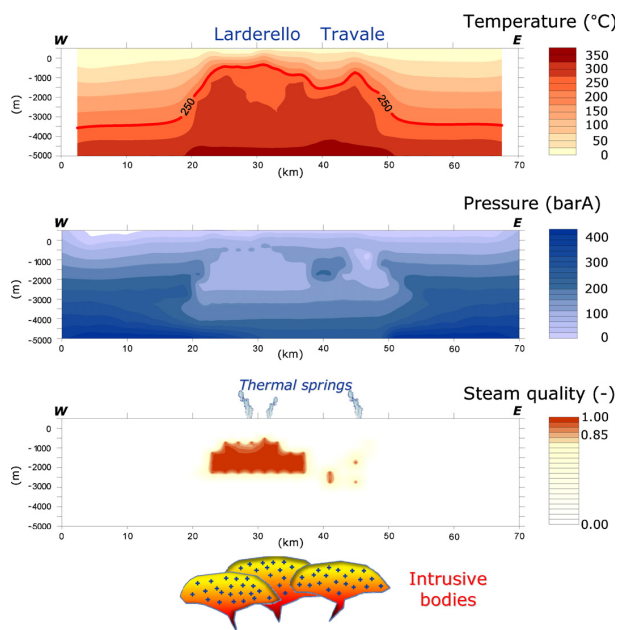


Fig. 8. Stessa simulazione di Fig. 7. Stato del modello alla messa in posto dei plutoni

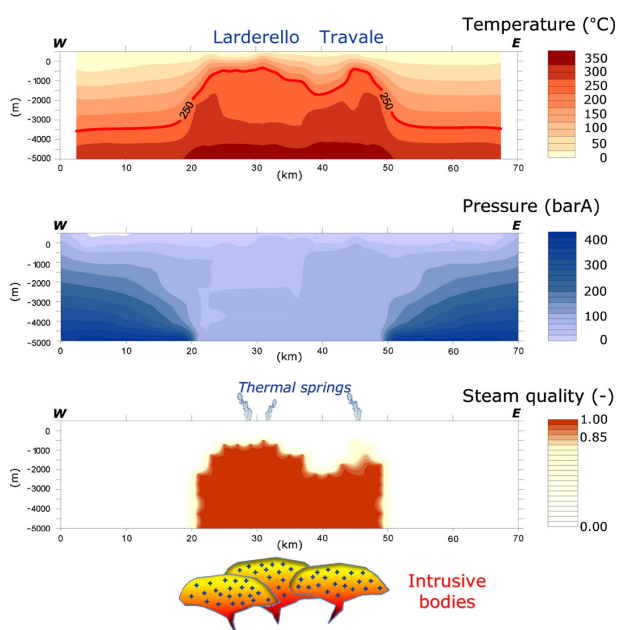


Fig. 9. Stessa simulazione di Fig. 7 Stato del modello allo stato naturale pre-industriale (1900)

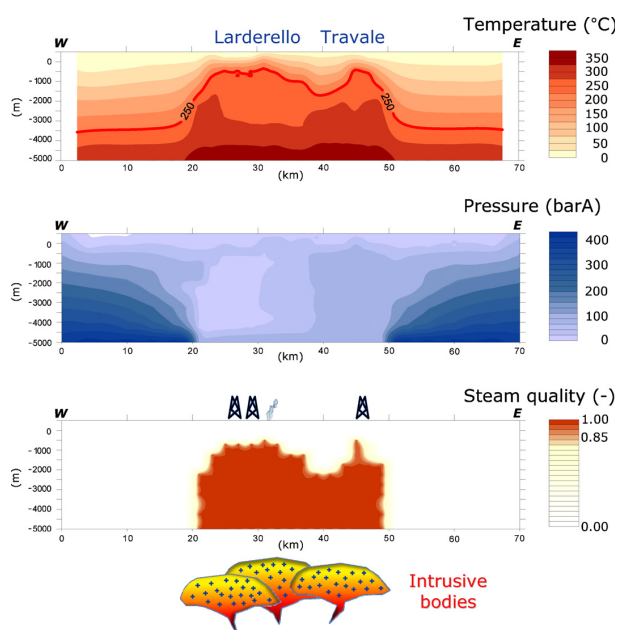


Fig. 10. Stessa simulazione di Fig. 7 Stato del modello dopo le attività industriali (2009)

Questi studi hanno costituito un rilevante sforzo modellistico grazie al quale gli Autori hanno fornito due conclusioni estremamente interessanti:

- 1) il meccanismo di produzione della risorsa è risultato essere legato non solo all’espansione di vapore nel nucleo surriscaldato del serbato, ma anche (e soprattutto) all’evaporazione liquida nella fascia di transizione profonda tra acqua e vapore;
- 2) in base alle simulazioni eseguite dopo la taratura del modello, la produzione industriale è risultata essere sostenibile almeno per i prossimi 100 anni.

Nel dettaglio, vi sono alcuni dati particolarmente rilevanti che meritano di essere osservati:

- il modello – ovviamente tarato su dati reali di produzione, che è in grado di replicare – non mostra variazioni evidenti di temperatura durante la fase di coltivazione industriale nella parte centrale del serbatoio. In altri termini, le temperature allo stato naturale (pre-industriale) e quelle attuali, a 3000 m di profondità, sono molto vicine. Secondo la simulazione il vapore viene quindi generato a spesa del calore della roccia incassante;
- mentre nella parte centrale del serbatoio si osserva un calo di pressione durante gli anni di utilizzazione industriale, la pressione degli acquiclude circostanti ne risente solo minimamente. L’abbassamento di pressione causa l’evaporazione del liquido in prossimità del serbatoio a vapore;
- viene dimostrato che il meccanismo di produzione del vapore non ha bisogno del contributo degli acquiferi potabili superficiali, che in ogni caso apportano circa 300 t/h (sec. Barelli) o  $485 \pm 105$  t/h (sec. Romagnoli) a fronte di una produzione nel 2010 superiore a 4700 t/h.

E’ interessante notare che la simulazione di Romagnoli 2010 – pur assunto un tasso di manifestazioni naturali decisamente minore – giunge, per via numerica, a conclusioni simili e del tutto compatibili con quelle di Minissale 1991, il quale riconosceva l’assenza di fase liquida in profondità, la natura di sistema conduttivo in stato stazionario del campo, la produzione di vapore grazie ad una sorgente molto profonda e molto ampia.

Infine, il modello è stato utilizzato per eseguire una simulazione predittiva del comportamento del campo geotermico in utilizzazione, dimostrando che la produzione attuale è sostenibile almeno per altri 100 anni.

## 2. I SISTEMI DI CIRCOLAZIONE IDRICA LOCALE NELLA ZONA DEL PROGETTO PILOTA

### 2.1 LA STRUTTURA GEOLOGICA REGIONALE

Prima di poter analizzare quali siano i sistemi di circolazione idrica locale nella zona del progetto pilota è necessario esaminare l’assetto geologico regionale di questo settore.

Sullo schema tettonico di inquadramento regionale del CARG, Foglio 295 (Fig. 11), si può osservare che il progetto è ubicato al margine del bacino sedimentario neoautoctono di Montecastelli, il quale rappresenta una diramazione del bacino di Volterra-Radicondoli, ben più ampio. I sedimenti neoautoctoni sono costituiti prevalentemente da argille plioceniche e mioceniche e sono quindi praticamente impermeabili, eccetto gli acquiferi superficiali di piccola scala che si formano nelle sabbie e calcareniti plioceniche. Questi due graben sono intercalati da un modesto horst dove affiorano unità liguri, costituite prevalentemente da flysch calcareo-marnosi, argilliti e localmente ofioliti (queste ultime tuttavia affiorano solo a nord di una sorta di allineamento regionale WSW-ENE che passa per Montecastelli). Anche in questo caso la permeabilità d’insieme delle unità liguri è nulla, sebbene nelle ofioliti possano esservi modesti acquiferi.

I bacini tettonici contenenti sedimenti neoautoctoni hanno spessore fortemente variabile: il bacino di Montecastelli può raggiungere 7-800 m di profondità (si veda la sezione di Fig. 14) mentre il bacino principale nella zona di Casole d’Elsa in base a dati magnetotellurici raggiunge profondità dell’ordine di 1.5 km. Il neoautoctono poggia ovunque sulle unità liguri, il cui spessore accertato nelle perforazioni geotermiche è tipicamente dell’ordine di 500-1000 m (Fig. 14).

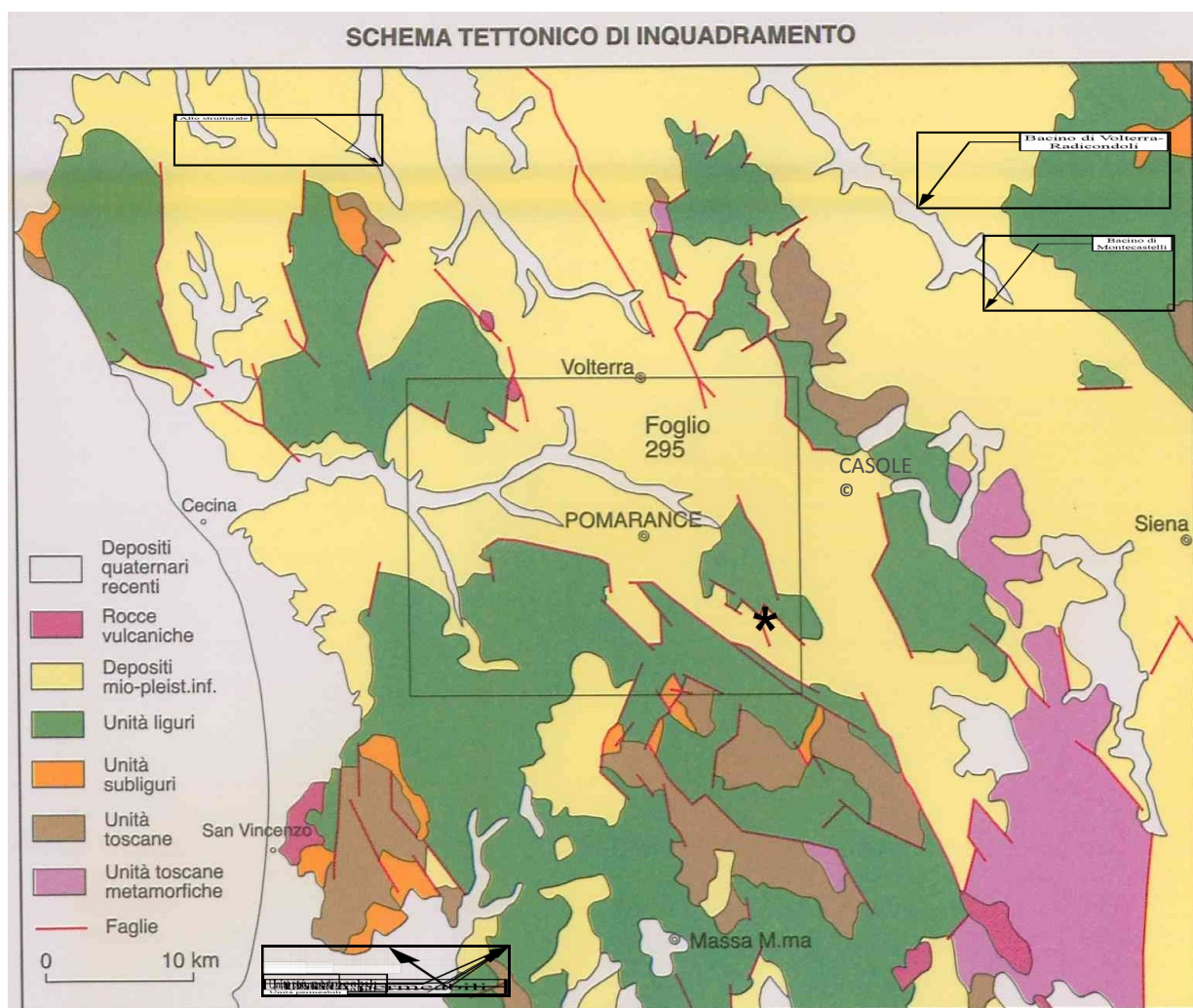


Fig. 11. Schema tettonico di inquadramento CARG. Il sito di progetto è indicato dall’asterisco. Scala grafica.

A distanza dal sito di circa 8 km in direzione SSE o 10 km in direzione Sud, nella zona montuosa delle Carline/Le Cornate e di Travale, si trovano i primi affioramenti della Serie Toscana. Le unità Toscane vengono generalmente suddivise in unità terrigene, superiori, e unità carbonatiche, inferiori. Tra le unità terrigene vi è la formazione del Macigno, un'arenaria con buonapermeabilità per fratturazione, che si riduce con la profondità a causa dell'intasamento meccanico delle fratture. Il macigno può rappresentare un buon acquifero per i primi 100-200 m, dopodichè perde permeabilità; inoltre esso poggia stratigraficamente sulla formazione della scaglia che rappresenta un eccellente acquiclude di base. Tali caratteristiche fanno sì che il macigno non possa alimentare sistemi di circolazione profondi.

Le unità carbonatiche della Serie Toscana, tra cui il Calcere Massiccio e il Calcere Cavernoso, sono generalmente molto permeabili per fratturazione. Esse danno origine ad eccellenti acquiferi e possono essere in contatto con unità ancora più profonde, ossia con le unità metamorfiche che affiorano ad Est e Sud-Est del sito nella dorsale Monticiano-Roccastrada. Le unità metamorfiche sono rocce potenzialmente acquifere con permeabilità di tipo secondario fortemente variabile ma mai di livello paragonabile ai carbonati.

Questo inquadramento dimostra come i primi acquiferi di interesse idropotabile si trovino ben lontani dal sito (8-10 km a Sud e Sud-Est), in corrispondenza di un alto strutturale dove affiorano unità Toscane sia terrigene che carbonatiche. Per trovare altri acquiferi significativi è necessario spostarsi verso Nord-NordEst di 13 km e oltre, nella zona a Nord di Casole d'Elsa. In tutto il quadrante che va da SW a NNW non vi sono invece formazioni tali da creare acquiferi di interesse. A riprova di ciò è significativo osservare che centri abitati come Pomarance e Volterra derivano i loro approvvigionamenti idrici in buona parte da molto lontano, ossia dall'alto strutturale de Le Carline/Le Cornate (per la restante parte, da pozzi di emungimento realizzati nel modesto alveo fluviale del F.Cecina in loc. Poretta, circa 8 km a NW del sito di progetto).

In affioramento le formazioni contenenti acquiferi significativi si trovano quindi a grande distanza dal sito, considerazione confermata appieno dal database dei Corpi Idrici Significativi (CIS) della Regione Toscana. Nella mappa di Fig. 12, che riporta la mappatura dei CIS classificata in base alla natura dell'acquifero, è possibile osservare come i CIS siano a grande distanza dal sito. Si può anche notare che rispetto all'ambito regionale la zona ha una densità molto bassa di punti idrici (pozzi o sorgenti), a testimoniare la limitatissima entità degli acquiferi di questo settore. Il database non permette derivare informazioni in merito alla significatività del singolo punto (es. portate, profondità di prelievo, etc.) ma sappiamo che i cluster più importanti e più vicini sono a ben 8 km, rispettivamente a NW e W, rappresentati dal campo pozzi idropotabile di Poretta, nel subalveo del F.Cecina, e da una serie di piccoli prelievi domestici nelle calcareniti di Pomarance. Il resto dei punti idrici segnalati è relativo a piccoli prelievi.

## 2.2 LA STRUTTURA GEOLOGICA LOCALE

In merito all'eventuale estensione sotterranea di acquiferi significativi nella zona di progetto, è noto che in questa zona non sono mai stati realizzati pozzi profondi nelle rocce carbonatiche a scopo idopotabile, mentre ve ne sono a scopo geotermico. Questa osservazione depone fortemente a sfavore dell'esistenza di falde idropotabili artesiane non utilizzate. E' comunque opportuno condurre una valutazione idrogeologica per capire se le perforazioni possono interferire con potenziali sistemi di circolazione di interesse idropotabile in profondità.

Come sopra già accennato, nella zona vi sono unità sia neogeniche che liguri che costituiscono una potente copertura impermeabile, il cui spessore può variare da poche centinaia di metri fino a oltre 1 km. Nella sezione geologica di Fig. 14 viene ben evidenziato che nel sito vi è una copertura di circa 1 km di formazioni flyschoidi e argillitiche liguri, sovrastanti le Anidriti di Burano. La posizione in profondità delle anidriti è stata accertata in perforazione nel vicino pozzo geotermico “Montecastelli 1” del 1967, a profondità tra 1500 e 1550 m (f.p.) con quota p.c. a circa 380 m s.l.m.

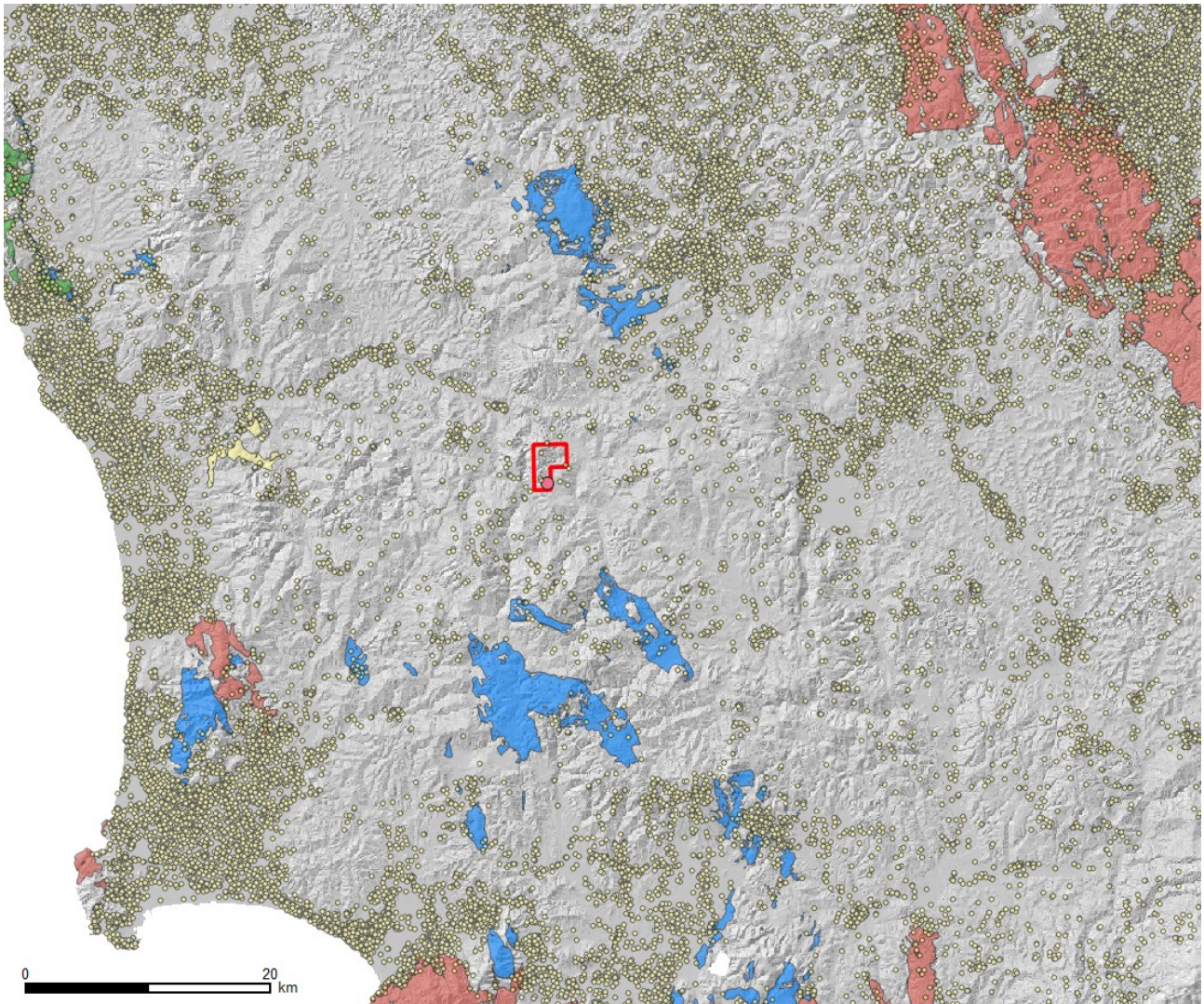


Fig. 12. Mappatura dei “Corpi Idrici Significativi” (database delle Autorità di Bacino Arno e Toscana Costa-Ombrore) e dei pozzi e sorgenti censiti (database Dbsri) su un’area di 100x80 km. Azzurro = affioramenti di acquiferi carbonatici; Rosso = affioramenti di acquiferi arenacei. Scala grafica.

In merito al pozzo Montecastelli 1, ad eccezione dei dati di temperatura che indicano 150°C a f.p., non esistono informazioni in merito ai fluidi reperiti. Non è quindi noto se sia stato ritrovato del fluido e, in caso affermativo, se si sia trattato di liquido, fluido bifase, vapore/gas. Poichè i pozzi perforati all’epoca erano finalizzati a reperire vapore dal primo serbatoio, il fatto che il pozzo sia stato chiuso lascia escludere che vi fosse del vapore in formazione. E’ inoltre noto che neppure i pozzi più vecchi, di profondità relativamente bassa, della vicina zona di Sesta erano in grado di sostenere una produzione (infatti la Centrale di Sesta è stata costruita dopo il 2000 grazie a pozzi profondi circa 4 km, ben oltre le Anidriti); anzi, hanno generalmente avuto grandi problemi legati alle abbondanti fuoriuscite di CO<sub>2</sub> presente in questa unità geologica.

In base a tali elementi si può quindi ragionevolmente ritenere assai poco probabile che in questa zona la formazione delle Anidriti rappresenti un acquifero di qualche significato ai fini idropotabili.

Informazioni di dettaglio maggiore possono essere ricavate dalla mappa che segue, la quale è stata estratta dalla cartografia geologica CARG (Fogli 295 e 296); ad essa sono state aggiunte le informazioni del Database dei Pozzi e delle Sorgenti della Regione Toscana (Fig. 13).

Si osservano chiaramente i due cluster di pozzi idropotabili di Puretta e domestici di Pomarance, a circa 8 km dal pozzo in progetto. Entro un raggio di 5 km dal pozzo (cerchio in figura) risultano invece censiti nel database 21 pozzi e 11 sorgenti.

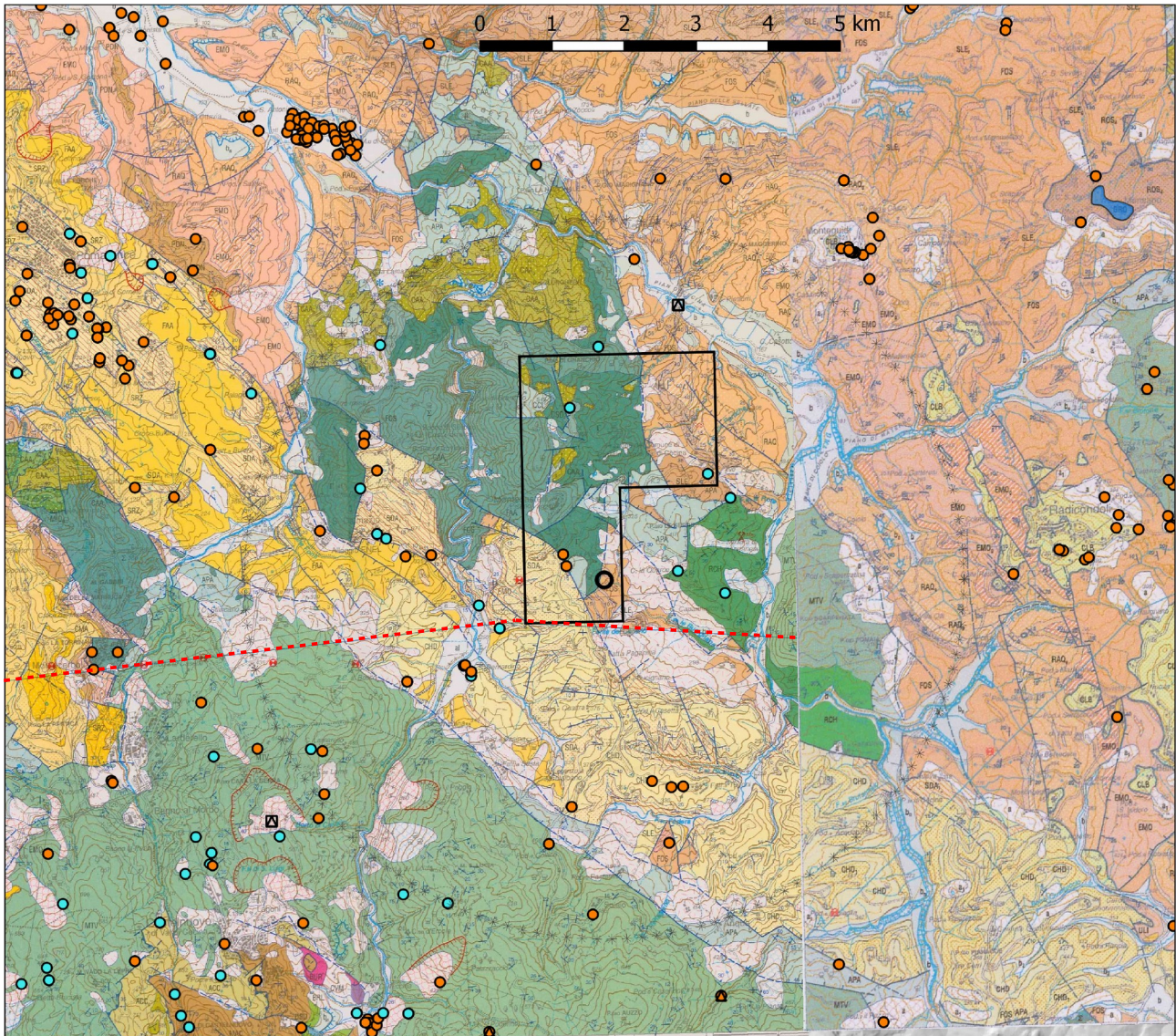


Fig. 13. Estratto della cartografia geologica CARG, con: a) indicazione del permesso “Castelnuovo” e della relativa postazione di perforazione (cerchio nero); b) database della Regione Toscana di Pozzi (punti arancio) e sorgenti (punti in celeste); c) cerchio di raggio di 5 km dalla postazione; traccia della sezione geologica di Fig. 14.

Legenda delle unità geologiche: grigio e celeste chiaro, coperture detritiche e alluvioni pleistoceniche e quaternarie; giallo, unità plioceniche prevalentemente argillo-sabbiose; rosa, unità mioceniche prevalentemente argillose; verde, flysch liguri calcareo-marnosi; verde scuro, ofioliti; ocre, argille e calcari di Canetolo; marrone, arenaria “Macigno”; lilla, calcare cavernoso; viola, formazioni metamorfiche. Scala grafica; originale 1:50.000.

Due delle sorgenti (Carcerai e Caldanelle) sono captate e collegate all’acquedotto di Montecastelli. Esse rappresentano le emergenze di un sistema di circolazione freatica che avviene in una placca calcarenitica del pliocene (la stessa placca captata verso NW a S.Dalmazio e Pomarance). La circolazione idrogeologica è piuttosto superficiale e assai veloce, come dimostra il noto fenomeno di intorbidamento delle sorgenti in occasione di piogge significative, che causa la temporanea perdita di potabilità. Dal punto di vista geologico tale placca permeabile è situata nella parte alta dell’unità ‘NP’ di Fig. 14, ha una leggera immersione verso SW e forma allungata verso NW in

direzione di Pomarance. Dal punto di vista geologico non vi sono quindi ragioni per temere interferenze con il pozzo, il quale si trova all'esterno dell'area di affioramento delle calcareniti.

Le rimanenti sorgenti hanno tutte portate minime, talvolta non perenni, poiché appartengono tutte a meccanismi idrogeologici superficiali o addirittura corticali. Esempi del primo caso sono quelli di sorgenti di emergenza per sbarramento al contatto di litotipi permeabili (in questo caso le ofioliti o le calcareniti) con altre unità; nel secondo caso si hanno venute d'acqua impostate occasionalmente su circolazioni corticali in formazioni complessivamente impermeabili (flysch, altre unità plioceniche).

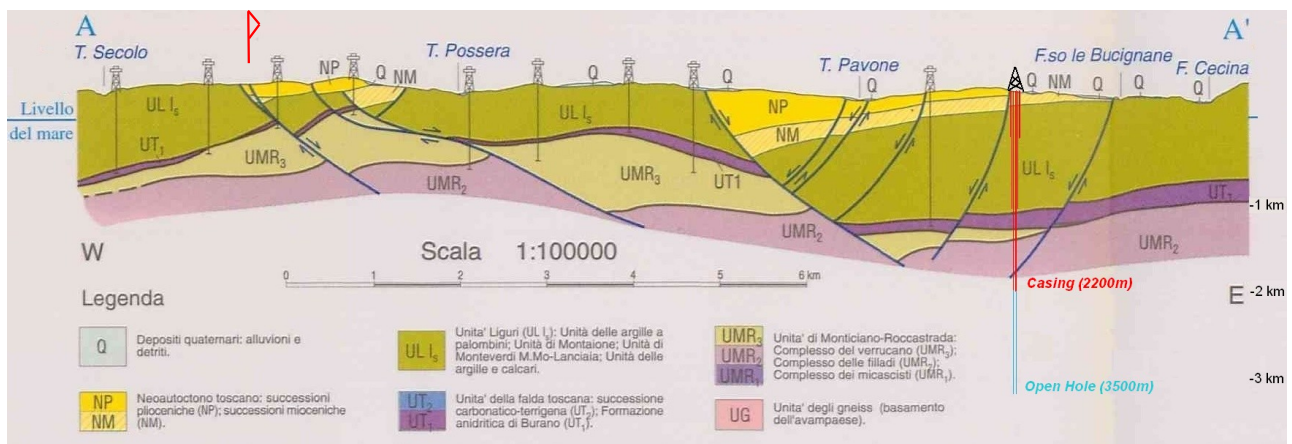


Fig. 14. Sezione geologica W-E della mappa CARG, con indicazione del profilo del pozzo CAS1 da realizzare (rosso = casing multipli cementati; celeste = perforo aperto). La prima unità potenzialmente acquifera sono le Anidriti di Burano (UT1), isolate da circa 1 km di formazioni argillose e argillitiche di copertura. Scala grafica.

In quest'ambito i pozzi sono rappresentati da opere di presa di pochi metri di profondità realizzate generalmente “a sterro” (con anelli di cemento o simili), che si trovano prevalentemente nelle calcareniti e nei sedimenti di subalveo. Per essi il database regionale riporta i soli dati di posizione.



Fig. 15. Legenda della cartografia geologica CARG

### 2.3 LA GEOLOGIA DI DETTAGLIO DEL SITO E LE EMERGENZE IDROGEOLOGICHE

Grazie ai risultati del rilevamento geologico-strutturale originale eseguito in collaborazione dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Siena e da geologi Magma Energy Italia S.r.l., è possibile disporre di una cartografia geologica di dettaglio dell'area da utilizzare per esaminare da vicino i piccoli sistemi di circolazione esistenti nel raggio di un paio di chilometri dal pozzo. La cartografia è presentata in Fig. 16 (legenda in Fig. 17) con riferimento ad un raggio di 2 km intorno alla postazione di perforazione, e con una sezione geologica (Fig. 18) trasversale alle strutture principali e passante in prossimità del pozzo, che si estende a SW fin oltre il pozzo geotermico Sesta6bis.



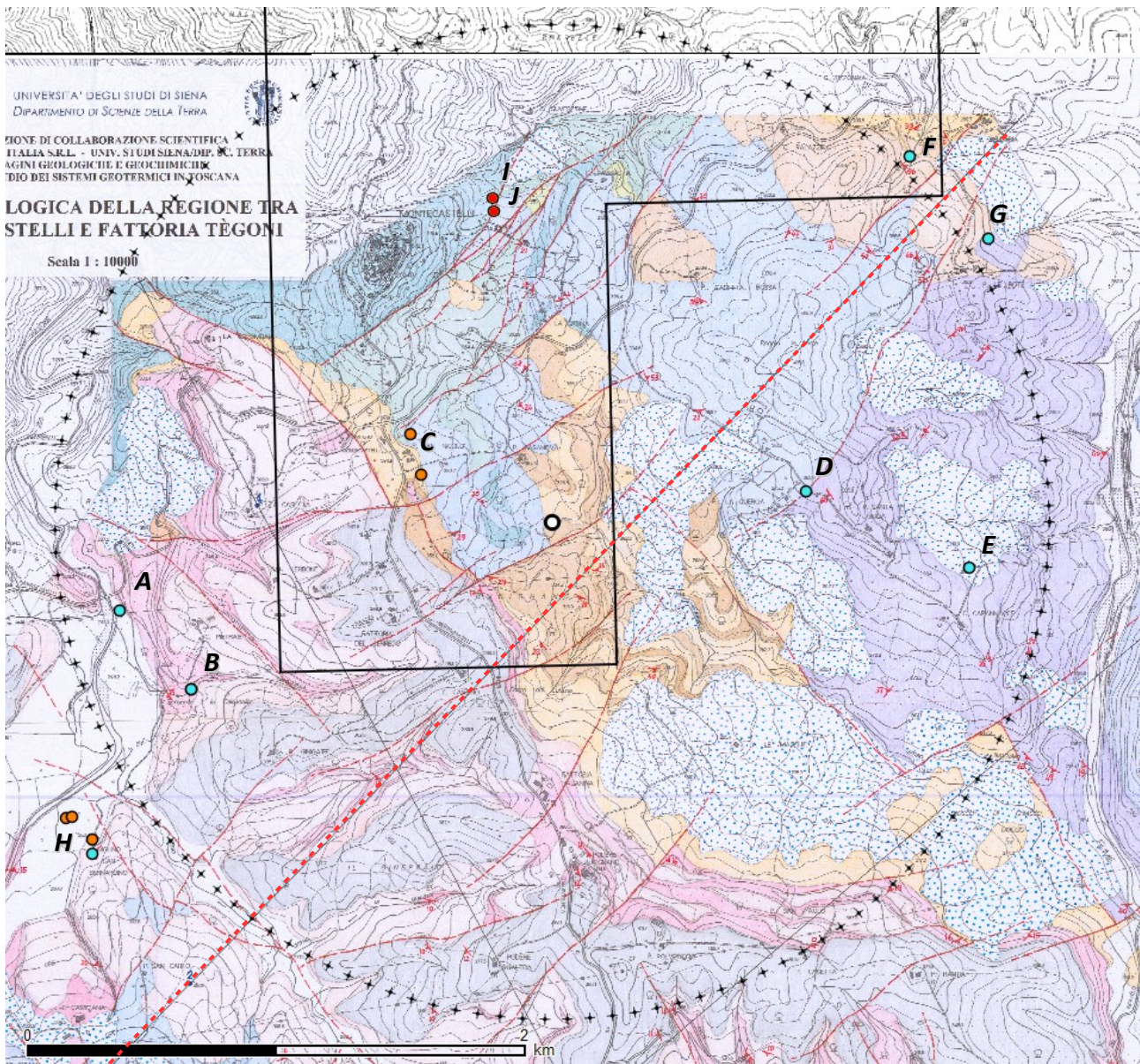


Fig. 16. Carta geologica originale inedita (Università di Siena – Magma Energy Italia), della zona a sud di Montecatini, con: a) indicazione del Permesso “Castelnuovo” e della relativa postazione di perforazione (cerchio nero); b) database della Regione Toscana di Pozzi (punti arancio) e sorgenti (punti in celeste) – integrato con DB Sira (punti in rosso); c) cerchio di raggio di 5 km dalla postazione; d) traccia della sezione geologica A-A' di cui alla Fig. 18. Legenda in Fig. 17. Scala grafica; originale 1:10.000.

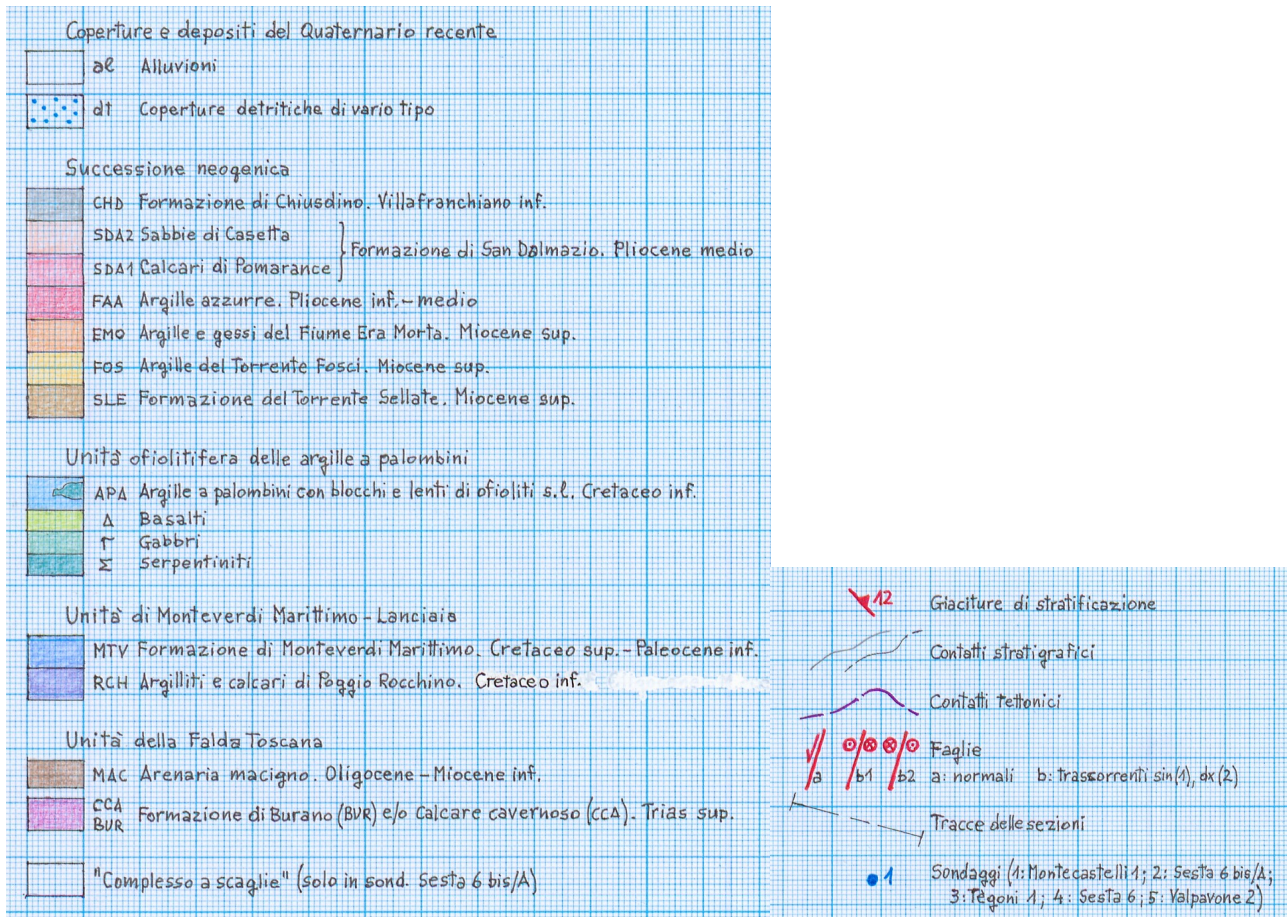


Fig. 17. Legenda della Carta geologica di Fig. 16.

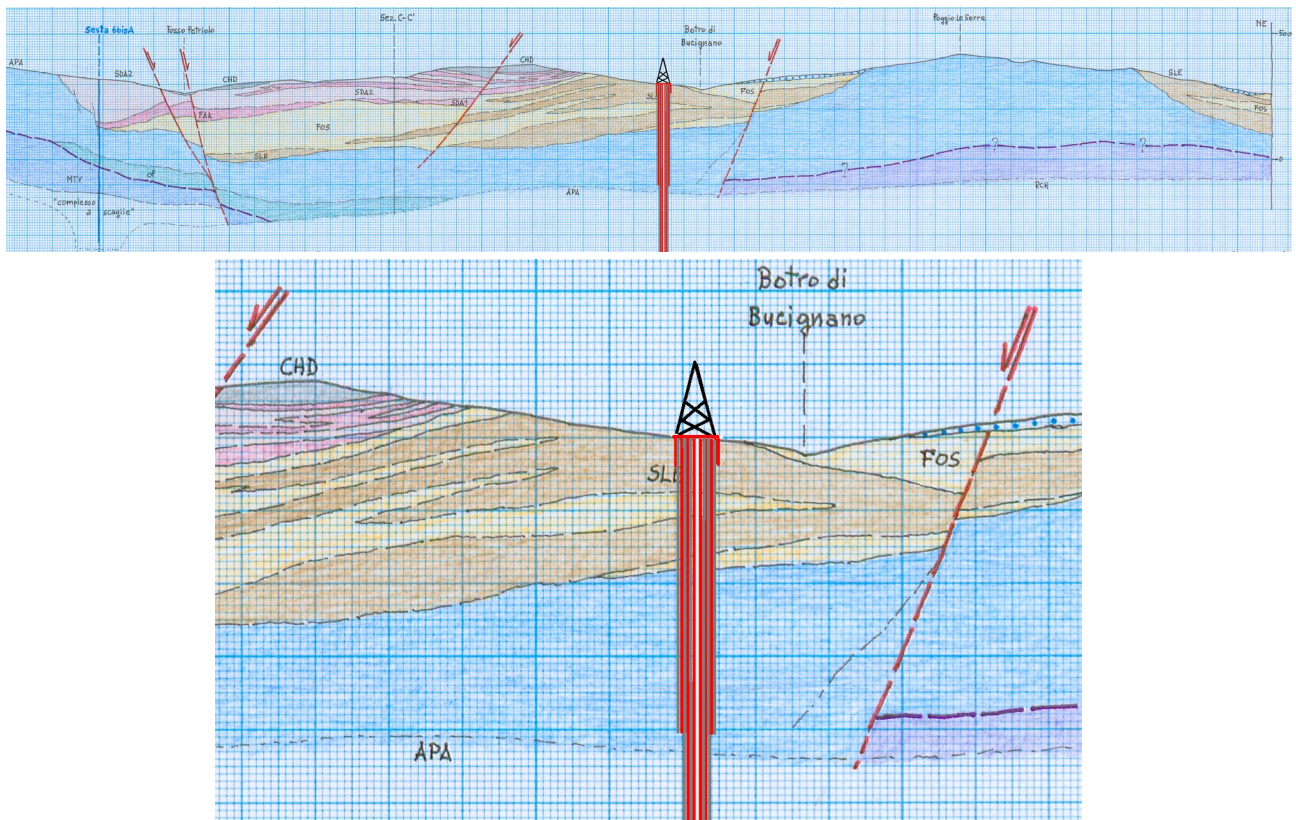


Fig. 18. Sezione geologica di Fig. 16 e particolare ingrandito per un intorno di circa 600 m dal pozzo. Sono schematizzati i casing multipli cementati che isolano il pozzo e il conductor pipe del progetto di perforazione.

La mappatura geologica di dettaglio fornisce ulteriori chiarimenti sulla natura delle emergenze idriche della zona, che sono state derivate dai database della Regione Toscana<sup>1</sup>.

### 1) Uso idropotabile

I punti indicati con “A” e “B” [ID\_REG 1715706 e 17015643] identificano rispettivamente le due sorgenti denominate Carcerai e Caldanelle, le quali rappresentano i punti di emergenza di un sistema di circolazione idrogeologica nelle calcareniti plioceniche. Si tratta di due sorgenti perenni che alimentano l’acquedotto di Montecastelli (gestore ASA SpA) e che sono soggette a frequenti fenomeni di torbidità in corrispondenza delle piogge, a testimonianza di una circolazione freatica superficiale priva di protezione, anzi connessa anche a circuiti di infiltrazione molto rapidi. La geometria della formazione acquifera è osservabile chiaramente nelle sezioni di Fig. 18 e non necessita di particolari descrizioni; costituiscono le zone di infiltrazione da cui si originano le due sorgenti le calcareniti ‘SDA1’, e solo in subordine le sabbie ‘SDA2’ cui sono intercalate, affioranti nella parte sommitale della collinetta su cui corre la S.P. 27 e nel suo versante occidentale. Il dislivello tra il punto più alto dell’area di infiltrazione e le quote di emergenza non raggiunge i 50 m, mentre la formazione potenzialmente acquifera può raggiungere una quota di circa un centinaio di metri inferiore ai punti di emergenza. Nel particolare di Fig. 18 si può notare come la perforazione si trovi ben all’esterno di tale unità geologica e non vada ad interessarla neppure in profondità; anzi è previsto di attraversare potenti spessori di unità argillose mioceniche e ancora più importanti spessori di Argille a Palombini, che rappresentano un complesso geologico impermeabile.

I punti indicati con ‘I’ e ‘J’, che non esistono nel database regionale Dbsri, sono stati estratti dal database SIRA (<http://sira.arp.at.toscana.it/sira/progetti/captazioni/mappa/map.php>) che contiene la mappatura delle captazioni idriche sotterranee e superficiali ai fini idropotabili della Regione Toscana, costruita su dati forniti dall’Autorità Idrica Toscana. Il DB SIRA riporta i seguenti dati:

Punto I:

<i>COD_ORIG</i>	<i>SO00001330</i>
<i>GESTORE</i>	<i>ASA spa</i>
<i>DESC_IMP</i>	<b><i>SORG SARACILIERI 1</i></b>
<i>GB_EST</i>	<i>1659337</i>
<i>GB_NORD</i>	<i>4792398</i>
<i>LOCALITA</i>	<i>LOC. SARACILIERI (GRUPPI OPERE)-LOC. MONTECASTELLI PISANO</i>
<i>ISTAT_COM</i>	<i>9050011</i>

Punto J:

<i>COD_ORIG</i>	<i>SO00001331</i>
<i>GESTORE</i>	<i>ASA spa</i>
<i>DESC_IMP</i>	<b><i>SORG SARACILIERI 2</i></b>
<i>GB_EST</i>	<i>1659348</i>
<i>GB_NORD</i>	<i>4792366</i>
<i>LOCALITA</i>	<i>LOC. SARACILIERI (GRUPPI OPERE)-LOC. MONTECASTELLI PISANO</i>
<i>ISTAT_COM</i>	<i>9050011</i>

Queste due sorgenti, notoriamente caratterizzate da una concentrazione in Mg superiore ai limiti di legge per le acque idropotabili, facevano parte dell’alimentazione del vecchio acquedotto di Montecastelli. Questo particolare chimismo è dovuto al fatto che le acque vengono a giorno dopo un percorso di circolazione nel sovrastante rilievo ofiolitifero-serpentinico (la composizione del serpentino è  $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$ ) che da Montecastelli si estende verso Nord.

<sup>1</sup> BDSRI = Banca Dati Sottosuolo e Risorsa Idrica della Regione Toscana; SIRA = mappatura delle captazioni idriche sotterranee e superficiali ai fini idropotabili della Regione Toscana (su dati dell’Autorità Idrica)

## 2) Altri usi

Nel database sono censiti alcuni punti che non sono in carico al soggetto gestore né collegati all'acquedotto pubblico. Lo stato d'uso non è riferito; dovrebbe trattarsi di utilizzazioni prevalentemente agricole e orticole. In ogni caso non si tratta di utilizzazioni pubbliche.

I due punti indicati con 'C' [ID\_REG 17015644 e 17015645] rappresentano una non meglio identificata circolazione corticale pressochè trascurabile. Non vi possono essere interferenze di alcun tipo con la perforazione, non solo per ragioni di tipo idrogeologico ma anche perché questi pozzi posti a quota di circa +75/80 m rispetto alla perforazione.

Il punto 'D' [ID\_REG 1715651] rappresenta una modesta sorgente di sbarramento che si origina al contatto tra due unità – le Argille a Palombini (APA) e le Argilliti e Calcari di Poggio Rocchino (RCH, facenti parti dei flysch liguri) – che localmente mostrano un leggero contrasto di permeabilità. Si tratta di una sorgente di scarsa portata, mal rilevabile, con una rudimentale captazione per uso domestico-agricolo del Pod. La Quercia (orto, abbeveramento animali). La circolazione è sub-corticale. Anche in questo caso non vi possono essere interferenze sia per ragioni di tipo idrogeologico ma anche la quota, circa 50 m più alta della perforazione.

Il punto 'E' [ID\_REG 1715651] costituisce una tipica sorgente di placca detritica, chiaramente mappata in cartografia. Essa è captata ad uso domestico-agricolo a servizio del Pod. S.Maria, non servito da acquedotto. Il meccanismo idrogeologico, l'area di ricarica a quote superiori su un versante ben separato, nonché la significativa distanza (1.7 km) consentono di escludere ogni interferenza con le perforazioni.

I due punti 'F' e "G" [ID\_REG 17015647 e 17015646] rappresentano due piccole sorgenti poco significative che si trovano a oltre 2 km dalla perforazione, da cui sono ampiamente separate dal rilievo di Argille a Palombini di Poggio le Serre, che garantisce sull'impossibilità di interferenze.

I punti indicati con 'H' [ID\_REG 20011232, 20011233, 17015650 e 17015649] rappresentano non meglio identificati punti di prelievi di subalveo del Torrente Pavone. Oltre ad essere distanti oltre 2 km dalla perforazione, sono alimentati direttamente dalla circolazione di subalveo del Torrente e non possono avere interferenze con il pozzo, il quale tra l'altro si trova nel bacino idrologico del Fosso Bucignano che non è afferente al T.Pavone.

### 3. LA PROTEZIONE DELLE FORMAZIONI AD OPERA DEL PROFILO DI TUBAGGIO DELLE PERFORAZIONI

Dal progetto di perforazione si riporta la descrizione relativa all'isolamento delle eventuali acque sotterranee.

*...questo tipo di perforazioni viene progettata in modo da escludere sostanzialmente a priori le possibilità di inquinamento. Le modalità tecniche operative attuate, che escludono ogni eventuale rischio di inquinamento delle falde sotterranee legato alla possibilità di incontrare zone assorbenti che potrebbero creare una comunicazione tra il pozzo e le eventuali falde acquifere superficiali, sono le seguenti:*

- *il fluido di perforazione utilizzato nei primi tratti perforati, indicativamente fino ad almeno 100 m di profondità, viene preparato esclusivamente con acqua dolce e bentonite, mentre oltre e fino a 400 m pari alla profondità di posa del primo casing potrebbe essere necessario aggiungere anche soda ash e viscosizzante. In particolare l'acqua sarà prelevata da derivazioni autorizzate ed eventualmente da invasi in zone circostanti, e sarà quindi dello stesso tipo delle acque normalmente usate per l'irrigazione e per l'abbeveramento degli animali;*
- *gli eventuali livelli di assorbimento incontrati in profondità nelle formazioni geologiche di copertura, che non necessariamente corrispondono a livelli acquiferi e che si trovano a profondità alle quali non risultano esistere pozzi per acqua nell'ambito collinare di riferimento, vengono tamponati utilizzando malte cementizie che non contengono additivi chimici ma solo cloruro di calcio (assolutamente innocuo), utilizzato per accelerarne il consolidamento;*
- *il pozzo viene realizzato in modo che anche durante l'esercizio non risulti possibile il contatto tra fluido geotermico ed eventuali falde; infatti le tubazioni di rivestimento (casing superficiale) del pozzo sono posizionate fino a profondità tali da isolare completamente tutte le formazioni di copertura, a profondità largamente superiore a quella ipotizzabile per qualsiasi pozzo per acqua immaginabile in condizioni geologiche favorevoli per la presenza di falde (non queste). Qualitativamente si tenga presente che i più grandi impianti di perforazione per pozzi idrici presenti sul mercato regionale possono arrivare a profondità dell'ordine del chilometro, mentre i casing cementati delle perforazioni esplorative saranno posti in opera fino a 2 km o più.*

*Queste modalità permettono di evitare qualsiasi interazione con le acque sotterranee che dovessero essere incontrate, sia in fase di perforazione che in fase di esercizio.*

*Il conductor pipe 30'' ad infissione permette l'isolamento di eventuali venute acquifere superficiali fino alla quota di progetto. Sarà garantita un'infissione minima del conductor pipe (CP) di almeno 35 m dal p.c. con il duplice fine di isolare cautelativamente le eventuali falde idriche presenti e di garantire operativamente la stabilità del perforo, in genere poco consolidato, evitandone così il franamento. Per l'infissione del Conductor pipe si impiega solitamente un battipalo con impiego di tecniche specifiche in uso nel campo delle palificazioni e perforazione dei pozzi per acqua (ad es. utilizzo di sistemi meccanici per lo svuotamento del tubo in infissione senza impiego di fanghi bentonitici) o direttamente l'impianto di perforazione.*

*Il CP è un tubo di grande diametro che permette la circolazione del fango al suo interno durante la prima fase della perforazione, proteggendo le formazioni superficiali non consolidate dall'erosione dovuta alla circolazione stessa, che potrebbe compromettere la stabilità delle fondazioni dell'impianto. Il CP non è inserito in un foro perforato e solitamente non è cementato, quindi spesso non è considerato una colonna di rivestimento vera e propria. La prima colonna di rivestimento è quella successiva, che riveste il foro perforato all'interno del tubo guida.*

*Il sistema di circolazione interno al pozzo risulta pertanto sempre isolato da possibili falde e acquiferi in quanto racchiuso all'interno di tubazioni cementate fino a giorno per poi essere convogliato al sistema fango (vibrovasche, vasche, pompe, etc.)*

*Si riportano inoltre i chiarimenti su presunti danni denunciati nelle Risoluzioni di parte, citate nel Notiziario UGI (Unione Geotermica Italiana) n.41 del 20151:*

- 1. Sul consumo di acqua proveniente da acquiferi superficiali riporta che “i serbatoi geotermici di alta e media temperatura sono sistemi profondi, distinti e separati dagli acquiferi superficiali. Non hanno perciò con essi alcun contatto né interferenza.”*
- 2. Sull'inquinamento di falde e/o danneggiamento di acquiferi termali riporta che “i pozzi geotermici profondi sono opere totalmente isolate e impermeabili fino alla profondità del serbatoio geotermico e il rivestimento dei fori di perforazione esclude in modo assoluto il contatto o la contaminazione di acquiferi (freddi o termali) attraversati dai pozzi, nonché risalite di fluido all'esterno del foro stesso.”*

*Tuttavia nel caso in cui i risultati delle indagini per determinare i livelli piezometrici mostrassero nel terreno eventuali falde saranno adottate misure di controllo sulle stesse. In tal caso la falda superficiale sarà monitorata per verificare che non vi siano dispersioni di elementi inquinanti. Si ricorda che la postazione è stata progettata in modo da rendere impermeabili e lavabili le aree suscettibili di presenza di fanghiglia grazie alla realizzazione di solette in c.a., inoltre esiste una sistema di drenaggio delle acque di dilavamento di piazzale comprendente sistema di canalette e pozzetti e di canali di scolo lungo il perimetro dello stesso. L'ubicazione dei piezometri (minimo 3 per la postazione) sarà definita nel Piano di Monitoraggio definitivo a seguito dell'ottenimento del provvedimento di Valutazione di Impatto Ambientale (qualora positivo) e sarà concordata con gli Enti.*

*Si prevedono 3 sessioni di monitoraggio delle acque, per ogni piezometro relativo ad ogni postazione. In particolare saranno effettuate le seguenti sessioni:*

- ante operam: campionamento da effettuarsi immediatamente prima dell'inizio delle attività;*
- in-operam: nel corso delle perforazioni. In tale fase sarà necessario effettuare il primo monitoraggio nella prima fase della perforazione, non oltre la cementazione del primo casing;*
- post-operam: da effettuarsi entro 3 mesi dal termine delle attività di perforazione.*

*I piezometri di controllo saranno installati per mezzo di apposita perforazione a distruzione sino a 5 m al di sotto del livello piezometrico misurato nel corso di detta perforazione, fino ad una profondità massima di 30/50m dal p.c. Tale perforazione sarà realizzata a secco senza l'ausilio di fluidi di perforazione. Quindi saranno installati i piezometri, lo spazio tra il foro e il tubo sarà riempito con materiale drenante lasciando scoperto il tratto filtrante del piezometro estraendo progressivamente la tubazione di rivestimento fino a coprire circa 50 cm sopra la sommità del tratto filtrante della tubazione piezometrica. La testa del piezometro sarà cementata, sopra un tappo di materiale bentonitico di isolamento tra la cementazione ed il materiale drenante e saranno installati pozzetti di calcestruzzo carrabile e chiusini metallici fuori terra. La testa del tubo sarà quindi protetta da un tappo a vite. Quindi a installazione completata si procederà allo spurgo di ogni piezometro tramite pompaggio discontinuo a elevata portata.*

*Le eventuali acque di falda saranno campionate attraverso l'utilizzo di sonda multi parametrica con campionamento in condizioni dinamiche. Se tuttavia le caratteristiche idrodinamiche non saranno tali da permettere tale tipo di campionamento si procederà all'esecuzione di campionamento in statico.*

*Tale piano di monitoraggio sarà rivisto e concordato con ARPAT prima dell'avvio delle attività.*

Sono state quindi previste le procedure operative di costruzione e controllo atte a garantire l'assenza di interferenze con le acque sotterranee che dovessero essere eventualmente incontrate, sebbene non siano attese.

#### 4. CONCLUSIONI

E' stato mostrato, sia sulla base delle cartografie geologiche ufficiali del CARG che secondo le più dettagliate ricostruzioni effettuate dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Siena congiuntamente con i geologi Magma Energy Italia Srl, che le perforazioni in oggetto non andranno ad attraversare formazioni potenzialmente acquifere. In base alle ricostruzioni geologiche effettuate dal team Esplorazione di Magma Energy Italia, si assume di attraversate unità argillose mioceniche per circa 200 m e unità liguri (Argille a Palombini con eventuali ofioliti) per ulteriori 900 m circa. Si assume di incontrare la prima formazione permeabile (Anidriti di Burano) alla profondità di circa 1100 m; essa rappresenta il tetto del primo serbatoio geotermico e non se ne conoscono né se ne possono ipotizzare utilizzi idropotabili.

Nei dintorni vi sono acquiferi con prelievi nelle unità calcarenitiche, appartenenti a circolazioni idrogeologiche isolate e nettamente distinte dalle unità attraversate dal pozzo. Oltre a quanto osservato, l'esistenza di potenziali acquiferi non è né ipotizzabile né accertabile sulla base di emergenze idriche.

E' stato presentato il profilo costruttivo del pozzo, che garantisce la presenza di casing cementati multipli fino a 1100 m di profondità e di un casing cementato singolo tra 1100 e 2200 m di profondità, tale da isolare anche la formazione delle Anidriti di Burano e un consistente spessore di rocce metamorfiche.

Sono stati altresì stati mostrati schemi e modelli anche idrogeologici costitutivi del campo geotermico, che dimostrano: i) come nella zona del progetto pilota non vi siano zone di ricarica connesse al “primo serbatoio” carbonatico evaporitico; ii) come la ricarica superficiale del primo serbatoio ad opera della circolazione di acque meteoriche nei calcari sia di circa il 10% delle portate estratte; iii) come il sistema geotermico sia ricaricato in modo stazionario da sistemi di alimentazione molto profondi, i quali sono privi di connessione con i sistemi di circolazione superficiali (di interesse idropotabile o meno).