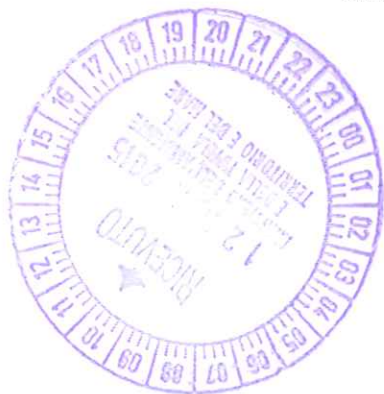


Prot. n. 23.U del 06/10/2015



Spett.le
Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
Direzione generale per le valutazioni ambientali
Divisione II - Sistemi di Valutazione Ambientale
Via Cristoforo Colombo, 44
00147 Roma
Fax 06/57225994
dgsalvanguardia.ambientale@pec.miniambiente.it

Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo
Via del Collegio Romano, 27
00186 Roma
mbac-dg-beap.servizio3@mailcert.beniculturali.it

Autorità di Bacino Fiume Tevere
Via Monzambano, 10, Roma
06 4924 9201
bacinotevere@pec.abtevere.it

Spett.le ARPA Umbria
Via Pievaiole 207/B-3
06132 – Perugia
protocollo@cert.arpa.umbria.it

Spett.le ARPA Lazio
Via Boncompagni, 101
00187 – Roma
direzione.gen.rm@arpalazio.it

OGGETTO: Istanza per l'avvio della procedura di verifica di ottemperanza alla prescrizione A.1 i)

contenute nel provvedimento di VIA n. 0000059 del 3 aprile 2015, ai sensi dell'art.28 del D.Lgs.152/2006 e s.m.i., relativa al progetto geotermico pilota Castel Giorgio

Il sottoscritto

Giorgio Garrone

in qualità di legale rappresentante dell'Ente/Società

ITW LKW GEOTERMIA ITALIA s.p.a. Sede Legale Piazza Statuto, 16 - 10122 Torino P.IVA 11173231009
Capitale Sociale EURO 1.000.000,00 I.v. Numero REA: TO- 1144269
Sede amministrativa - Via di Porta Pinciana n. 4 00187 Roma -
Tel +39 06 42020461 Fax +39 06 48905185 E-mail – info@itwlkwgeotermia.it

ITW&LKW Geotermia Italia spa

con sede legale in:

TORINO, P.zza Statuto, 16 - telefono 06.42020461, fax 06.48905185,
indirizzo di posta elettronica certificata: itwgeotermiaitalia@legalmail.it

richiede l'avvio della procedura in oggetto relativamente alle seguenti prescrizioni contenute nel provvedimento di VIA n.0000059 del 3 aprile 2015, la cui verifica è posta a carico di codesta Amministrazione:

Prescrizione n.	Testo integrale della prescrizione come riportato nel provvedimento di VIA
A.1 i)	Al fine di individuare i rapporti che legano il bacino idrogeologico di alimentazione del serbatoio geotermico e la struttura geolitologica e stratigrafica della copertura del serbatoio stesso, dovrà essere eseguita una ricerca con simica 3D (con densità di stendimenti adeguati alla ricostruzione dell'edificio geostrutturale), con geoelettrica, rilevamenti magnetotellurici e con rilevamenti geochimici sull'acquifero. Tale ricostruzione dovrà permettere la definizione del modello idrogeologico del serbatoio carbonatico, le modalità di ricarica dello stesso, la direzione di riflusso sotterraneo e la compatibilità di utilizzo dei fluidi con il bilancio idrogeologico dei sistemi acquiferi presenti nell'area. Tutto ciò anche al fine di ottimizzare la localizzazione del primo pozzo di reiniezione e di produzione. Gli esiti di tale studio dovranno venire in ottemperanza al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

Si trasmette in allegato alla presente:

1) Risposta alla prescrizione A.1 i);

La documentazione trasmessa è composta di 3 copie in formato digitale predisposte conformemente alle "Specifiche tecniche per la predisposizione e la trasmissione della documentazione in formato digitale per le procedure di VAS e VIA ai sensi del D.Lgs 152/2006 e s.m.i." del Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare per un totale di n. 3 supporto/i informatico/i e di 1 copia in formato cartaceo.



Il sottoscritto è consapevole che il Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare pubblicherà sul portale delle Valutazioni ambientali VAS-VIA (www.va.minambiente.it) la documentazione trasmessa con la presente.

ITW & LKW
Geotermia Italia S.p.A.
Il Presidente
Dott. Giorgio GARRONE

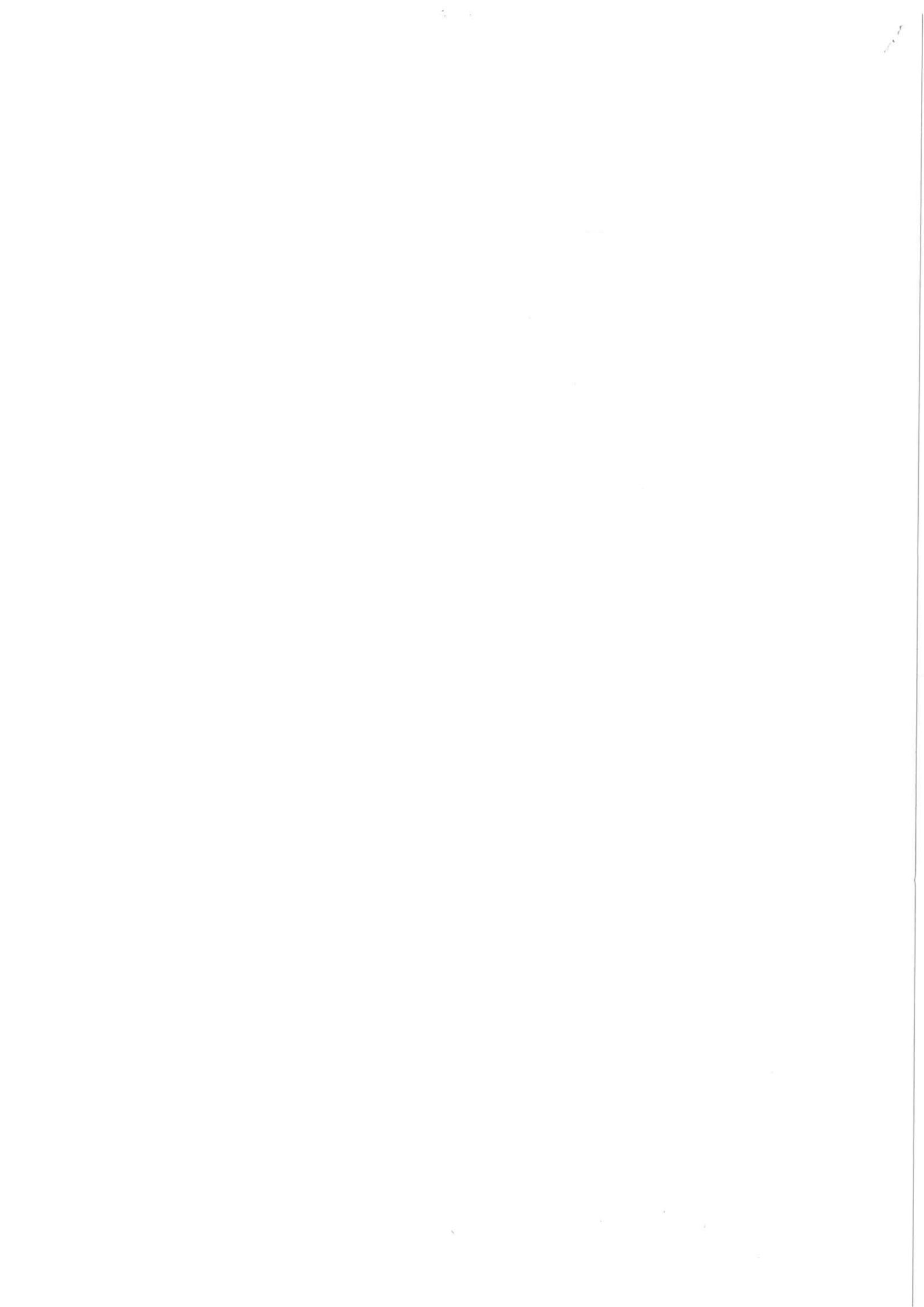


Riferimenti per contatti:

Nome e Cognome: Dr. Diego Righini

Telefono: 3927035794 – 06.42020461 Fax 06.48905185

E-mail: righini@itwlkwgeotermia.it



Prot. n. 23.U del 06/10/2015

Spett.le
Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
Direzione generale per le valutazioni ambientali
Divisione II - Sistemi di Valutazione Ambientale
Via Cristoforo Colombo, 44
00147 Roma
Fax 06/57225994
dgsalvanguardia.ambientale@pec.miniambiente.it

Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo
Via del Collegio Romano, 27
00186 Roma
mbac-dg-beap.servizio3@mailcert.beniculturali.it

Autorità di Bacino Fiume Tevere
Via Monzambano, 10, Roma
06 4924 9201
bacinotevere@pec.abtevere.it

Spett.le ARPA Umbria
Via Pievaiole 207/B-3
06132 – Perugia
protocollo@cert.arpa.umbria.it

Spett.le ARPA Lazio
Via Boncompagni, 101
00187 – Roma
direzione.gen.rm@arpalazio.it

OGGETTO: Istanza per l'avvio della procedura di verifica di ottemperanza alla prescrizione A.1 i)

contenute nel provvedimento di VIA n. 0000059 del 3 aprile 2015, ai sensi dell'art.28 del D.Lgs.152/2006 e s.m.i., relativa al progetto geotermico pilota Castel Giorgio

Il sottoscritto

Giorgio Garrone


in qualità di legale rappresentante dell'Ente/Società

ITW LKW GEOTERMIA ITALIA s.p.a. Sede Legale Piazza Statuto, 16 -10122 Torino P.IVA 11173231009

Capitale Sociale EURO 1.000.000,00 I.v. Numero REA: TO- 1144269

Sede amministrativa - Via di Porta Pinciana n. 4 00187 Roma -

Tel +39 06 42020461 Fax +39 06 48905185 E-mail – info@itwlkwgeotermia.it



ITW&LKW Geotermia Italia spa

con sede legale in:

TORINO, P.zza Statuto, 16 - telefono 06.42020461, fax 06.48905185,
indirizzo di posta elettronica certificata: itwgeotermiaitalia@legalmail.it

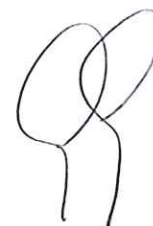
richiede l'avvio della procedura in oggetto relativamente alle seguenti prescrizioni contenute nel provvedimento di VIA n.0000059 del 3 aprile2015, la cui verifica è posta a carico di codesta Amministrazione:

Prescrizione n.	Testo integrale della prescrizione come riportato nel provvedimento di VIA
A.1 i)	Al fine di individuare i rapporti che legano il bacino idrogeologico di alimentazione del serbatoio geotermico e la struttura geolitologica e stratigrafica della copertura del serbatoio stesso, dovrà essere eseguita una ricerca con simica 3D (con densità di stendimenti adeguati alla ricostruzione dell'edificio geostrutturale), con geoelettrica, rilevamenti magnetotellurici e con rilevamenti geochimici sull'acquifero. Tale ricostruzione dovrà permettere la definizione del modello idrogeologico del serbatoio carbonatico, le modalità di ricarica dello stesso, la direzione di riflusso sotterraneo e la compatibilità di utilizzo dei fluidi con il bilancio idrogeologico dei sistemi acquiferi presenti nell'area. Tutto ciò anche al fine di ottimizzare la localizzazione del primo pozzo di reiniezione e di produzione. Gli esiti di tale studio dovranno venire in ottemperanza al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

Si trasmette in allegato alla presente:

1) Risposta alla prescrizione A.1 i);

La documentazione trasmessa è composta di 3 copie in formato digitale predisposte conformemente alle "Specifiche tecniche per la predisposizione e la trasmissione della documentazione in formato digitale per le procedure di VAS e VIA ai sensi del D.Lgs 152/2006 e s.m.i." del Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare per un totale di n. 3 supporto/i informatico/i e di 1 copia in formato cartaceo.



Il sottoscritto è consapevole che il Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare pubblicherà sul portale delle Valutazioni ambientali VAS-VIA (www.va.minambiente.it) la documentazione trasmessa con la presente.

ITW & LKW
Geotermia Italia S.p.A.
Il Presidente
Dott. Giorgio GARRONE


Riferimenti per contatti:

Nome e Cognome: Dr. Diego Righini

Telefono: 3927035794 – 06.42020461 Fax 06.48905185

E-mail: righini@itwlkwgeotermia.it

1911
1912
1913
1914

Allegato all'istanza di verifica
di ottemperanza prescrizione A.1) i)



IMPIANTO GEOTERMICO PILOTA CASTEL GIORGIO
Prescrizione VIA A.1 lettera i) e richiesta 1.1.1 della Regione Umbria

Modello strutturale, idrogeologico e idraulico del serbatoio geotermico

1. PREMESSA

Con provvedimento del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), di concerto con il Ministro dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, registrazione n. 59 del 3 Aprile 2015, è stato approvato, con prescrizioni, il decreto di compatibilità ambientale relativa al progetto di realizzazione dell'impianto pilota geotermico denominato "Castel Giorgio".

Una di queste prescrizioni, A.1 lettera i, è di seguito trascritta.

- i) Al fine di individuare i rapporti che legano il bacino idrogeologico di alimentazione del serbatoio geotermico e la struttura geolitologica e stratigrafica della copertura del serbatoio stesso, dovrà essere eseguita una ricerca con simica 3D (con densità di stendimenti adeguati alla ricostruzione dell'edificio geostrutturale), con geoelettrica, rilevamenti magnetotellurici e con rilevamenti geochimici sull'acquifero. Tale ricostruzione dovrà permettere la definizione del modello idrogeologico del serbatoio carbonatico, le modalità di ricarica dello stesso, la direzione di riflusso sotterraneo e la compatibilità di utilizzo dei fluidi con il bilancio idrogeologico dei sistemi acquiferi presenti nell'area. Tutto ciò anche al fine di ottimizzare la localizzazione del primo pozzo di reiniezione e di produzione. Gli esiti di tale studio dovranno venire in ottemperanza al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Inoltre, in allegato allo stesso decreto è riportata la richiesta 1.1.1 di analogo tenore, formulata dalla Regione Umbria, anch'essa trascritta di seguito.

1.1.1 Nella fase esecutiva di realizzazione del progetto la configurazione finale dei pozzi di produzione e di reiniezione dovrà essere effettuata sulla base delle risultanze di un modello idrogeologico del serbatoio carbonatico, che definisca le modalità di ricarica dello stesso, la direzione di deflusso sotterraneo e la compatibilità di utilizzo dei fluidi con il bilancio idrogeologico dei sistemi acquiferi presenti nell'area. Dovranno pertanto essere effettuati test idrodinamici e valutazioni idrogeologiche sui pozzi perforati ed elaborato un modello concettuale e matematico dei sistemi acquiferi, validato dalle Autorità competenti, con la proposta operativa della configurazione finale delle modalità di prelievo e reiniezione dei fluidi per garantire condizioni di equilibrio e sostenibilità dell'utilizzo geotermico.

In relazione al contenuto della prescrizione e della richiesta sopra riportate, si ritiene opportuno ricordare che il campo geotermico di Castel Giorgio – Torre Alfina è stato già oggetto di un'intensa attività di esplorazione geologica, geofisica e geochemica, che ha portato alla perforazione di 10 pozzi profondi (Buonasorte et al., 1988) uno dei quali ha raggiunto la profondità di ben 4826m dal piano campagna (Buonasorte et al., 1989 e 1991). Lo scopo della presente nota è quello di presentare i risultati di un nuovo modello idrogeologico del serbatoio geotermico predisposto dallo Studio Associato GEOTECNA per conto della società scrivente che integra e reinterpreta i dati geofisici, geochemici e geologici dell'esplorazione profonda per valutare che quella proposta nel programma lavori corrisponda all'ubicazione ottimale dei pozzi di produzione e di reiniezione.

2. MODELLO GEOLOGICO-STRUTTURALE DEL CAMPO GEOTERMICO

Gli elementi geologico-strutturali e geotermici principali della zona di Castel Giorgio -Torre Alfina sono riassunti nella Fig. 1, dove sono riportate le isobate del tetto delle rocce carbonatiche del serbatoio geotermico, le relative isoterme e l'estensione approssimativa della cappa di gas presente al tetto del serbatoio.

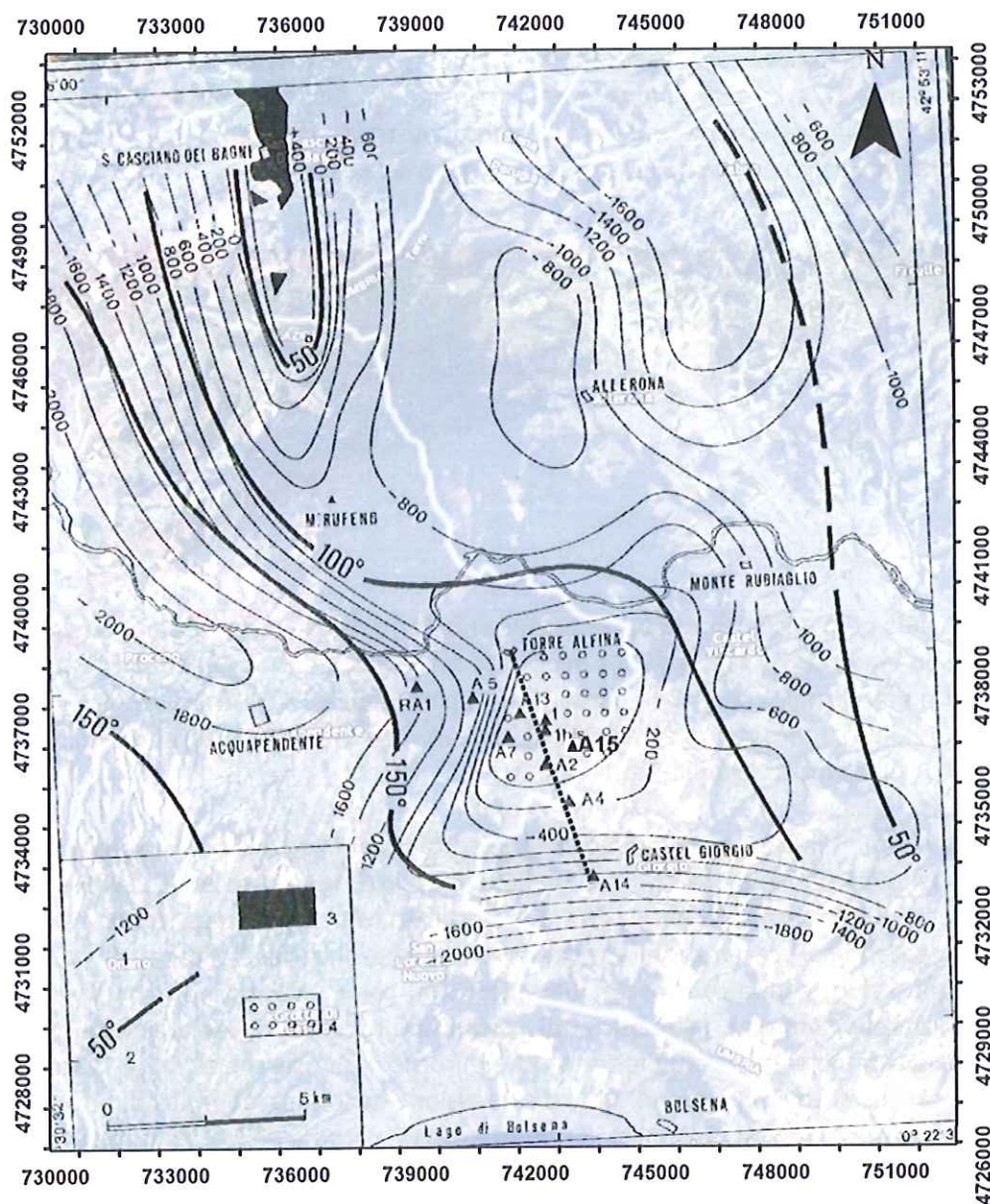


Fig. 1. Principali elementi geologico-strutturali dell'area geotermica Castel Giorgio-Torre Alfina. 1: Isobate del tetto del serbatoio carbonatico (in m s.l.m.), 2: Isotherme al tetto del serbatoio (in °C) 3: Affioramento più vicino delle rocce del serbatoio, 4: Estensione approssimativa della cappa di gas presente nella parte alta del serbatoio, nella parte centrale del campo. È indicata anche l'ubicazione dei pozzi profondi e la traccia della sezione geologica di Fig.2 (linea punteggiata).

Le caratteristiche essenziali del campo geotermico sono riassunte nel profilo geologico riportato nella Fig. 2, prodotto utilizzando i risultati dei pozzi profondi da A13 a A14 (per l'ubicazione vedi Fig. 1).

Il serbatoio geotermico è ospitato nelle rocce carbonatiche Mesozoiche fratturate. La copertura impermeabile è rappresentata dalle unità alloctone flyschoidi di facies Ligure e Austroalpina interna, a loro volta localmente ricoperte dai terreni argilloso-sabbiosi a bassa permeabilità del Neogene e infine dalle vulcaniti quaternarie dei Vulsini, che comprendono anche un piccolo centro eruttivo ubicato proprio nel paese di Torre Alfina.

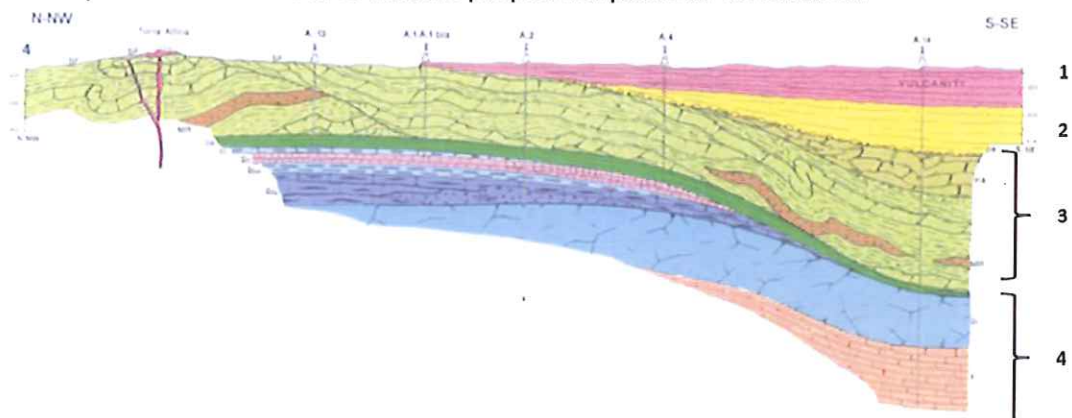


Figura 2. Profilo geologico della zona geotermica tra Torre Alfina e Castel Giorgio (pozzo A14) nel quale sono indicati 1) i terreni vulcanici; 2) le rocce Neogeniche; 3) le rocce dell'unità di facies Ligure e Austroalpina interna (copertura impermeabile); 4) le rocce di facies Toscana (che comprendono il serbatoio geotermico nei calcari fratturati (da Costantini et al., 1984). La traccia del profilo è indicata nella Fig. 1.

Altre importanti informazioni geologico-strutturali sono fornite dal sondaggio A15, perforato nel 1987 fino alla profondità di 4826m dal p.c. (Buonasorte et al., 1989 e 1991). Il sondaggio era stato perforato allo scopo di accertare l'eventuale presenza, al di sotto del serbatoio geotermico presente nelle rocce carbonatiche di facies Toscana, di un secondo serbatoio più caldo, ospitato in rocce metamorfiche, come avviene nei campi geotermici toscani (Larderello, Amiata). In realtà al di sotto delle rocce di copertura delle Liguridi, il sondaggio ha attraversato tre scaglie tettoniche di rocce carbonatiche a "Serie Toscana" non metamorfica, che si sovrappongono ad una successione ancora carbonatica di tipo "Umbro" (Fig.3). La sovrapposizione tettonica di queste unità carbonatiche costituisce un unico serbatoio geotermico di grande spessore (oltre 3700 m), caratterizzato da un gradiente geotermico molto basso ($< 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ m}$) con temperatura variabile da 140°C a 210°C indicativo di una circolazione convettiva dei fluidi.

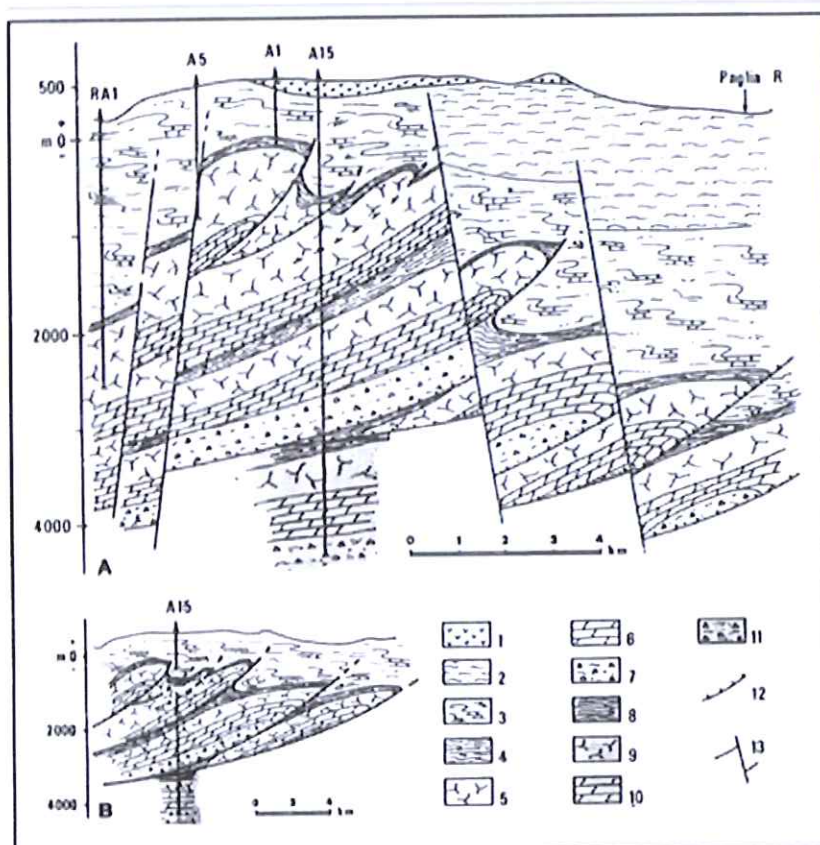


Figura 3. Sezione geologico-strutturale attraverso il campo geotermico di Torre Alfina – Castel Giorgio estrapolata dalla stratigrafia del sondaggio profondo A15. La sezione A rappresenta la situazione strutturale attuale, con la presenza supposta delle faglie tensionali del Miocene Superiore-Pliocene. Si noti che la struttura della zona che va dal pozzo A15 al Fiume Paglia è del tutto ipotetica non essendovi in questa zona pozzi profondi. 1: Vulcaniti Quaternarie, 2: Sedimenti Neogenici, 3: Liguridi, 4-7: Unità Toscana, 8-11: Sequenza Umbra, 12: Overthrust, 13: Faglia tensionale (da Buonasorte et al., 1989).

Il modello geologico strutturale e geotermico dell'area, basato sui dati geologici, geofisici e dei sondaggi profondi è presentato nella Fig.4.

Un aggiornamento di questo modello, è stato eseguito tenendo conto dei risultati del pozzo profondo A15, nell'ambito del nuovo modello idrogeologico del serbatoio riportato in Allegato 1.

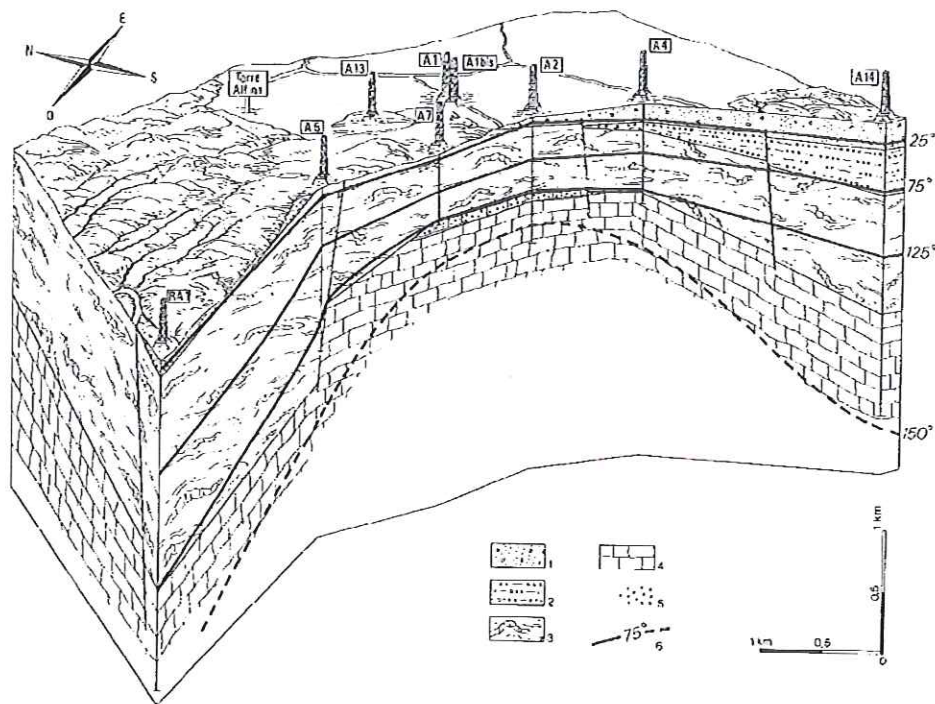


Figura 4. Modello geologico –strutturale dell’area geotermica di Castel Giorgio –Torre Alfina basato sui risultati dei sondaggi profondi. 1: Prodotti vulcanici Quaternari; 2: Depositi marini Neogenici; 3: Copertura impermeabile costituita dai depositi alloctoni del Flysh ligure; 4: Serbatoio geotermico ospitato nei calcari fratturati della serie Toscana; 5: Cappa di gas al tetto del serbatoio nella parte centrale del campo; 6: Isotherme in °C. E’ indicata l’ubicazione dei pozzi geotermici (da Buonasorte et al., 1988).

Nell’insieme questi dati indicano chiaramente che l’area geotermica di Castel Giorgio-Torre Alfina è caratterizzata dalla presenza di un alto strutturale delle rocce carbonatiche del serbatoio, permeabile per fratturazione, legato verosimilmente a strutture di tipo overthrust. Nella parte centrale della struttura, il tetto del serbatoio si trova ad una profondità di soli 500÷600m dal p.c. e la sua parte più alta ospita una cappa di gas (essenzialmente CO₂, prodotta per anni dal pozzo A13).

Al di sopra del serbatoio vi è la formazione impermeabile che agisce come copertura del sistema geotermico, costituita da terreni prevalentemente argillosi dei flysch Liguri. Questa copertura è molto efficace, tanto che solo in un sito, corrispondente alla manifestazione a gas delle Solfanare poco a sud di Torre Alfina, si trova una piccola faglia a direzione NW-SE che mette in comunicazione il serbatoio con la superficie consentendo la risalita di gas (prevalentemente CO₂). Le prospezioni di flusso di CO₂ dal suolo condotte dall’INGV per conto del proponente (vedi Carapezza et al., 2015), hanno dimostrato infatti che solo alle Solfanare si registra un’emissione anomala di gas geotermico, mentre in tutto il resto dell’area il flusso di CO₂ è molto basso, compatibile con un’origine organica da “respirazione” del suolo vegetale.

Le indagini di sismica a riflessione hanno dato scarsi risultati perché la penetrazione è stata debole a causa della presenza della copertura di rocce vulcaniche (Buonasorte et al., 1995).

I risultati di tre profili di sismica a rifrazione, uno dei quali interessa l'area geotermica di Castel Giorgio – Torre Alfina, sono stati pubblicati da Biella et al. (1987) e da Amato et al. (1991) (vedi ubicazione in Fig. 5).

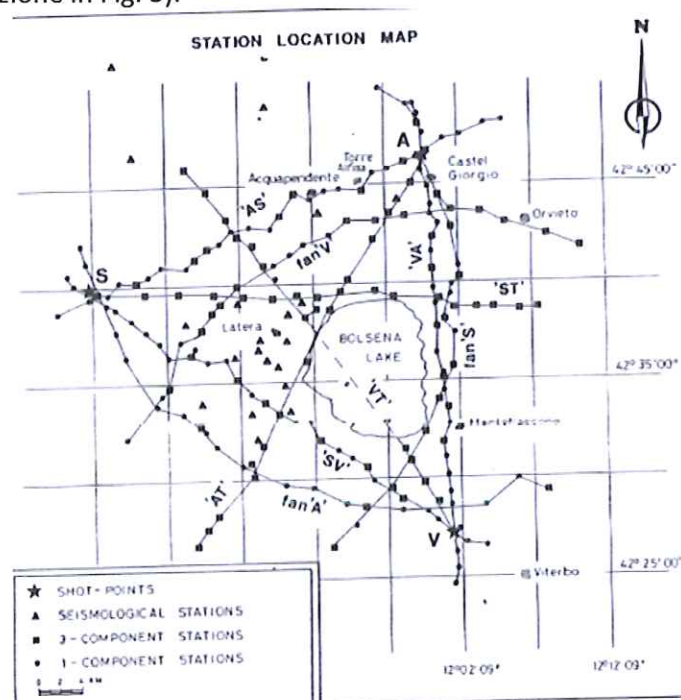


Figura 5. Ubicazione dei profili di sismica a rifrazione e delle stazioni sismiche (da Biella et al., 1987). Il profilo S-A è quello che passa attraverso l'area geotermica del progetto.

Il modello sismico ottenuto e la relativa interpretazione geologica (vedi Fig.6), confermano chiaramente la presenza dell'alto strutturale delle rocce carbonatiche del serbatoio nella zona di Torre Alfina. Dall'alto verso il basso, sono stati distinti tre livelli sismici:

- un livello superficiale con velocità delle onde P di 4,1-4,5 km/s (4,3 km/s a Torre Alfina), corrispondente sia alle rocce vulcaniche sia a quelle del flysch alloctono che non sono distinguibili dalla sismica a rifrazione per l'esiguo spessore del vulcanico
- un livello intermedio con V_p di 5,3-5,9 km/s (5,4-5,6 km/s a Torre Alfina), corrispondente alle formazioni carbonatiche Mesozoiche (serbatoio geotermico); la geometria irregolare del tetto di questo livello corrisponde alla struttura tettonica dell'area (es. horst di Torre Alfina).
- un livello profondo ad andamento piatto che comincia a circa 5 km di profondità nella zona di Torre Alfina, caratterizzato da V_p da 6,8 a 7,1 km/s, corrispondente verosimilmente al basamento metamorfico.

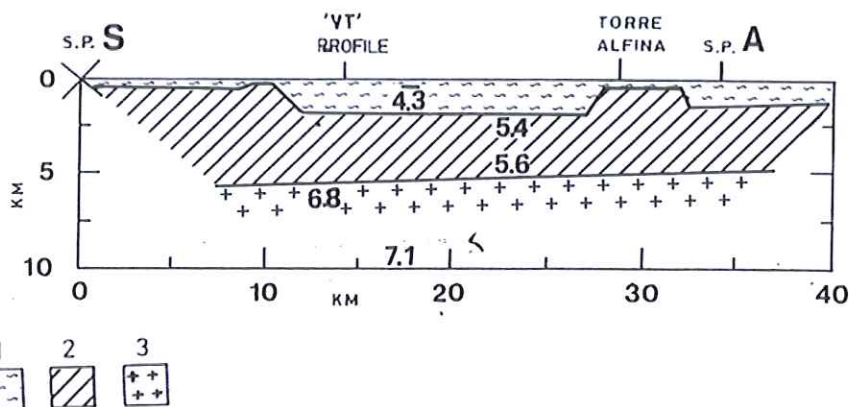


Figura 6. Modello sismico e interpretazione geologica del profilo S-A di sismica a rifrazione. 1: copertura vulcano-flyschoidale, 2: rocce carbonatiche del serbatoio, 3: basamento metamorfico ad alta V_p (modificata da Biella et al., 1987).

Altri risultati utili al modello sismico-strutturale della zona si ricavano dagli studi di tomografia sismica condotti nella regione dell'Amiata – Vulsini comprendente anche la zona di Torre Alfina (Chiarabba et al., 1995). Invertendo i tempi di arrivo di terremoti registrati dalle reti microsismiche locali nel periodo 1977-1992, è stata ricostruita la struttura tridimensionale delle velocità delle onde P. Il modello 3D delle velocità delle onde P in quattro livelli crostali (layer 1, 2, 3, 4 alla profondità di rispettivamente 1,3,5 e 7 km) è mostrato nella Fig.7, nella quale la zona di Torre Alfina è collocata circa a 1/3 della congiungente Lago di Bolsena – M. Amiata. Nei primi 3 km, che sono in parte ben conosciuti dai dati dei pozzi geotermici profondi, le variazioni di velocità sono determinate dalle strutture in alti e bassi (horst e graben) delle rocce carbonatiche che ospitano il principale serbatoio geotermico.

A Torre Alfina si osserva un'anomalia positiva di velocità la cui geometria corrisponde bene all'andamento dell'alto strutturale dei carbonati sepolti (confronta Fig. 4 e Fig. 6), mentre velocità più basse corrispondono ai terreni di copertura (flysch e depositi vulcano-sedimentari). Il tetto del serbatoio carbonatico corrisponde ad un'isolinea di $V_p = 4,8$ km/s e le alte velocità tra 1 e 3 km corrispondono alla struttura positiva dei carbonati che, come abbiamo visto, è composta da varie unità tettoniche sovrapposte fino ad almeno 5 km di profondità. Questo spiega anche perché non è stato osservato alcun contrasto di velocità a 5 km di profondità sotto il campo geotermico di Torre Alfina. Verso nordovest, un'area a bassa velocità è in relazione al forte spessore dei depositi di flysch (zona RA1 in Fig.8).

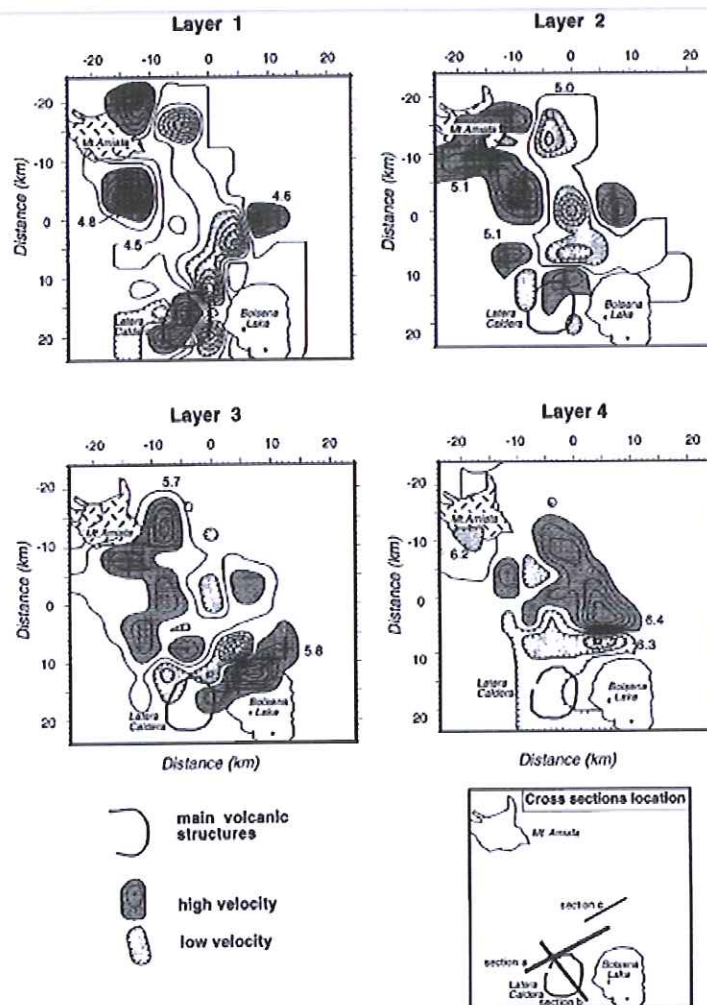


Figura 7. Modello tridimensionale della velocità delle onde P in quattro livelli crostali (profondità 1,3,5 e 7 km) (da Chiarabba et al., 1995).

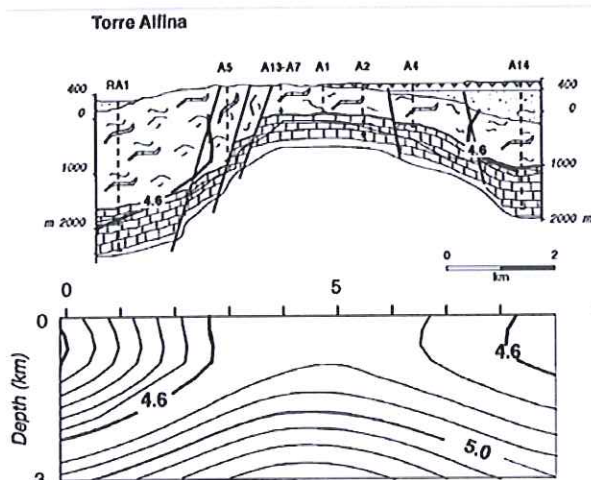


Figura 8. Sezione verticale di tomografia sismica e modello geologico dell'area geotermica di Torre Alfina. L'isolina $V_p=4,8$ km/s marca il tetto dei carbonati Mesozoici che ospitano il

serbatoio geotermico (modificato, da Chiarabba et al., 1995).

3. CONDIZIONI IDRAULICHE DEL FLUIDO GEOTERMICO NEL SERBATOIO DI CASTEL GIORGIO - TORRE ALFINA

Nel seguito si prende in esame lo stato del serbatoio geotermico di Castel Giorgio - Torre Alfina con l'obiettivo di accertare l'esistenza di differenze nei valori della pressione di strato tra punti diversi del serbatoio geotermico. L'obiettivo è verificare se esistono condizioni fisiche per l'instaurarsi di un movimento del fluido geotermico di entità apprezzabile e quindi potenzialmente in grado di interferire con il processo industriale di sfruttamento.

3.1 Analisi dello stato fisico e comportamento dei pozzi

Parte del tetto del serbatoio è interessato dalla presenza di una cappa di gas la quale conferisce localmente alle stesse caratteristiche del tutto particolari in termini di pressione. Altrove, in particolare nella zona di Castel Giorgio, il serbatoio si comporta in condizioni statiche come un acquifero senza che il contenuto di gas (in prevalenza CO₂), peraltro totalmente disciolto nel liquido, abbia influenza sulla pressione alla testa dei pozzi che connettono il serbatoio con la superficie.

Questo dato trova piena conferma sperimentale nel comportamento dei pozzi Alfina 4 e Alfina 14 (nel seguito A4 e A14), pozzi che dopo decenni dal termine della perforazione e delle prove di emungimento effettuate da Enel, si sono sempre mantenuti con pressione (effettiva) nulla a testa pozzo, condizione che esprime equilibrio idrostatico all'interno di ciascuno di essi.

La ragione fisica di questo comportamento risiede nel fatto che, geometricamente, il rapporto tra il diametro dei pozzi e la loro lunghezza (profondità) è talmente basso che il gradiente di concentrazione del gas disciolto nel fluido del serbatoio è tale per cui il movimento di gas che si determina nei pozzi è insignificante e comunque lontanissimo dai valori che potrebbero provocare l'innescio spontaneo della produzione di fluido geotermico. Nell'analisi che segue si utilizzano i dati rilevati da misure nei pozzi effettuate negli anni antecedenti la loro chiusura mineraria, avvenuta a fine 2013, per ricavare alcune grandezze fisiche che caratterizzano lo stato del serbatoio geotermico in corrispondenza dei due pozzi A4 e A14 che corrispondono rispettivamente al polo produttivo e a quello re iniettivo del progetto Castel Giorgio.

I due pozzi realizzavano la connessione tra la superficie e lo stesso serbatoio geotermico, a partire da due profondità differenti, rispettivamente a 830m e 2050m circa, dove erano state incontrate fratture.

Periodicamente sono state fatte misure di controllo della temperatura e della pressione lungo l'asse dei pozzi dal piano campagna fino alla loro profondità massima di agibilità. Nel seguito ci si riferisce in particolare ai rilievi del settembre 2003 disponibili presso, dopo circa 30 anni dalla fine delle operazioni di perforazione, quando, senza ombra di dubbio, i due pozzi erano in equilibrio con il serbatoio geotermico.

Dai rilievi del settembre 2003 disponibili presso la Regione Umbria, risulta che nel pozzo A4 la pressione a circa 825m dal piano campagna (cioè a $-825 + 530 = -295$ m dal livello del mare), agli effetti pratici coincidente con la prima e unica frattura produttiva incontrata poco sotto il contatto tra copertura flyschoidale e serbatoio, è esattamente 6,20 MPa con un livello in pozzo determinabile a circa 173m.

Il pozzo Alfina 14 ha raggiunto il serbatoio ad una profondità sensibilmente superiore, circa 1600m. In esso il livello idraulico in pozzo è determinabile a circa 230m, quindi circa 57m più profondo, rispetto al proprio piano campagna, che in A4. Tuttavia i due valori di livello

statico dal piano campagna non sono direttamente confrontabili perché la profondità della frattura più alta (la "prima") determina condizioni diverse di temperatura della colonna che rendono difficile il confronto in termini di densità media della colonna.

E' stata allora presa a riferimento la pressione misurata alla profondità di circa 825m in A4 (assunta per semplicità corrispondente a quella della frattura di 830m) e a 2050m in A14, cioè in corrispondenza della prima frattura incontrata in ciascuno dei due dove pozzi è quindi certa la connessione con il serbatoio. Il raffronto tra i due valori di pressione fornisce un'indicazione molto precisa della differenza di pressione idrostatica a parità di tale quota slm in entrambi i pozzi.

La quota slm del piano campagna di A14 è pari a 535m; alla profondità di 2050m dal piano campagna, in prossimità della prima frattura incontrata dal pozzo, è stata valutata una pressione di 17,465MPa, valore ottenuto interpolando linearmente quelli misurati a 2000 e 2100m.

Questi rilievi di pressione hanno particolare importanza sia per la notevole precisione dello strumento utilizzato per la rilevazione, sia perché, come detto sopra, sono rappresentativi delle condizioni statiche del sistema pozzo – serbatoio e permettono di accertare la pressione in due zone distinte del serbatoio poste alla stessa quota sul livello del mare, quindi su uno stesso piano orizzontale.

La pressione sulla verticale di A4 alla stessa profondità di 2050m rispetto ad A14 (ovvero a 2045m dal piano della postazione A4) si può ritenere con buona approssimazione pari alla somma della pressione rilevata a 825m (in pratica la profondità della frattura), sempre in A4, e quella dovuta al carico idrostatico tra 825 e 2045m. Tale carico è noto perché il campo è costituito da un acquifero alla temperatura di 140°C. Cioè $6,20\text{MPa} + 925,92 \cdot (2045 - 825) \cdot 1.003 \cdot 9,81 / 1.000.000 = 17,3\text{MPa}$, essendo $925,92\text{kg/m}^3$ la densità dell'acqua alla temperatura di 140°C e 1.003 il fattore correttivo della densità dovuto alla salinità della soluzione. Per la precisione si nota che eventuali modeste differenze di temperatura, anche dell'ordine di $\pm 5^\circ\text{C}$, non sarebbero in grado di produrre variazioni apprezzabili del valore della densità dell'acqua considerato nel calcolo.

La differenza tra la pressione misurata in A14 alla profondità di 2050m e quella stimata in A4 alla stessa profondità (2045m dal piano campagna) risulta $17,465 - 17,3 = 0,16\text{MPa}$.

Ai fini del bilancio idrogeologico del serbatoio geotermico, in assenza di disturbi del campo, la zona del serbatoio dove è ubicato il polo reiniettivo risulta pertanto leggermente pressurizzata rispetto a quella del polo produttivo.

3.1.1 Piezometrie

Sulla base dei valori di pressione di cui sopra possono essere determinate le piezometriche in corrispondenza dei pozzi A4 e A14. Dal momento che la colonna idrostatica ha, fisicamente, una temperatura e una densità variabili lungo la sua altezza, si assume come riferimento la densità $925,92\text{kg/m}^3$ conseguente alla temperatura di 140°C. Il risultato è il seguente:

- piezometrica in A14 a 2050m dal p.c., $2050 - (17,465 \cdot 10^6 / (9,81 \cdot 925,92)) = 2050 - 1922,7 = 127,2\text{m}$ dal piano campagna A14 (535m slm), ovvero 408m slm

- piezometrica in A4 a 2045m (corrispondente a 2050m dal piano di A14) = $2045 - (17,30 \cdot 10^6 / (9,81 \cdot 925,92)) = 2045 - 1905 = 140\text{m}$ ovvero 390m slm; la differenza tra le due piezometriche risulta di 18m di colonna d'acqua alla temperatura del serbatoio.

Considerato che nelle varie carte la quota sul livello del mare è indicata con valori talvolta leggermente diversi e del diverso allungamento termico tra condizioni di perforazione e stato

dei pozzi al momento delle misure, i valori di cui sopra sono stati arrotondati a 391m per A4 e a 409m per A14.

4. Modello idrogeologico del serbatoio carbonatico

In Allegato 1 è riportato il modello idrogeologico del serbatoio geotermico ottenuto utilizzando un modello matematico che riproduce il campo come risulta dai vari lavori pubblicati sia dall'Enel che da altri autori e utilizzando valori di permeabilità in linea con quelli che mediamente si riscontrano nelle litologie incontrate e, per quanto riguarda il serbatoio carbonatico, gli stessi valori impiegati nella simulazione numerica riportata in Allegato 3 del Progetto Definitivo Castel Giorgio utilizzato nella procedura di VIA.

Il codice di calcolo impiegato è il MODFLOW. Esso prevede di utilizzare un unico tipo di fluido a temperatura costante, pertanto il fluido geotermico è stato simulato con acqua a 140°C avente densità di 925,92kg/m³ e, analogamente, per la viscosità dell'acqua richiesta dal codice, è stata assunta quella che corrisponde alla temperatura del serbatoio; inoltre si è fatto riferimento ad un ulteriore scenario di ricarica che prevede apporto di acqua dalla struttura elevata del M.Cetona secondo l'ipotesi avanzata da Buonasorte ed al., 1988.

Per lo sviluppo del calcolo di simulazione è stato ricostruito il modello geologico del sottosuolo, fino alla profondità di circa 3500 m, con il quale sono stati definiti i rapporti fra le varie formazioni geologiche e soprattutto la geometria del serbatoio geotermico che risulta compartimentato in due sottoserbatoi da una formazione geologica intermedia a più bassa permeabilità.

Per la descrizione delle condizioni al contorno del modello litologico, del sistema di faglie, dei valori assunti per il "potenziale imposto" e delle proprietà idrauliche considerate si rimanda direttamente all'Allegato 1.

Su queste basi è stato costruito lo stato stazionario (ante disturbo per l'attività industriale). L'infiltrazione, nell'ambito del complesso il vulcanico di superficie, è stata messa in conto con un valore efficace di 230mm annui. Le isopieze relative sono riportate nella Fig. 18 dell'Allegato 1.

4.1 Scenari analizzati

Un primo scenario analizzato considera l'ipotesi che l'acqua nel serbatoio scorra da Nord verso Sud con riferimento al lavoro di Buonasorte et al., 1988. In esso si ipotizza che il flusso di acqua abbia origine dal M. Cetona e che determini le piezometriche riportate in Fig. 3 dell'Allegato 1. In effetti, questo scenario è stato considerato prevalentemente per ragioni di completezza e di valutazione della sensitività della modellazione. In questo scenario viene preso a riferimento il livello di acqua rilevato nel pozzo A14 (circa 305m slm) e assunto questo valore come piezometrica perché coincidente con la isoipsa 300m. Assunto ragionevolmente un gradiente medio dell'1%, sulla base del livello in A14 viene stabilito anche il livello in A4 che risulta di 323m slm, valore effettivamente non molto diverso dal livello riscontrato in pozzo.

Questi due valori del livello di acqua nei pozzi Alfina 4 e Alfina 14 sono assunti come riferimento per la calibrazione del modello, ottenuta variando i carichi di ingresso da Nord e di uscita Sud, rispetto all'area modellata, fino a raggiungere un grado di confidenza del 96% (Fig. 20 dell'Allegato 1) e utilizzando le piezometrie di Fig. 21 di Allegato 1 che caratterizzerebbero, nelle ipotesi fatte, l'acquifero del carbonatico.

Il disturbo dovuto alla coltivazione, arrecato allo stato stazionario dai prelievi attraverso i pozzi produttivi e la reiniezione nei pozzi reiniettivi, è stato riferito per uniformità con il Progetto Definitivo e con le precedenti valutazioni alla portata di 1050t/h che è conservativa rispetto alla soluzione finale.

Per meglio simulare geometricamente nello spazio l'ubicazione delle zone di prelievo dei pozzi produttivi i rami deviati sono stati suddivisi in 5 tratti attribuendo a ciascuno dei quali una portata pari a 1/5 del valore di progetto.

Nei pozzi reiniettivi deviati, essendo i singoli rami deviati troppo lunghi per adottare per ciascuno di essi lo stesso criterio, il ramo deviato open hole è stato ubicato in posizione intermedia tra la verticale e il fondo pozzo.

I risultati della simulazione evidenziano uno scambio tra acquifero vulcanico e profondo che non viene alterato dall'esercizio del campo e che è dominato esclusivamente dalle condizioni di isolamento del flysch.

Al cap. 6. dell'Allegato 1 è riportata la distribuzione della portata di fluido nel serbatoio carbonatico durante l'esercizio del campo e quindi le variazioni che, in condizioni stazionarie, si verificano negli scambi sui fronti Nord e Sud a seguito dell'interscambio tra i poli produttivo e reiniettivo.

L'abbassamento di pressione che si verifica nella zona dei pozzi produttivi risulta 90m di colonna d'acqua con un massimo di 110m, pari a 10bar.

L'aumento di pressione massimo che si verifica nella zona del polo reiniettivo risulta 110m di colonna d'acqua con un massimo di 130m, pari a 12bar.

Il transitorio iniziale ha una durata effettiva di circa un anno; per i dettagli dello studio del transitorio legato allo scenario considerato si rimanda comunque all'Allegato 1.

Il fluido ricircolato tramite i pozzi di reiniezione e che raggiunge i pozzi di estrazione è circa il 65% di quanto estratto; il restante 35% viene fornito dall'ingresso di ulteriore acqua da Nord.

4.2 Secondo scenario

Questo scenario prevede un flusso di fluido nel serbatoio da Sud verso Nord ed è più realistico del precedente in quanto prende in esame la condizione fisica del serbatoio carbonatico così come risulta dai rilievi periodici eseguiti dall'Enel e comunicati alla Regione Umbria. In particolare ci si riferisce ai dati raccolti nel 2003 dai quali si può dedurre la pressione esatta a una stessa profondità in corrispondenza di entrambi i pozzi A4 e A14, come sopra riportato (vedi Piezometrie, capitolo 3.1.1).

La calibrazione del modello per definire lo stato stazionario è stata fatta, al solito, variando le condizioni fino a riprodurre in A4 e A14 la piezometrica che si deduce dalle misure fatte nei pozzi medesimi, con un grado di confidenza del 95% (vedi Fig. 32 dell'All. 1). Ovviamente la piezometrica in questione è quella che compete alla colonna idrostatica avente la temperatura del serbatoio, quindi densità $925,92\text{kg/m}^3$, e con riferimento alle determinazioni precedentemente descritte nel cap. 3.1.1, 409m slm in A14 e 391m slm in A4. Il fluido ricircolato tramite i pozzi di reiniezione, e che raggiunge i pozzi di estrazione, è circa il 75% della portata estratta; il restante 25% viene fornito dall'ingresso di ulteriore fluido da Sud.

I **risultati** della simulazione confermano che:

- la riduzione di pressione intorno ai pozzi produttivi rimane nell'intorno 90-110m di colonna d'acqua a 140°C equivalente a $8 - 10\text{kg/cm}^2$ (0,78 – 0,98 MPa);

- la pressurizzazione intorno ai pozzi reiniettivi rimane nel range 110-130m di colonna d'acqua a 140°C equivalente a 10-12kg/cm² (0,98 – 1,17MPa).

E' interessante osservare che:

- i valori di depressione 8 e 10kg/cm² sono in linea con i risultati della simulazione riportata in All. 3 del Progetto Definitivo;

- il valore massimo di depressurizzazione, 10kg/cm², ha carattere puntuale essendo limitato ad un solo pozzo;

- anche il valore massimo di sovrappressione, 12kg/cm², è allineato ai risultati ricavati con la simulazione riportata in All. 3 del Progetto Definitivo dopo 30 anni di esercizio dell'impianto. Infine si osserva che dopo meno di un anno (250 giorni) dall'arresto dell'esercizio dell'impianto, il sistema ha ripristinato le condizioni iniziali.

4.3 Conclusioni

La modellizzazione è stata eseguita sia sullo scenario 2, che trae origine da precise osservazioni e misure nei pozzi di osservazione disponibili fino al 2013, quindi è sicuramente realistico, sia sullo scenario 1. Quest'ultimo, completamente diverso dal primo, risponde all'esigenza di prendere in esame un ampio campo di variabilità del gradiente di pressione nel serbatoio carbonatico fino a valori tali da permettere un'inversione del flusso dell'acqua geotermica.

La simulazione numerica dimostra la sostenibilità dei prelievi nel lungo periodo in entrambe le situazioni esaminate e mette in evidenza che la realizzazione del progetto non produce effetti sul bilancio idrogeologico della falda idropotabile presente nell'acquifero vulcanico che è separato dal serbatoio geotermico da un consistente spessore di sedimenti flyschoidi con bassissima permeabilità che rende i due sistemi idrogeologici indipendenti agli effetti pratici.

Infine, si fa osservare che alcuni rilievi richiesti dalla prescrizione A.1.i) possono essere eseguiti o trovare conferma solo a seguito della perforazione dei pozzi profondi (rilevamenti geochimici sugli acquiferi, verifica delle caratteristiche litologiche delle formazioni attraversate, caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero geotermico).

Una volta acquisiti i nuovi dati scientifici e tecnici sul serbatoio, in particolare nel caso in cui emergessero informazioni anche solo parzialmente difformi rispetto a quanto già noto dalle attività svolte in passato dall'Enel, per la ricostruzione della struttura del serbatoio saranno programmate prospezioni geofisiche in aggiunta a quelle già realizzate in passato utilizzando tecniche di prospezione (sismica 3D, geoelettrica, magnetotellurica, ecc.) compatibili con la situazione geologica realmente incontrata, in particolare della presenza e spessore delle vulcaniti.

Si osserva inoltre che i test previsti nella risposta alla prescrizione A.2.a), alla quale si rimanda per maggiori dettagli, in particolare le prove di simulazione della reiniezione, potrebbero offrire indicazioni per modificare l'ubicazione del target di fondo pozzo di alcuni pozzi reiniettivi ottimizzando quella prevista in progetto, pur mantenendo inalterato il programma di perforare tutti i pozzi reiniettivi dalla stessa postazione CG14.

Riferimenti Bibliografici

- AMATO A., BIELLA G., DE FRANCO R. (1991). *Velocity structure of the Vulsinian Volcanic Complex (Latium, Italy) from seismic refraction data and three-dimensional inversion of travel times*. J. Geophys. Res., 96, 517-535.
- BIELLA G., DE FRANCO R., LOZEJ A., AMATO A. (1987). *Is there a shallow body of lower crust under the Vulsinian Volcanic Complex?* Per. Mineral. 56, 303-318.
- BUONASORTE G., CATALDI R., CECCARELLI A., COSTANTINI A., D'OFFIZZI S., LAZZAROTTO A., RIDOLFI A., BALDI P., BARELLI A., BERTINI G., BERTRAMI R., CALAMAI A., CAMELI G., CORSI R., DACQUINO C., FIOREDELISI A., GHEZZO A., LOVARI F., (1988). *Ricerca ed esplorazione nell'area geotermica di Torre Alfina (Lazio Umbria)*. Boll. Soc. Geol. It. 107, 265-337.
- BUONASORTE G., FIOREDELISI A., PANDELI E. (1989). *Deep exploration in the Torre Alfina geothermal field (Italy): the test hole Alfina 15*. European geothermal update, 98-108.
- BUONASORTE G., ENRICO P., ADOLFO F. (1991). *The Alfina 15 well: deep geological data from northern Latium (Torre Alfina geothermal area)*. Boll. Soc. Geol. It., 110, 823-831.
- BUONASORTE G. et al. (1995). *Seismic reflection in the Bolsena lake : a contribution to the knowledge of a caldera controlled geothermal system*. World Geothermal Congress, Florence, Italy.
- CARAPEZZA M.L., RANALDI M., GATTUSO A., PAGLIUCA N., TARCHINI L. (2015). *The sealing capacity of the cap rock above the Torre Alfina geothermal reservoir (Central Italy) revealed by soil CO₂ flux investigation*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 291, 25-34.
- CHIARABBA C., AMATO A., FIOREDELISI A. (1995). *Upper crustal tomographic images of the Amiata-Vulsini geothermal region, Central Italy*. J. Geophys. Res., 100, 4053-4066.
- COSTANTINI A., GHEZZO C., LAZZAROTTO A. (1984). *Geologic map of the Torre Alfina geothermal field, Siena, Viterbo and Terni provinces*. Boll. Soc. Geol. It., 107.
- TERRA ENERGY (2013). *Modellizzazione numerica del sistema geotermico di Castel Giorgio (TR)*. Rapporto per ITW&LKW Geotermia Italia spa
- TERRA ENERGY (2014). *Modellizzazione numerica del sistema geotermico di Torre Alfina-Castel Giorgio*. Rapporto per ITW&LKW Geotermia Italia spa

Allegato 1
alla risposta A.1) i



GEOTERMIA ITALIA S.p.a.

REALIZZAZIONE IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO "CASTEL GIORGIO"

MODELLO IDROGEOLOGICO DEL SERBATOIO CARBONATICO CON VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITA' DELL'UTILIZZO GEOTERMICO

RELAZIONE

Scala:		Commessa:	Codice file:	Prog.	Foglio:	Rev:
-		03315	03315B01	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> DI <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



GEOTECNA Studio Associato
Viale Venere, 57 - 05018 Orvieto (TR)
tel +39 0763 344669
fax +39 0763 391352
e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it

GEOL. Fabrizio Maria FRANCESCONI
GEOL. Stefano FRATINI
BIOL. Daniela LANZI
DOTT. NAT. Enrico LADI



Committente:
ITW&LKW
GEOTERMIA ITALIA S.p.a.

Revisione	Data	Oggetto	Redatto	Approvato	Autorizzato
0	Ciugno 2015	EMISSIONE			



REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 1 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>			File: 03315B01
	0			
GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>				F. F.

INDICE

1. PREMESSA	pag. 2
2. INTRODUZIONE	pag. 3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO	pag. 3
3.1. Assetto stratigrafico e tettonico	
3.2. Assetto Idrogeologico	
4. MODELLO CONCETTUALE	pag. 11
5. MODELLO NUMERICO	pag. 17
5.1. Gridding di calcolo	
5.2. Proprietà idrauliche	
5.3. Zone Budget	
5.4. Forzanti del sistema	
6. FLUSSO DI RICARICA DALLA FRONTIERA NORD	pag. 28
6.1. Condizioni al contorno - BOUNDARY CONDITIONS (B.C.)	
6.1.1. Complesso delle vulcaniti Vulsine	
6.1.2. Complesso dei carbonati	
6.2. PREVISIONE DEGLI EFFETTI	
6.2.1. Condizioni stazionarie	
6.2.2. Condizioni transitorie	
7. FLUSSO DI RICARICA DALLA FRONTIERA SUD	pag. 48
7.1. Condizioni al contorno - BOUNDARY CONDITIONS (B.C.)	
7.1.1. Complesso delle vulcaniti Vulsine	
7.1.2. Complesso dei carbonati	
7.2. PREVISIONE DEGLI EFFETTI	
7.2.1. Condizioni stazionarie	
7.2.2. Condizioni transitorie	
8. CONCLUSIONI	pag. 64

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 2 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	Revisioni		File:	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

1. PREMESSA

Nella presente relazione si forniscono elementi essenziali per la risposta ad alcune prescrizioni formulate dal MATTM e dalla Regione Umbria, nell'ambito della procedura di VIA per il progetto " **Impianto Pilota Geotermico denominato Castel Giorgio**".

Le prescrizioni vengono di seguito riportate.

Cap . 1.1 - A (Prescrizioni della Commissione Tecnica VIA e VAS) , Punto A1, (Prima dell'inizio dei lavori)

Lettera " i ": *"Al fine di individuare i rapporti che legano il bacino idrogeologico di alimentazione del serbatoio geotermico e la struttura geolitologica e stratigrafica della copertura del serbatoio stesso, dovrà essere eseguita una ricerca con sismica 3D (con densità di stendi menti adeguati alla ricostruzione dell'edificio geostrutturale) con geoelettrica, rilevamenti magnetotellurici e con rilevamenti geochimici dell'acquifero. Tale ricostruzione dovrà permettere la definizione del modello idrogeologico del serbatoio carbonatico, le modalità di ricarica dello stesso, la direzione di riflusso sotterraneo e la compatibilità di utilizzo dei fluidi con il bilancio idrogeologico dei sistemi acquiferi presenti nell'area. Tutto ciò al fine di ottimizzare la localizzazione del primo pozzo di reiniezione e di produzione. Gli esiti di tale studio dovranno venire in ottemperanza al Ministero dell'ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare".*

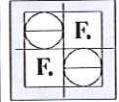
Il modello previsionale redatto in questa fase dovrà essere verificato con un modello da implementare nella fase di esercizio come riportato al Punto A3. Lettera "b" : Il Proponente dovrà: "implementare il modello idrogeologico del serbatoio carbonatico, con lo studio delle modalità di ricarica del serbatoio stesso, le direzioni dei flusso sotterranei, la valutazione dei collegamenti tra i pozzi di reiniezione e produzione, la misura degli squilibri di pressione e temperatura che si genereranno all'interno di detti pozzi e la rispondenza dei valori misurati con le previsioni del modello idrogeologico presentato nel SIA"

PARERE REGIONE UMBRIA

1.1.1 *Nella fase esecutiva di realizzazione del progetto la configurazione finale dei pozzi di produzione e di reiniezione dovrà essere effettuata sulla base delle risultanze di un modello idrogeologico del serbatoio carbonatico, che definisca le modalità di ricarica dello stesso, la direzione di deflusso sotterraneo e la compatibilità di utilizzo dei fluidi con il bilancio idrogeologico dei sistemi acquiferi presenti nell'area. Dovranno pertanto essere effettuati test idrodinamici e valutazioni idrogeologiche sui pozzi perforati ed elaborato un modello concettuale e matematico dei sistemi acquiferi, validato dalle Autorità competenti, con la proposta operativa della configurazione finale delle modalità di prelievo e reiniezione dei fluidi per garantire condizioni di equilibrio e sostenibilità dell'utilizzo geotermico.*

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 3 di 68
<i>Committente:</i> ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



2. INTRODUZIONE

La base dati è stata predisposta utilizzando le informazioni geologiche, idrogeologiche e geofisiche reperibili dalla letteratura scientifica e nelle banche dati geotermiche pubbliche; inoltre si è fatto riferimento agli elaborati del Progetto Definitivo presentato da ITW-LKW Geotermia Italia spa.

Sono stati inoltre utilizzati i dati relativi ai pozzi geotermici perforati nell'area del campo di Castel Giorgio, ed in particolare i pozzi: "Alfina 2", "Alfina 4", "Alfina 14" ed "Alfina 15" desunti dalle schede ENEL, dal lavoro di Buonasorte et alii (*Ricerca ed esplorazione nell'area geotermica di Torre Alfina , 1988 e The Alfina 15: Deep geological data from northern Latium , 1991*) [1] [2] ed infine si è fatto riferimento alla recente pubblicazione della Regione Umbria (*Studio delle potenzialità geotermiche del territorio regionale umbro, 2013* e relative recensioni) [3].

Dalla integrazione dei dati e dalle successive elaborazioni si è pervenuti alla formulazione del modello concettuale del campo geotermico, che è stato successivamente implementato mediante un modello matematico di flusso. Questo è stato realizzato tramite il software integrato VISUAL MODFLOW Premium, che permette l'utilizzo del codice sorgente MODFLOW (*McDonald e Harbaugh 1988*) in ambiente grafico su piattaforma Windows che è tra i più usati ed affidabili nel campo della idrogeologia.

L'applicazione della simulazione numerica ha permesso di prevedere il comportamento idrodinamico dell'acquifero geotermico, per varie condizioni al contorno, onde valutare la sostenibilità dei prelievi nel lungo periodo e formulare previsioni riguardo la compatibilità di utilizzo dei fluidi con il bilancio idrogeologico dell' acquifero vulcanico, sede di una importante falda idropotabile, dal quale è separato da un consistente spessore di sedimenti flyschoidi e neoautoctoni.

L'utilizzo di questo modello si ritiene accettabile dato che i pozzi produrranno principalmente acqua, con qualche unità percentuale di CO₂ disciolta (flusso monofase) ed inoltre, stante l'elevato grado di tettonizzazione, per le litologie carbonatiche in questione si è ritenuto possibile fare riferimento ad un mezzo poroso equivalente, anisotropo, indipendentemente dalla temperatura.

I risultati raggiunti e le considerazioni che se ne possono trarre potranno essere usate come base per una eventuale successiva fase di approfondimento in connessione con gli ulteriori dati emergenti dalle perforazioni in progetto.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

L'inquadramento geologico ed idrogeologico comporta la ricostruzione dell'assetto strutturale, delle successioni litostratigrafiche, dei loro rapporti geometrici e dei principali caratteri idrogeologici.

Tutto ciò ai fini dello sviluppo del modello concettuale, in cui si andranno a schematizzare la configurazione del serbatoio geotermico, la consistenza della copertura e si

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 4 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>			File: 03315B01
	0			
GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 - 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it				

definiranno i complessi idrogeologici, formulando previsioni riguardo i carichi piezometrici, aspetto alquanto complesso essendo influenzato dallo stato termodinamico del fluido.

La rappresentazione del sistema emergente costituirà la base della costruzione del modello matematico.

3.1. Assetto stratigrafico e tettonico

L'area di interesse dell'impianto pilota denominato Castel Giorgio fa parte del campo geotermico di Torre Alfina; in base ai numerosi lavori pubblicati, il contesto stratigrafico-strutturale del campo è caratterizzato da quattro diverse Unità tettoniche, che sono sovrascorse l'una sull'altra durante la fase compressiva-orogenetica miocenica, come è emerso dallo studio della stratigrafia del pozzo Alfina 15, che ha raggiunto la profondità di circa 4800 m (Figura 1).

Nella stessa Figura 1 si riporta anche la stratigrafia del pozzo Alfina 14, che ha raggiunto la profondità di m. 2367, correlata in quota con l'Alfina 15.

Il pozzo Alfina 15 ha attraversato tre scaglie tettoniche a Serie Toscana non metamorfica, che si sovrappongono ad una successione di tipo "umbro" ; tale successione è il risultato della tettonica compressiva regionale, che ha determinato l'accavallamento, su superfici a basso angolo di inclinazione impostate sulla formazione della Scaglia Toscana, delle diverse Unità Tettoniche; procedendo dalla più alta, e originariamente più occidentale, esse sono: le Unità Liguri, quelle Toscane e quelle Umbro-Marchigiane.

Al di sopra di queste Unità, sono presenti, in contatto discordante, depositi continentali e marini del complesso Neoautoctono, costituiti in prevalenza da argille, limi e sabbie sottili e ricoperti dalle vulcaniti derivanti dal distretto vulsino e dal vulcano monogenico di Torre Alfina; lo spessore delle vulcaniti varia da alcune decine di metri, fino ad oltre 200 m, procedendo da Nord verso Sud.

Importanti dislocazioni rigide di tipo estensionale, disposte con direttrice prevalente appenninica ed antiappenninica, hanno successivamente tagliato e dislocato l'assetto delle strutture compressive, interessando anche i terreni del complesso neoautoctono, con faglie di rigetti anche molto importanti: oltre 1000 m. E' quindi intuibile che la tettonica distensiva ha profondamente fratturato e fagliato le Unità Toscane che ospitano il serbatoio geotermico.

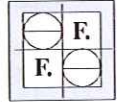
Nella fascia interessata dallo studio, la successione stratigrafica delle diverse Unità tettoniche, procedendo dall'alto verso il basso, può essere così sintetizzata :

- **Unità Liguri:** quella superiore include l'Unità ofiolitica delle " argille con calcari a Palombini rappresentata da una massa argillosa che ingloba blocchi di calcare siliceo grigio (palombino), di arenarie calcarifere e di rocce verdi e quella inferiore che comprende l'Unità di Santa Fiora costituita da argilliti grigie e marne varicolori con arenarie marne e calcari; lo spessore raggiunge i 1300 m e 1800 m (*Stratigrafia dei terreni perforati dai sondaggi ENEL nell'area geotermica di Torre Alfina* - L.Dallan Nardi et alii, 1977) [4].

- **Unità Toscana:** rappresentata da

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 5 di 68
Committente: ITW &LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>			GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>
	0			



Scaglia Toscana: si tratta dei tipici *Scisti policromi* : marne, marne calcaree, calcari marnosi micritici, argilliti siltose e argilliti marnose; lo spessore è difficilmente valutabile, esso non dovrebbe comunque superare i 150 metri.

Maiolica: calcari micritici selciferi, di colore grigio chiaro, ben stratificati; spessore dell'ordine di circa 50 m.

Diaspri: radiolariti in strati centimetrici separate da sottili livelli argillitici ;nella parte alta mostrano rapporti laterali con i Calcari ad Aptici; lo spessore si aggira in media sui 50 m.

Marne a *Posidonya*: marne e calcari marnosi rossi, sottili livelli di siltiti grigie e rosse, rari sottili livelli calcarei torbiditici Lo spessore della formazione è di circa 60 m.

Calcari Selciferi: calcari a grana fine in strati dello spessore variabile da 5 a 30 cm, con liste e noduli di selce cui seguono calcari e marne rosse e grigio verdi (Calcere Rosso Ammonitico) ed infine calcari grigio-chiari con liste di selce chiara e sottili intercalazioni di marne grigio-verdi (Calcere Selcifero Superiore) , spessore complessivo circa 200 m.

Calcere Massiccio: calcari neri e grigio-nocciola, massicci o grossolanamente stratificati, simili al Portoro (spessore circa 80 m) che passano, verso l'alto, a calcari di colore grigio chiaro, massicci o grossolanamente stratificati; spessore circa 600 m (pozzo Alfina 15); in corrispondenza del pozzo Alfina 14 lo spessore si riduce a circa 400 m.

Calcari e marne a *Rhaetavicula contorta*: è costituita da calcari neri con intercalazioni di marne grigie; in generale la frazione argilloso-marnosa è molto abbondante alla base della formazione, dove si alterna a strati calcarei neri di piccolo spessore ; procedendo verso l'alto essa diminuisce sensibilmente, sia nello spessore che nella frequenza delle intercalazioni; contemporaneamente si osserva un aumento di potenza degli strati carbonatici ed una stratificazione sempre più distinta; lo spessore intercettato da Alfina 15 raggiunge i 400 m circa.

Anidriti di Burano: alternanze di strati di anidrite e di dolomia, considerate non alterate in calcare cavernoso : spessore circa 275 m (pozzo Alfina 15).

- **Unità Umbro-Marchigiana**, intercettata dal pozzo Alfina 15 a partire dalla profondità di 3500 m, è costituita da termini in serie ridotta e condensata; il progetto non interessa le formazioni carbonatiche di questa Unità.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 6 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	Revisioni		File:	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

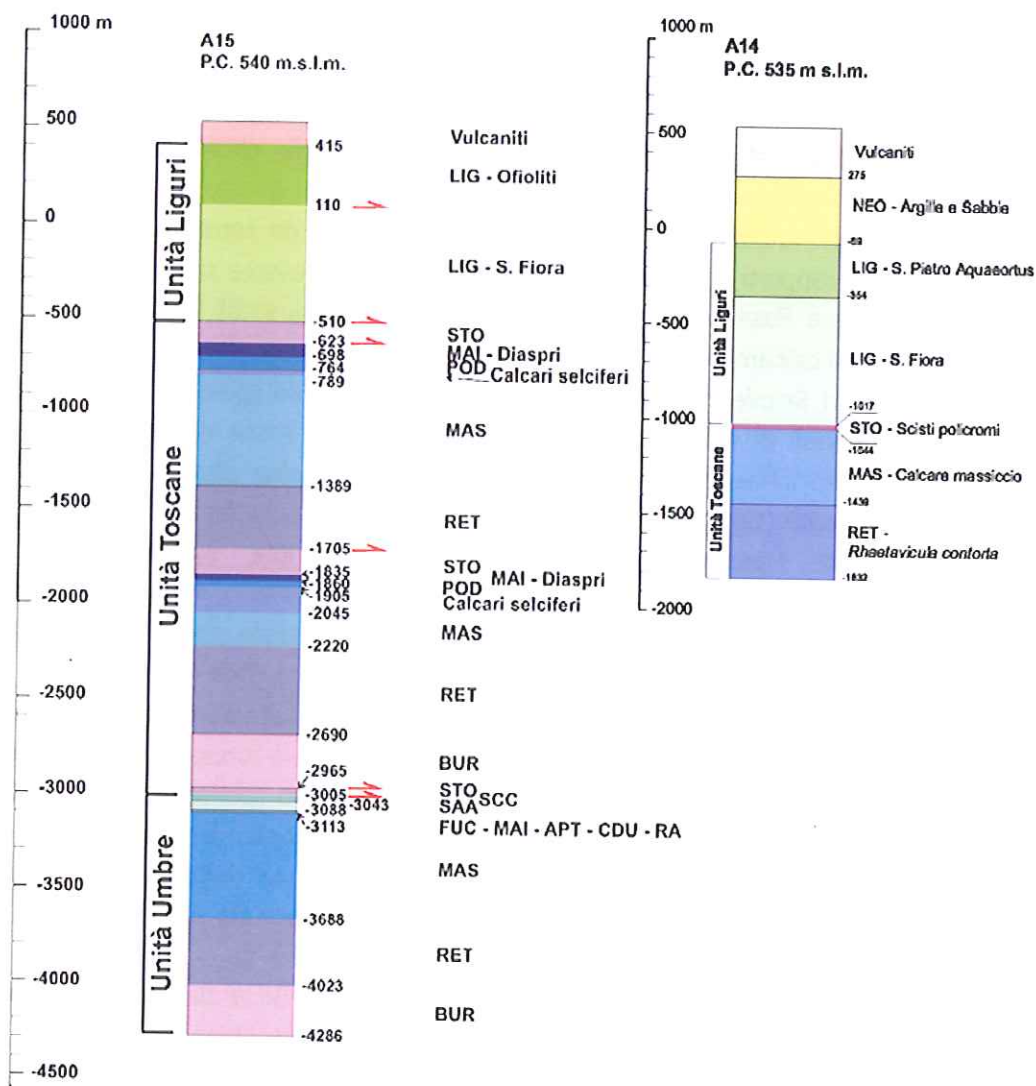
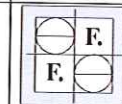


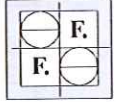
Figura 1 : Stratigrafia del pozzo Alfina 15 e del pozzo Alfina 14
 (Studio delle potenzialità geotermiche del territorio regionale Umbro – R.U. 2013- M.R. Barchi ed alii) [3]

3.2. Assetto Idrogeologico

Il serbatoio geotermico di Torre Alfina-Castel Giorgio è ospitato nei calcari appartenenti alla serie Toscana, permeabili.

Il reservoir è confinato, al tetto, da una copertura a bassissima permeabilità, costituita dai sedimenti delle Unità Liguri e del complesso neoautoctono ed alla base dalla formazione delle Anidriti di Burano; la mancanza quasi totale di manifestazioni termali e/o da manifestazioni gassose ricche in CO₂, in superficie è indicativa della "tenuta" delle formazioni di copertura; solamente poco a sud dell'abitato di Torre Alfina, in zona Solfatare, è presente una zona di emissione anomala di gas (Carapezza et alii, 2015) [5].

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 7 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



La coltre vulcanica superficiale ospita una falda di base utilizzata per scopo idropotabile.

In Figura 2 ed in Tabella 1 si riporta il profilo stratigrafico del pozzo Alfina 15 con relativi logs in pozzo e i valori registrati.

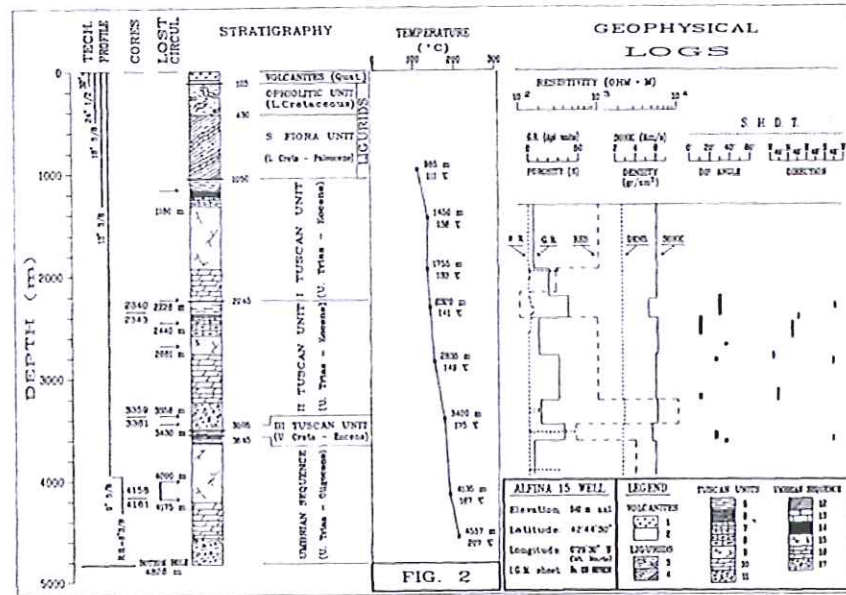


Figura 2 : Logs in pozzo (*Deep exploration in the Alfina Geothermal field (Italy) the test Hole Alfina 15*)

TECTONIC UNIT	FORMATION	G.R. (API units)	RESISTIVITY (ohm·m)	VELOCITY (km/sec)	DENSITY (g/cm ³)	POROSITY fr. FOC (%)
1st TUSCAN UNIT	CALCARE MASSICCIO	5	1000	6	2.75	0
	CALCARE RHAET. CONT.	20	300	6	2.75	0 (30) (*)
2nd TUSCAN UNIT	SCISTI POLICROMI	40	100	5.3	2.75	0 - 4
	MARNE A POSIDONIA	55	100	5	2.75	1
	CALCARI SELCIFERI	12	1000	6.1	2.75	1
	CALCARE MASSICCIO	7	1000	6.1	2.75	0
	CALCARE RHAET. CONT.	30	800	6	2.75	0
	ANIDRITI DI BURANO	13	20000	6.1	2.95	0 (10)
3rd TUSCAN UNIT	SCISTI POLICROMI	35	500	5.5	2.75	0 (40)
UMBRIAN SEQUENCE	CALCARE MASSICCIO	5	3000	6	2.75	0 (30)

(*) The values in parentheses refer to the probably fractured horizons.

Tabella 1 : Risultati dei logs geofisici eseguiti nel pozzo Alfina 15

L'esame dei logs appare utile ai fini dell'inquadramento idrogeologico delle formazioni. I terreni carbonatici della serie toscana rappresentano un complesso a resistività e velocità sonora nettamente differenziato dalle formazioni sovrastanti, con valori fino a 1000

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 8 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>			GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	File:	0	03315B01	

ohm x m e 5-6 km/s; anche il Gamma Ray caratterizza i calcari mesozoici con una netta riduzione del contenuto radioattivo (10 unità Api) rispetto a quello della Scaglia Toscana (50-unità Api), più ricche in minerali argillosi e quindi decisamente meno permeabili. I logs condotti sulla Formazione della Rhaetavicula Contorta, che rappresenta un orizzonte di transizione, sono caratterizzati da velocità di 5-6 km/s e da resistività di 300 e 800 ohm x m, con il Gamma Ray fra 20 e 30 unità API, quindi da valori riferibili a materiali di medio-bassa permeabilità.

Dalla *Relazione Tecnica Conclusiva sulla Concessione di Coltivazione "Torre Alfina"* dell'ENEL [6], risulta che le prove di produzione-reiniezione hanno confermato la buona permeabilità di insieme del complesso carbonatico che ospita il serbatoio geotermico evidenziando, nella parte alta dello stesso, la presenza di una porzione, piuttosto continua, dello spessore di circa 100 m, a maggiore permeabilità.

Nell'area di influenza del campo geotermico di Castel Giorgio, la falda delle vulcaniti si imposta, mediamente, fra m. 450 slm e m. 470 slm; tale circuitazione è sostenuta da terreni praticamente impermeabili del complesso Neoaotoceno e da sedimenti flyshoidi, di rilevante spessore, oltre 500 m, che la isolano dal campo geotermico.

Relativamente alle condizioni di ricarica del serbatoio acquifero, le aree di affioramento delle formazioni carbonatiche mesozoiche costituiscono, in generale, aree di infiltrazione delle acque meteoriche e possono essere ritenute potenziali zone di ricarica dell'acquifero sepolto costituito dai carbonati ad affinità toscana.

In base al modello idrogeologico proposto da *Buonasorte ed alii, 1988* [1] si ipotizza la continuità idrogeologica dell'acquifero carbonatico mesozoico del Monte Cetona in direzione appenninica, quindi verso la zona di Torre Alfina.

In Figura 3 è riportata la carta idrogeologica estratta dal predetto lavoro, dove è indicato l'andamento delle isopieze dell'acquifero profondo, che mettono in evidenza un deflusso da nord, quindi dagli affioramenti delle rocce carbonatiche del Monte Cetona, che dovrebbe costituire la principale, e più vicina, area di ricarica del serbatoio profondo.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 9 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

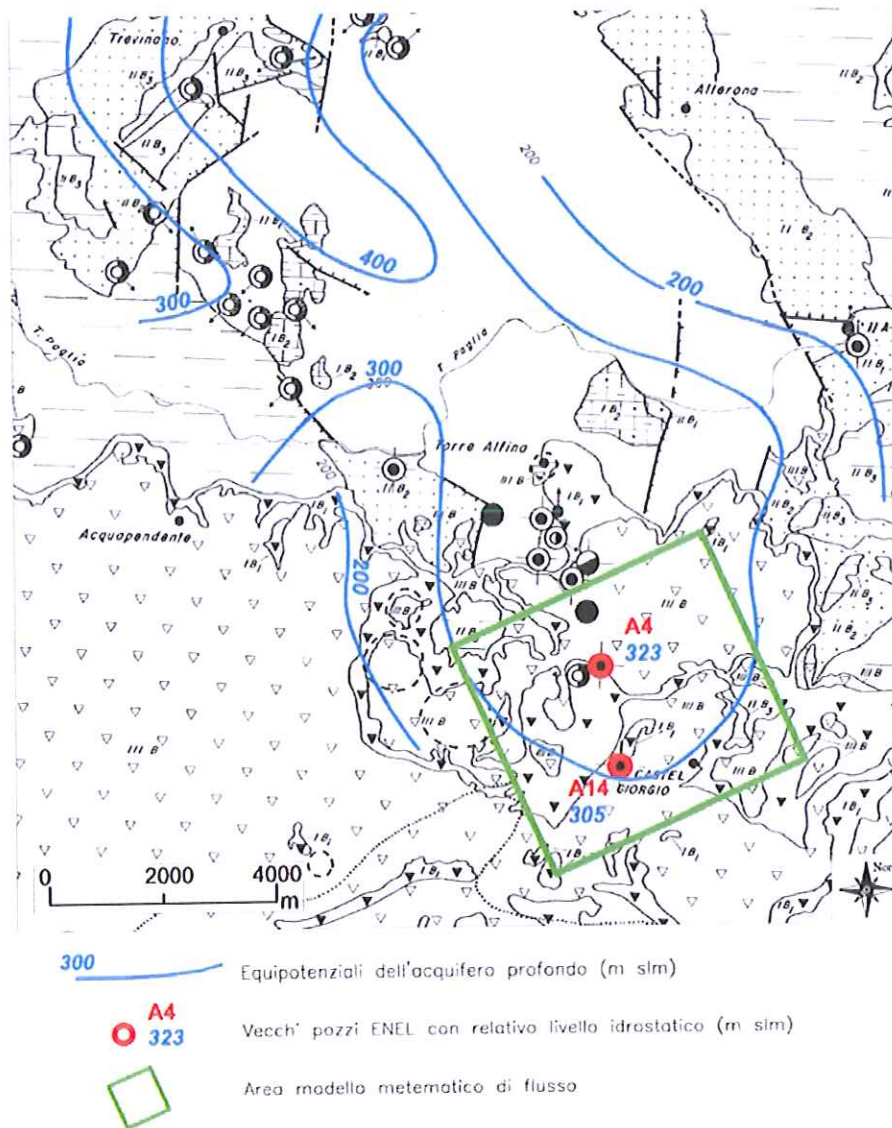
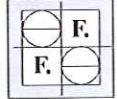


Figura 3 : Carta Idrogeologica- da Buonasorte et alii 1988

Si precisa che le quote del livello idrostatico indicate per i pozzi A14 e A4 sono state estrapolate, per quest'ultimo, dal valore della curva isopieza, che peraltro rispecchia quanto indicato da ENEL: livello acqua nel pozzo A14 alla profondità di 230 m che equivale a m. 305 slm. Per il pozzo A4, la quota è stata da noi calcolata avendo considerato un gradiente di flusso dell'1% e quindi, vista la distanza fra i due pozzi, risulta un dislivello di $1800/0.01 = 18$ m e quindi una quota di 323 m slm.

Recenti studi hanno messo in evidenza che è difficile ipotizzare una continuità idraulica tra l'anticlinale rovesciata del Monte Cetona e il sovrascorrimento sotto l'area di Torre Alfina (come ripreso dalla stratigrafia del pozzo Alfina 15). Ciò in quanto la sequenza di flysch sembrerebbe interposta e formerebbe un acquiclude di un centinaio di metri di spessore che ostacola la comunicazione idrologica diretta con il serbatoio di Torre Alfina (*Structural compartmentalisation of a geothermal system, the Torre Alfina field (central Italy)*, G.

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 10 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>
	0		03315B01	

Vignaroli et alii, 2013) [7]. In questo lavoro si riporta che la discontinuità strutturale riconosciuta nella struttura del Monte Cetona rafforza l'importanza dell'alto strutturale, orientato N-S, che collega Torre Alfina con la caldera di Bolsena come plausibile impostazione della circolazione di fluidi geotermici derivanti dalla medesima caldera (Figura 4); ciò lascerebbe intravedere un ipotetico flusso di ricarica da sud.

I tecnici di ITW LKW SpA, in base ai rilievi di temperatura e pressione, eseguiti nel 2003 da ENEL nei pozzi Alfina 4 ed Alfina 14, hanno calcolato una differenza fra la pressione misurata in Alfina14 e quella stimata in Alfina4, alla stessa profondità di 2050 m, di 0.14 MPa , pari a circa 14,3m di colonna d'acqua (a temperatura ambiente), che evidenzia un movimento del fluido geotermico da sud verso nord. Viste le quote del p.c. dei due pozzi, il livello idrostatico del fluido geotermico a 140°C si attesta in Alfina 14 a m. 409 slm ed in Alfina 4 a m. 391 slm; per maggiori dettagli si rimanda alla descrizione contenuta nella risposta alla prescrizione redatta da ITW LKW SpA.

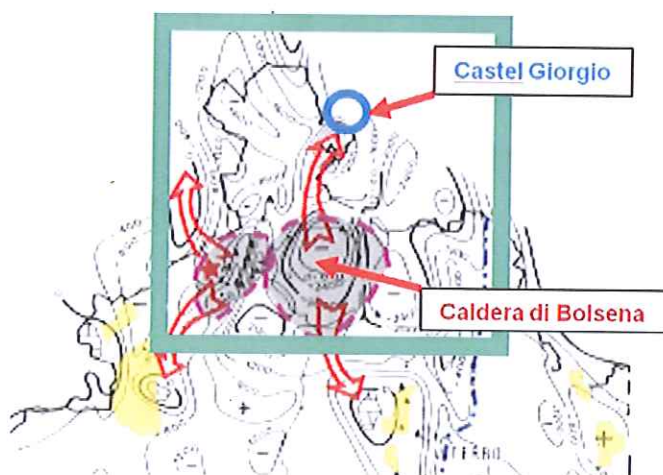
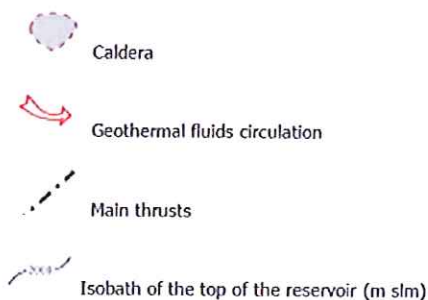
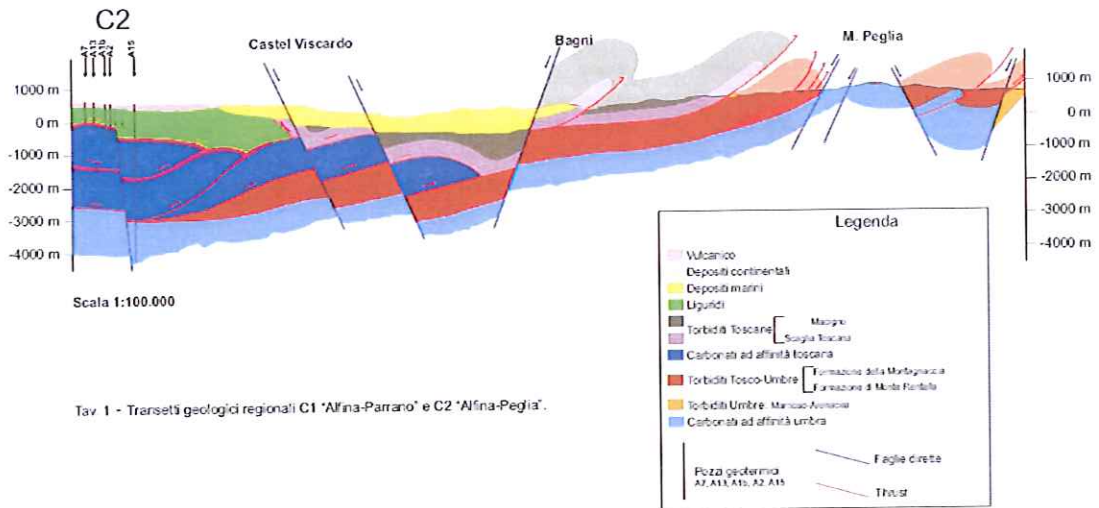


Figura 4: Ipotesi di circolazione fluidi geotermici (Vignaroli et alii, 2013)



La sezione in Figura 5 evidenzia una continuità verso est dei carbonati ad affinità toscana e quindi del serbatoio geotermico di Torre Alfina, che possono trovare una potenziale ricarica in corrispondenza degli affioramenti dei termini umbri nei rilievi orientali (Monte Peglia). In effetti, buona parte delle acque che si infiltrano nelle strutture carbonatiche del settore orientale non emergono dalle sorgenti ubicate ai bordi delle strutture stesse, ma vanno a ricaricare il sistema acquifero regionale profondo.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 11 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



Tav. 1 - Tronconi geologici regionali C1 "Alfina-Parrano" e C2 "Alfina-Peglia".

Figura 5: Troncone geologico regionale C2 "Alfina – Peglia" (*Studio delle potenzialità geotermiche del territorio regionale Umbro – R.U. 2013*)

4. MODELLO CONCETTUALE

Il primo aspetto riguarda la definizione del modello geologico del campo geotermico di Castel Giorgio, mediante la integrazione di tutte le conoscenze acquisite, che saranno elaborate secondo un criterio idrostratigrafico. L'area di studio è individuata in Figura 6.

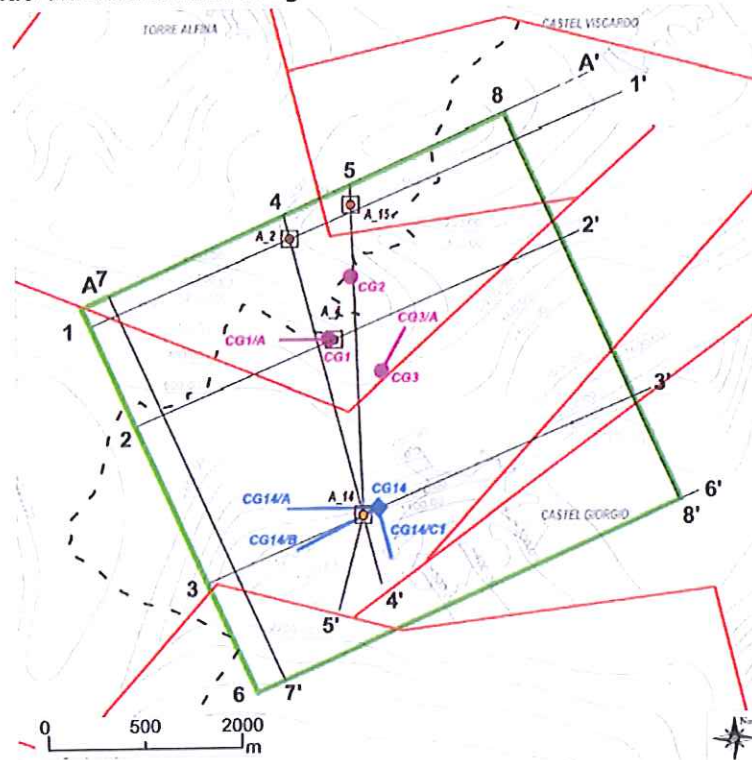
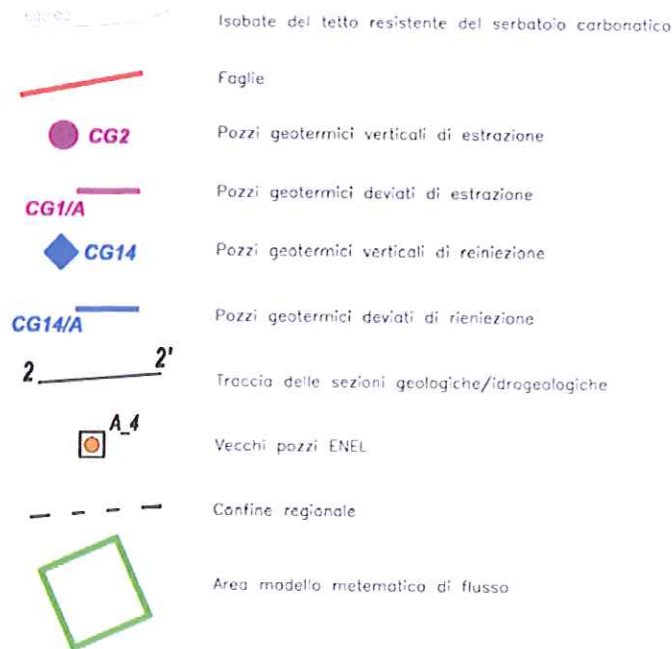
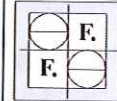


Figura 6: Area di studio con l'ubicazione dei pozzi previsti dal progetto (rosso: pozzi produttivi, blu: pozzi reiniettivi)

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 12 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



L'area di studio copre una superficie totale di circa 21 km² ed è rappresentata da un rettangolo di: 4.8 x 4.4 km; essa è identificata dalle seguenti coordinate: Sistema Gauss Boaga - Roma 40 Fuso 33N

Spigolo base Sx: X1= 2270250 m Y1 = 4731006 m

Spigolo top Dx: X2= 2272863 m Y2 = 4736995 m

Detta area è stata stabilita tenendo conto dell'esigenza di includere al suo interno i pozzi di estrazione e di reiniezione oggetto di questo studio ed una superficie circostante, necessaria per limitare il più possibile gli effetti di bordo nell'area di interesse.

La base cartografica, ripresa dal lavoro di Buonasorte ed all'1988 e da noi aggiornata per tenere conto dei dati del pozzo Alfina 15, mette in evidenza le isobate, in m. slm, del tetto del complesso resistente profondo, rappresentato dalle formazioni carbonatiche della serie toscana, che costituiscono il potenziale serbatoio geotermico. Come si noterà l'assetto risulta molto articolato, con dislivelli elevati, dell'ordine anche di 2000 m, in particolare sul bordo SW; le strutture positive, di alto strutturale, si identificano nella parte Nord dove si raggiunge la quota m. 0.00 slm (che corrisponde a circa 550 m di profondità rispetto al p.c.); tale assetto è il risultato di una tettonica distensiva di notevole importanza.

Per la ricostruzione della geometria del serbatoio, in grado di esplicitare i reciproci rapporti tra le diverse formazioni, sono state elaborate n. 8 sezioni semplificate, fino alla quota di circa - 3000 m slm. I dati stratigrafici desunti dai pozzi sono stati considerati come punti fermi ai quali sono state ancorate tutte le altre informazioni.

Lo stile tettonico di riferimento discende dalla sezione geologica locale A-A "Alfina", redatta dall'Università di Perugia, fino ad una profondità di - 7 km, che passa per il pozzo Alfina 15 e si estende da circa 3 km a SO di questo pozzo a circa 9.5 km a NE da esso (Figura 7);

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 13 di 68		
Committente: ITW &LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>			<i>File:</i> 03315B01	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 - 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>	
	0					

l'autore specifica che nella predetta sezione le faglie dirette sono state ridotte in numero, prendendo in considerazione solo quelle più importanti.

Nella elaborazione delle sezioni si è seguito un criterio idrostratigrafico al fine di mettere in evidenza i rapporti fra le varie formazioni raggruppate in complessi idrogeologici, non attribuendo alcun ruolo idrogeologico sia alle faglie dirette che ai sovrascorrimenti. E' pur vero che i rilevanti rigetti delle faglie determinano, comunque, effetti sui bordi dato che mettono a contatto i carbonati toscani con il complesso dei flysch impermeabili.

Sulla base delle caratteristiche fisiche e sedimentologiche, le varie formazioni sono state raggruppate in cinque complessi idrogeologici che, dal più superficiale al più profondo, sono rispettivamente:

- Complesso delle Vulcaniti Vulsine (V): permeabilità elevata - acquifero freatico.
- Complesso Neoautoctono e Unità Liguri (L) : bassa permeabilità - acquiclude superiore.
- Complesso dei Carbonati ad affinità Toscana (CAR) : permeabilità elevata - acquifero confinato distinto in serbatoio superiore e serbatoio inferiore.
- Complesso dei calcari e marne a Rhaetavicola Contorta (RET) : bassa permeabilità-aquitardo intermedio; seziona il complesso dei Carbonati sebbene il rigetto delle faglie dirette, talora, risulta superiore allo spessore di questo complesso e quindi può determinarsi continuità idraulica fra i due comparti del complesso dei Carbonati.
- Complesso delle anidriti di Burano (BUR) : bassa permeabilità - considerato per questo lavoro acquiclude basale.

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 14 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 - 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

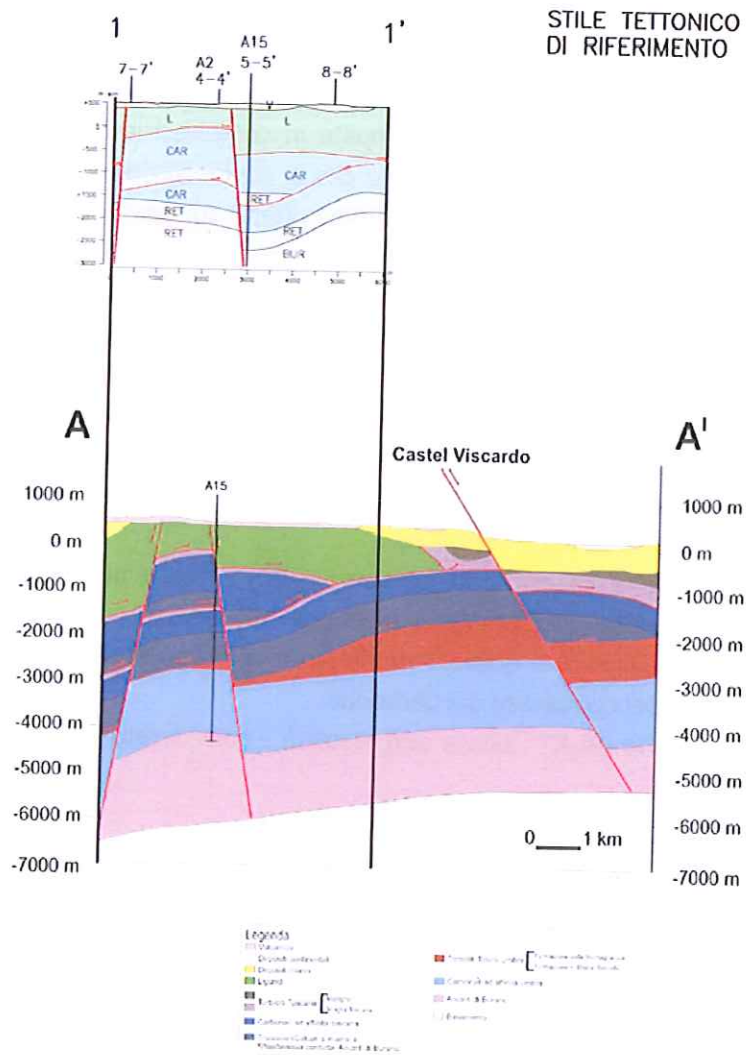


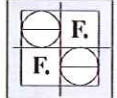
Figura 7: Sezione A-A' ripresa dal lavoro "Studio delle potenzialità geotermiche del territorio regionale Umbro - R.U. 2013 e schematizzazione dello stile tettonico - Sezione 1-1'

LEGENDA SEZIONI GEOLOGICHE/IDROGEOLOGICHE

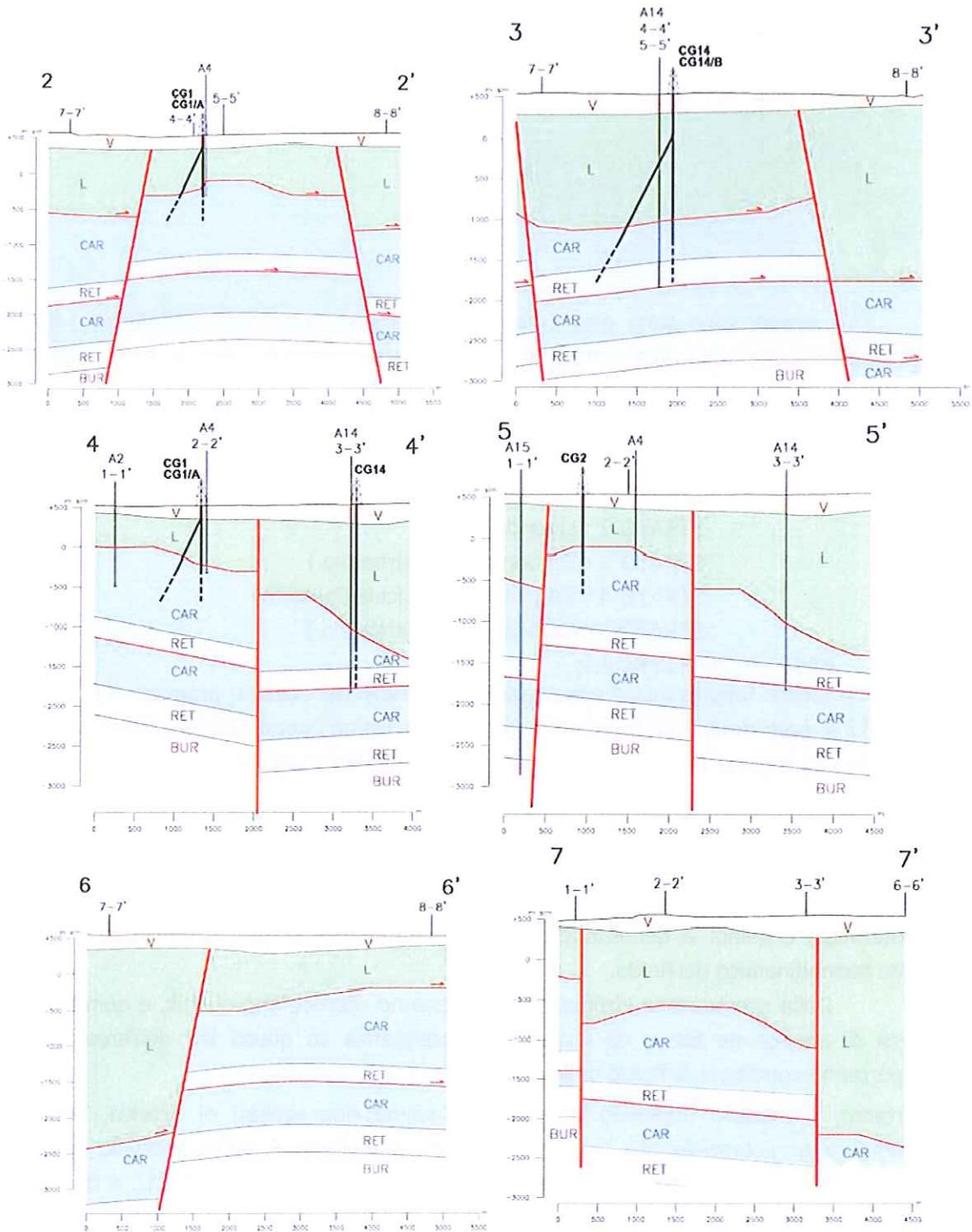
V	Complesso delle Vulcaniti Vulsine	[Red line]	Faglia
L	Complesso Neotattoneo e Unità Liguri	[Red arrow]	Sovraspaccamento
CAR	Complesso dei Carbonati ad affinità toscana e Portoro (serbatoio geotermico)	CG2	Pozzi geotermici d'estrazione
RET	Complesso dei Calcari e Marne a Rndetavicola contorta	CG14	Pozzi geotermici d'iniezione
BUR	Complesso delle Anidriti di Burano		

Relazione	Commessa:	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	-----------	-------	-------	-------------

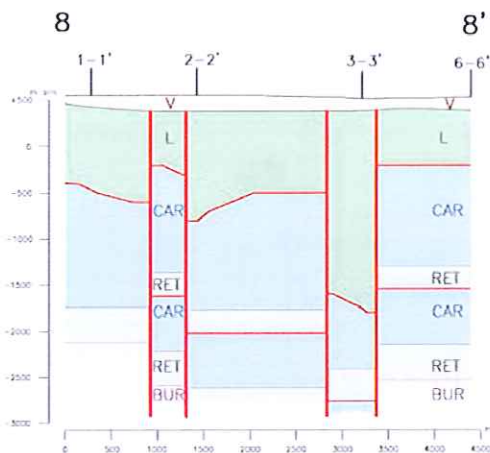
REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 15 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	Revisioni		File:	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



Si riportano, di seguito, le sezioni : 2-2'; 3-3'; 4-4'; 5-5'; 6-6' e 7-7' con indicate le tracce dei pozzi geotermici di estrazione e di reiniezione in progetto.



REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 16 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



Le sezioni sono state georeferenziate e da esse sono stati digitalizzati i limiti fra i vari complessi, che sono stati distinti in n° 5 strati sovrapposti, oltre la base, ottenendo la struttura in 3D del campo geotermico riportata in Figura 8 , estesa fino ad una quota di circa - 3000 m slm.

I complessi sono stati identificati nei seguenti n° 5 strati

- STRATO 1 : Vulcaniti
- STRATO 2 : Liguridi
- STRATO 3 : Carbonati (1° Serbatoio)
- STRATO 4 : Retico (Rhaetavicula Contorta)
- STRATO 5 : Carbonati (2° Serbatoio)

BASE : Anidridi di Burano

Vengono inoltre rappresentate nelle sezioni le verticali dei pozzi in progetto con identificate, in giallo, le parti drenanti/filtranti ed in verde sono distinti i pozzi Alfina4 e Alfina14 assunti nel modello come pozzi di osservazione. Il modello geologico ricostruito, pur con le inevitabili semplificazioni, consente di delineare l'assetto morfostrutturale complessivo, lo spessore effettivo del serbatoio carbonatico e la compartimentazione dello stesso in due serbatoi, seppur interconnessi per effetto dell'assetto strutturale. I dati idrogeologici sono ancora insufficienti per proporre una univoca ipotesi riguardo le condizioni di ricarica del serbatoio geotermico, e quindi la definizione dei livelli piezometrici, in quanto influenzati anche dallo stato termodinamico del fluido.

Dalla ricostruzione idrogeologica si possono ritenere improbabili, e quindi escludere, flussi di ricarica da Est e da Ovest; di conseguenza su questi lati dell'area di studio si imporranno condizioni di flusso nullo.

Pertanto, il modello numerico prenderà in esame due scenari di ricarica, con differenti condizioni di potenziale alla frontiera dell'area modellata: il primo modello è improntato sulla configurazione piezometrica elaborata da Buonasorte et alii, 1988 [1], e quindi prevede la ricarica dalla frontiera Nord, l'altro tiene conto dei flussi del fluido geotermico con T=140°C all'interno del serbatoio e si basa sulle quote misurate o calcolate nei pozzi di osservazione dalle quali emergere una condizione di ricarica proveniente da Sud.

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 17 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

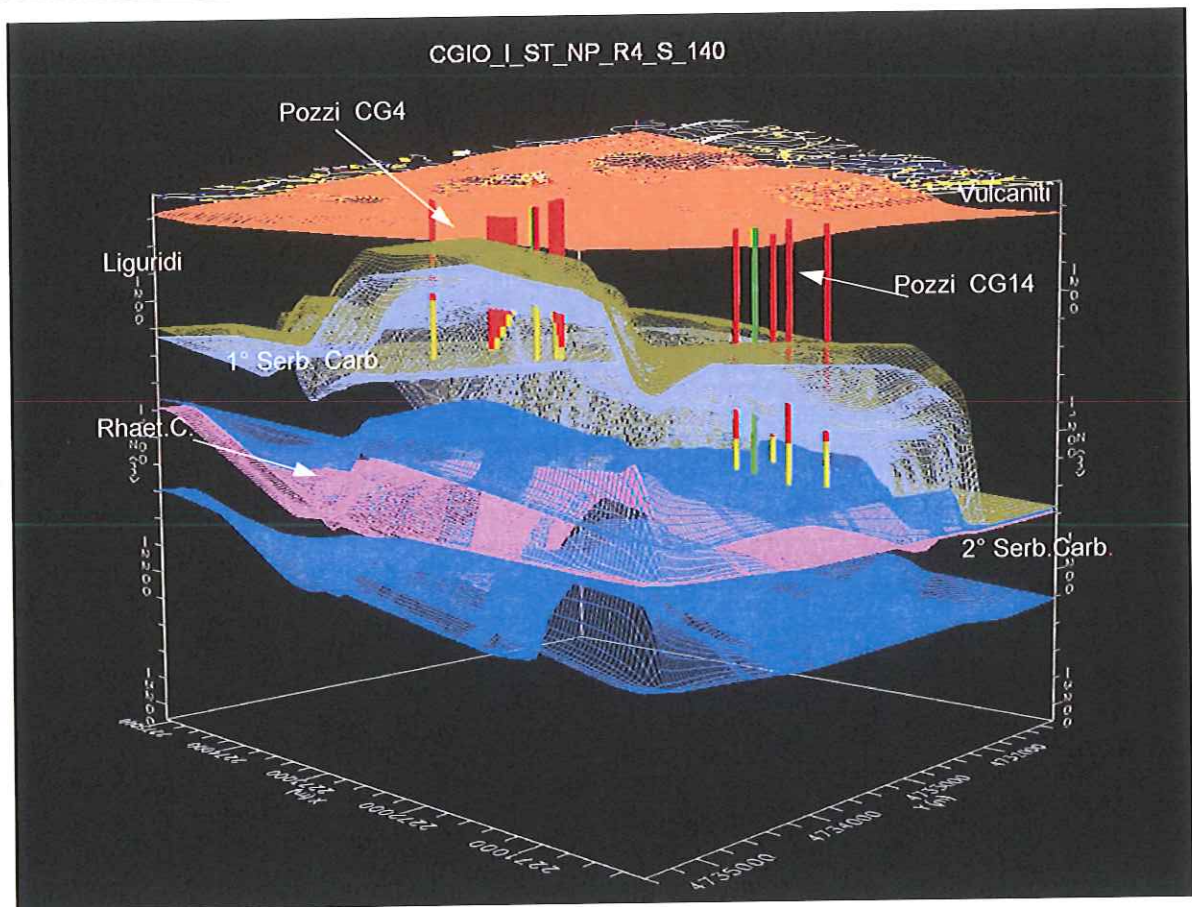
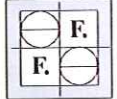


Figura 8: Modello geologico tridimensionale con individuazione di ogni strato in celle

5. MODELLO NUMERICO

5.1. Gridding di calcolo

Per lo sviluppo del modello numerico l'area di studio è stata identificata secondo una griglia di calcolo costituita da maglie quadrangolari, successivamente raffittite telesopicamente in corrispondenza dei pozzi di estrazione (CG1, CG1A, CG2, CG3, CG3A) e di reiniezione (CG14, CG14A, CG14B, CG14C).

In Figura 9 si riporta il Gridding, che rappresenta la griglia di calcolo applicata su tutti gli strati/layer, costituita per ciascuno da: Righe : N° 220; Colonne: N° 223 ; Totale celle N° 49.060.

Lo spessore verticale coperto dalla simulazione copre un ampio intervallo da – 2500 m s.l.m. a +600 m s.l.m.

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 18 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	Revisioni		File:	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 - 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

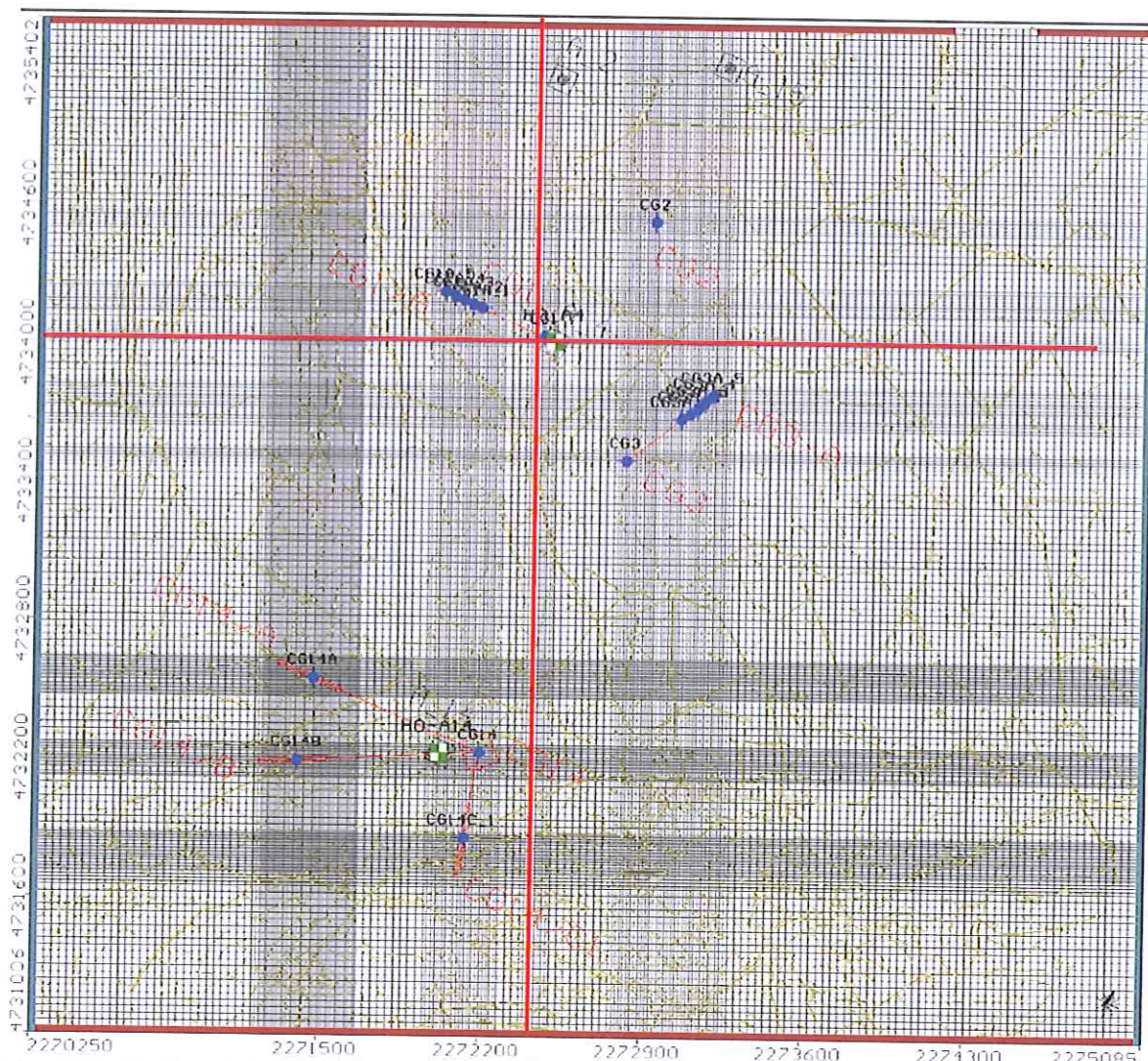
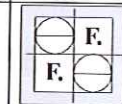
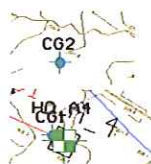


Figura 9 : Gridding di discretizzazione del dominio con individuazione della traccia delle sezioni rappresentative



B.C. : Pozzo di emungimento di progetto (non attivo) (Pump well)

Obs. : Punto di calibrazione del potenziale (Observation Head)

Si riportano, a titolo esemplificativo, alcune sezioni riprodotte nell'ambito del dominio analizzato, passanti per il pozzo Alfina 4, identificate con il relativo numero di riga o colonna del gridding ed in cui viene evidenziato l'andamento dei diversi strati (Figura 10 e 11).

Come si noterà, nell'ambito dello strato 3, riferito al serbatoio carbonatico superiore, viene identificato, con la dicitura : Layer6, il livello superiore, continuo, a più alta permeabilità dello spessore di circa 100 m.

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 19 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

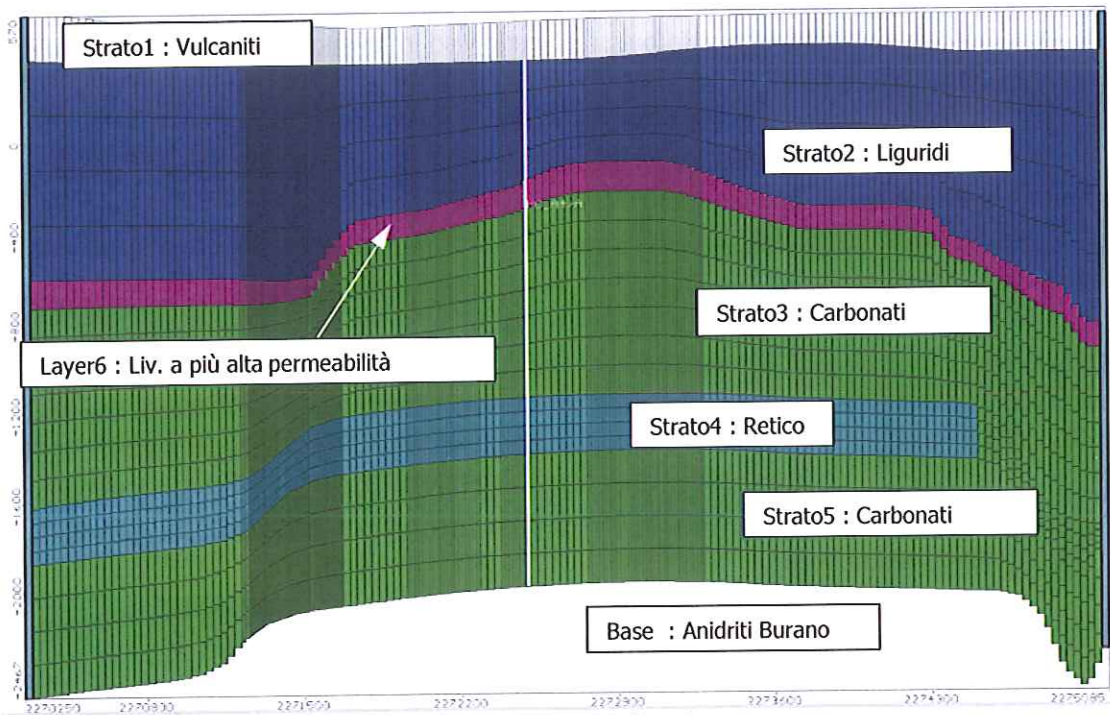
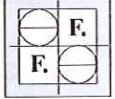


Figura 10- Sezione WSW-ENE (riga 57) passante per pozzo Alfina 4

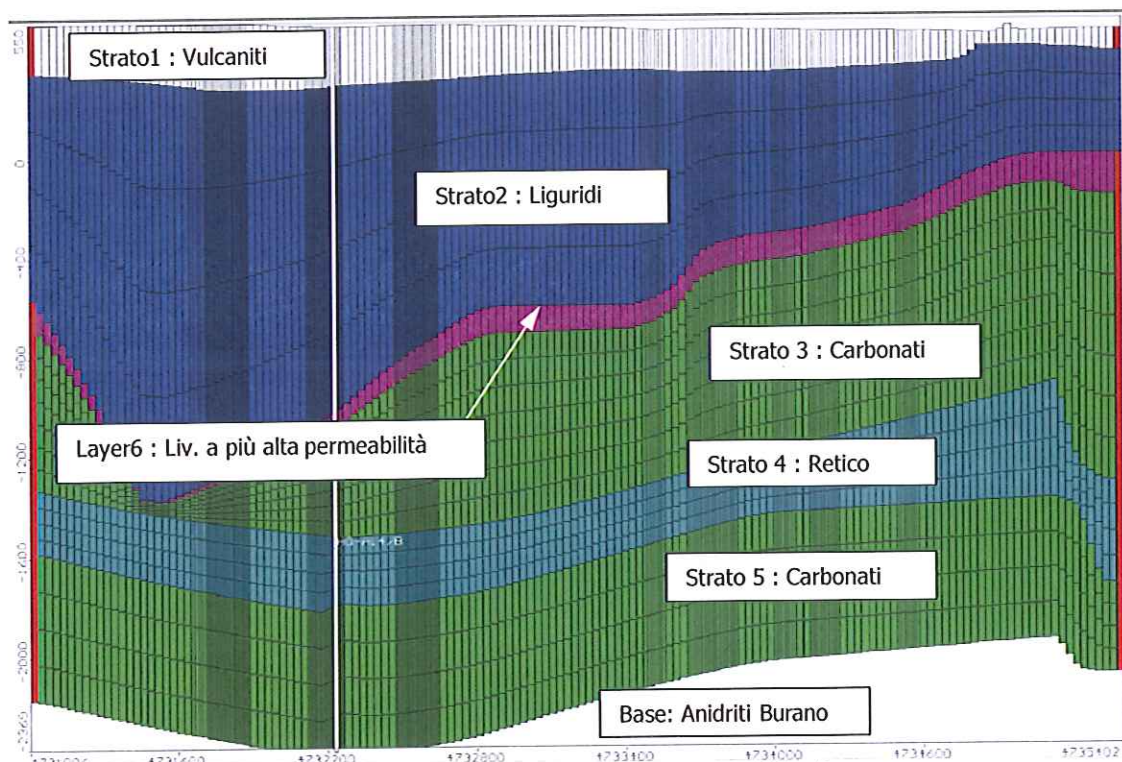


Figura 11- Sezione NNW-SSE (colonna 97 modello) passante per pozzo Alfina 4

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO					Pag 20 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	Revisioni			File:	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 - 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0			03315B01	

Successivamente, ogni strato è stato suddiviso in layers; ne sono stati elaborati n. 21 come di seguito riportato:

- Strato 1 : Complesso delle Vulcaniti Vulsine: layer 1
- Strato 2 : Complesso Neoautoctono e Unità Liguridi: n° 4 layers (2-3-4-5) dello spessore variabile fra m. 100 e m. 500 circa;
- Strato 3: Complesso dei Carbonati ad affinità Toscana, serbatoio superiore: n° 8 layers (6,7,8,9,10,11, 12,13) dello spessore medio di circa 100 m cadauno;
- Strato 4 : Complesso dei calcari e marne a Rhaetavicula Contorta, che seziona il complesso dei carbonati; il rigetto delle faglie, talora superiore allo spessore di questo complesso, determina continuità idraulica fra i due comparti del complesso dei Carbonati, distinto in n° 4 layers (14,15,16,17), dello spessore medio di circa 100 m cadauno;
- Strato 5 : Complesso dei Carbonati ad affinità Toscana, serbatoio inferiore: n 4 layers (18,19,20,21), dello spessore medio di circa 150-200 m cadauno;
- Base del modello

Pertanto, il modello ha un numero complessivo di celle di calcolo pari a:
 N° Layers : 21 x celle N° 49.060 Layer = Totale: N° 1.030.260.

5.2 Proprietà idrauliche

Ad ogni strato/layer delle celle della griglia sono stati assegnati i valori di permeabilità orizzontale e verticale ($k = m/s$) sulla base dei materiali di cui sono costituite; i valori, distinti per zone, sono riportati in Tabella 2; ogni zona si riferisce ai seguenti complessi:

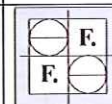
- Zona 1 Complesso delle Vulcaniti Vulsine
- Zona 2 Complesso Neoautoctono e Liguridi
- Zona 3 Complesso dei Carbonati
- Zona 4 Complesso Rhaetavicula Contorta
- Zona 5 Layer non attivo
- Zona 6 Strato superiore del complesso dei Carbonati a maggiore permeabilità - *Layer 6*

Zone	Kx [m/s]	Ky [m/s]	Kz [m/s]	Active	Distribution Array
1	2E-5	2E-5	2E-6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	1E-9	1E-9	1E-10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	4E-7	4E-7	4E-8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	1E-8	1E-8	1E-9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	1E-5	1E-5	1E-6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	4E-6	4E-6	4E-7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Hydraulic conductivity in X-direction Value = 2E-5

Tabella 2: Valori di permeabilità

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 21 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



Per caratterizzare la conduttività idraulica dei complessi che ci si trova a dover simulare, sono stati utilizzati valori ricavati dalla letteratura, generalmente relativi a misure eseguite su carote ed in diverse condizioni ambientali; inoltre sono stati considerati i valori risultanti da misure dirette: nello specifico si è fatto riferimento ai risultati delle prove condotte da ENEL sul campo geotermico di Torre Alfina ed anche ai parametri utilizzati per la redazione della "Modellazione numerica del sistema geotermico di "Torre Alfina" -2013 – [8] Allegato 3 del Progetto Definitivo, dove risulta la seguente caratterizzazione idrogeologica delle formazioni:

Vulcaniti	= 100 mD
Neogene	= 0.01 mD
Liguridi	= 0.001 mD

Serbatoio geotermico

Serie Toscana (S.T.)	divisa in tre zone:
Porzione iniziale: 100 m di spessore	= 100 mD
Parte principale	= 10 mD
Porzione profonda	= 2 mD
Evaporiti	= 0.001 mD

Si è quindi proceduto a trasformare questi dati in valori di conduttività idraulica o coefficiente di permeabilità; questa è legata alla permeabilità κ che invece non è dipendente dalle proprietà del fluido ma solo dalla struttura del mezzo poroso da cui è costituito l'acquifero, dall'espressione:

$$K = (\gamma_w / \eta) \kappa$$

dove:

γ_w = peso dell'acqua 925.93 kg/m³ - T= 140 °C

η = viscosità dinamica dell'acqua 0.196 cpoise - T= 140 °C

κ = grandezza caratteristica del solo mezzo poroso (cm²); 1 Darcy corrisponde a circa 9,87·10E-9 cm².

Pertanto, per i complessi elencati, si sono ricavati i seguenti valori del coefficiente di permeabilità K (m/s) adottati nel modello termico:

Vulcaniti	= 4.66 E-6 m/s
Neogene	= 4.66 E-10 m/s
Liguridi	= 4.66 E-11 m/s

Serie Toscana S.T

Porzione iniziale: 100 m di spessore	= 4.66 E-6 m/s
Parte principale	= 4.66 E-7 m/s

Dalla letteratura consultata è emerso quanto segue.

Nella *Relazione Tecnica Conclusiva sulla Concessione di Coltivazione "Torre Alfina" ENEL [6]*, si riporta che la simulazione del comportamento del campo, nel suo insieme, ha permesso di valutare la porosità della parte alta del serbatoio, circa 5% e la permeabilità verticale circa 0.05 x 10 E-12 m² che, applicando la precedente equazioni, equivale ad una conduttività idraulica verticale di circa 2.3 E-6 m/s; nel modello di flusso, per questo strato

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 22 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	Revisioni		File:	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

superiore del reservoir geotermico, si è assunta una $k_z = 4 \text{ E-7 m/s}$ e $K_x = k_y = 4.6 \text{ E-6 m/s}$, avendo considerato il rapporto $K_x/k_z = 2$, quando normalmente si considera pari a circa 10 volte.

Nel lavoro di *Buonasorte et alii*, 1988 [1], si utilizza, per il calcolo della drenanza, un valore medio di permeabilità per il complesso floschoide di 1 E-9 m/s .

Da altri lavori di ENEL riguardanti la zona geotermica dell'Amiata risulta, per le vulcaniti, una permeabilità assunta di 600 mD e porosità 5%; per le anidridi, che sono le rocce che ospitano il primo serbatoio, indistinto tra Bagnore e Piancastagnaio, la permeabilità assunta è stata di 100 mD e la porosità 2%. Per il serbatoio metamorfico profondo del campo di Bagnore, tra -1000 m s.l.m. e -4000 m s.l.m., caratterizzato dall'isoterma 300°C, la permeabilità è stata assunta 40 mD e la porosità 1.3%. Nel serbatoio metamorfico profondo del campo di Piancastagnaio (tra -1000 m s.l.m. e -4000 m s.l.m., caratterizzato dall'isoterma 300°C, con zone più calde, sino a 330°C) la permeabilità assegnata vale 20 mD, e la porosità 1.3%. La roccia metamorfica che circonda i due serbatoi profondi, è stata assunta di bassa permeabilità (5 mD) e con la stessa porosità 1.3%.

Nel lavoro *Numerical Simulation of The Monteverdi (Western Border The Larderello Geothermal Field)* R. Bertani e G. Cappetti, 1995 [9], relativamente al serbatoio metamorfico riportano che è stato trovato un accordo per un valore di permeabilità del reservoir di 1.3 E-14 m^2 che equivale, approssimativamente, ad una $K = 4.6 \text{ E-7 m/s}$.

Nel lavoro *Thermal Modeling of an Area West of the Mt. Amiata Geothermal Field, Italy* S. Bellani and F. Ghepardi [10] riportano valori di permeabilità che, per il reservoir, sono compresi fra 1 E-16 m^2 e 5 E-15 m^2 , ossia, approssimativamente: 4.6 E-7 m/s e 4.6 E-6 m/s .

Nel lavoro *Well Stimulation in Latera Field* di Barelli et alii, 1985 [11], si riporta, per serbatoio geotermico, un valore di permeabilità di 10 mD e porosità 1%.

Relativamente ai valori di immagazzinamento e di porosità efficace, sono stati assegnati i valori riportati nella Tabella 2 e nella sezione di Figura 12.

Zone	Ss [1/m]	Sy []	Eff. Por. []	Tot. Por. []	Active	Distribution Array
1	1E-5	0.01	0.01	0.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	2E-5	0.125	0.125	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	1E-8	0.001	0.001	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	1E-6	0.01	0.01	0.25	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	1E-8	0.001	0.001	0.25	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Specific storage Value = 1E-5

Tabella 3 - Valori di immagazzinamento attribuiti ai diversi strati (Specific Storage – Ss; Specific yield – Sy; Effective porosity -Ep; Totale porosity – Tot.por.)

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 23 di 68
Committente: ITW &LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>
	0		03315B01	

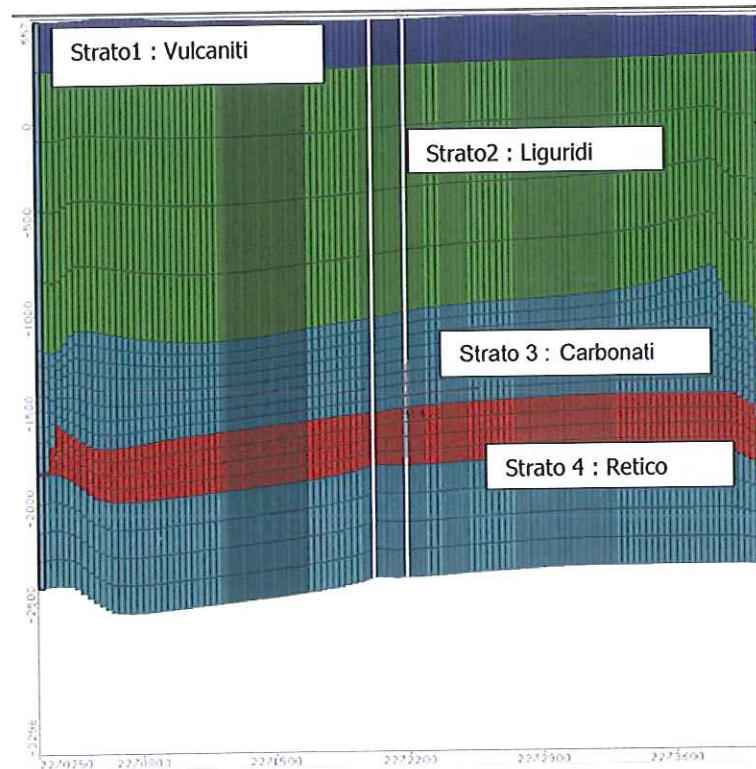


Figura 12- Sezione WSW-ENE (riga 150 modello) passante per Alfina 14 e pozzo di reiniezione CG14b

5.3. Zone Budget

Le Zone Budget sono state strutturate per valutare, in tutti gli scenari presi in esame, i flussi interni al serbatoio carbonatico, ossia le portate in ingresso dalle Boundary Conditions, gli scambi fra i poli di produzione e quelli di reiniezione ed inoltre sono state applicate per valutare gli scambi verticali con il soprastante acquifero vulcanico.

I riferimenti relativi ad ogni singola Zone Budget sono riportati nella Tabella 4; la distribuzione verticale ed orizzontale, nell'ambito del serbatoio, è riportata nelle Figure 13 e 14.

Zone	Shot Name	Description
1	Zone1	1* SERBATOIO CARBONATICO
2	Zone2	1* SERB. CARBONATICO-POLO ESTRAZIONE
3	Zone3	1* SERB. CARBONATICO-POLO REINIEZIONE
4	Zone4	UNITA-LIGURIDI
5	Zone5	RHAET.CONTORTA-RETICO-MARNOSO
6	Zone6	VULCANITI
7	Zone7	2* SERBATOIO CARBONATICO
8	Zone8	1* SERB. CARBONATICO_INFLOW-SUD
9	Zone9	1* SERB. CARBONATICO_OUTFLOW-NORD
10	Zone10	N/A
11	Zone11	1* SERB. CARBONATICO ZONA CONNESSIONE TRA POLI ESTRAZIONE-REINIEZIONE

Tabella 4: Data base individuazione Zone Budget

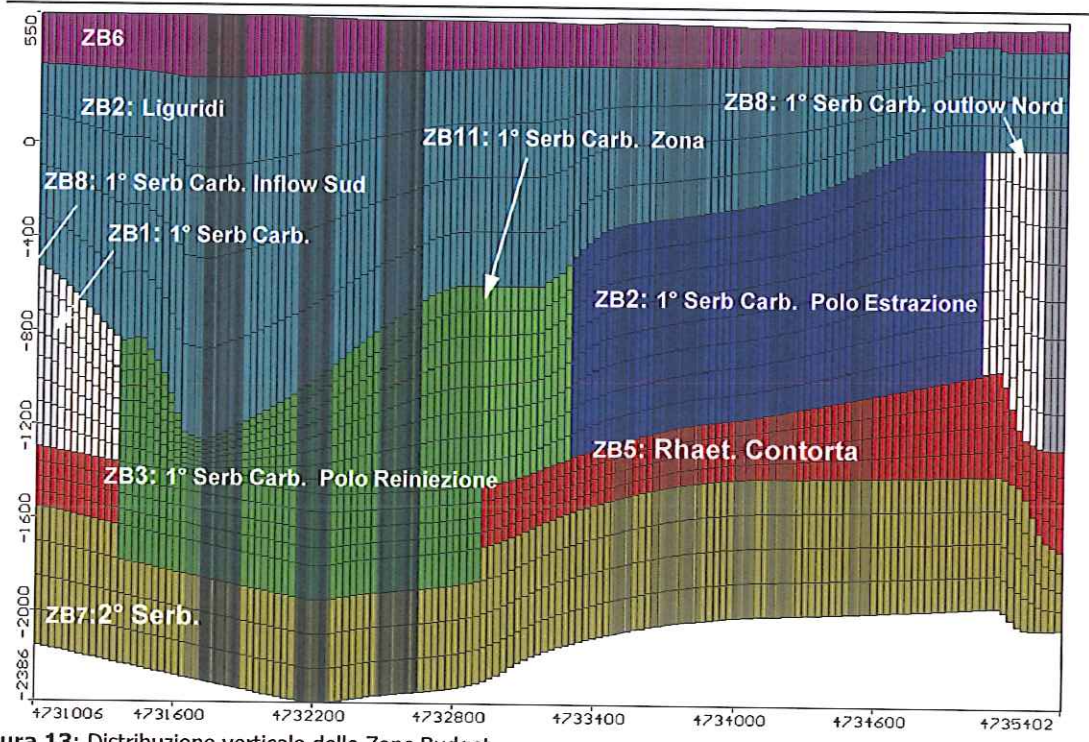
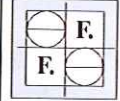


Figura 13: Distribuzione verticale delle Zone Budget

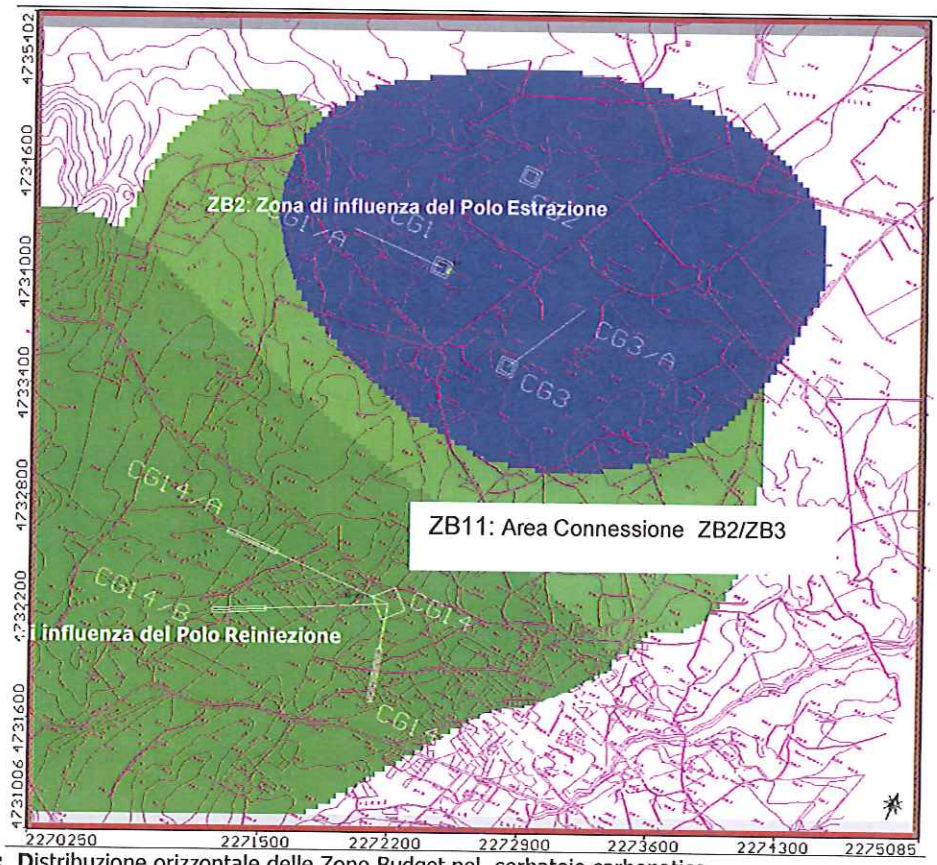
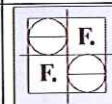


Figura 14: Distribuzione orizzontale delle Zone Budget nel serbatoio carbonatico

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO					Pag 25 di 68	
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>			<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecnastudioassociato@virgilio.it</i>	
	0			03315B01		



5.4 Forzanti del sistema

Le forzanti del sistema sono rappresentate dalle portate di estrazione da parte dei pozzi di produzione, pozzi verticali/deviati CG1/CG1A e CG3/CG3A, e dai pozzi di reiniezione, così come previsto in progetto.

In Tabella 5 si fornisce il computo delle portate di progetto dei pozzi di estrazione; si specifica che i pozzi deviati : CG1A, CG3A, sono stati simulati con n° 5 pozzi affiancati, con punto di emungimento posto alla quota e distanza dalla verticale prevista in progetto, ognuno con portata pari a 1/5 della portata totale: -1008 mc/d (42 t/h).

ESTRAZIONE							
ID	QUOTA PC	PROF SCREEN	QUOTA SCREEN		PORTATA		
	<i>m slm</i>	<i>m</i>	<i>m slm</i>		<i>t/h</i>	<i>l/s</i>	<i>mc/d</i>
CG1	526	800	-274		210	58.3	-5040
		1200		-674			
CG1A	<i>m slm</i>	<i>m</i>	<i>m slm</i>		<i>t/h</i>	<i>l/s</i>	<i>mc/d</i>
	526	800	-274		42	11.7	-1008
		880	-354	-354			
		960	-434	-434			
		1040	-514	-514			
		1120	-594	-594			
	1200		-674				
CG2	535	800	-265		210	58.3	-5040
		1200		-665			
CG3	540	800	-260		210	58.3	-5040
		1200		-660			
CG3A	540	800	-260		42	11.7	-1008
		880	-340	-340			
		960	-420	-420			
		1040	-500	-500			
		1120	-580	-580			
		1200		-660			

Tabella 5- Pozzi di estrazione

In Figura 15 si riporta la schematizzazione del pozzo verticale introdotta nel modello, con parte filtrante inserita da quota – 665 m a – 265 m slm.

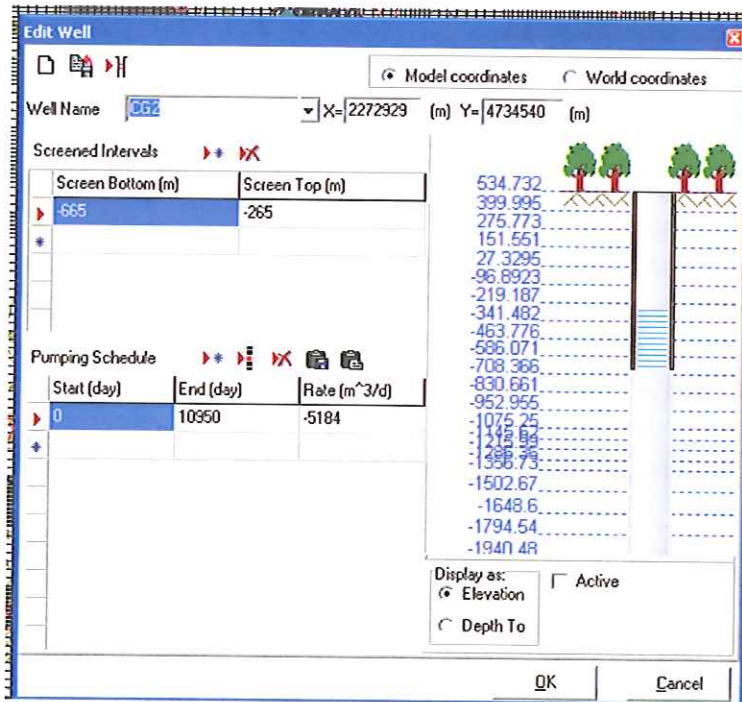
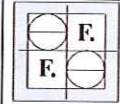


Figura 15 – Pozzo verticale CG2

In Figura 16 si riporta la schematizzazione di uno dei n. 5 tratti in cui è stato sezionato il pozzo deviato.

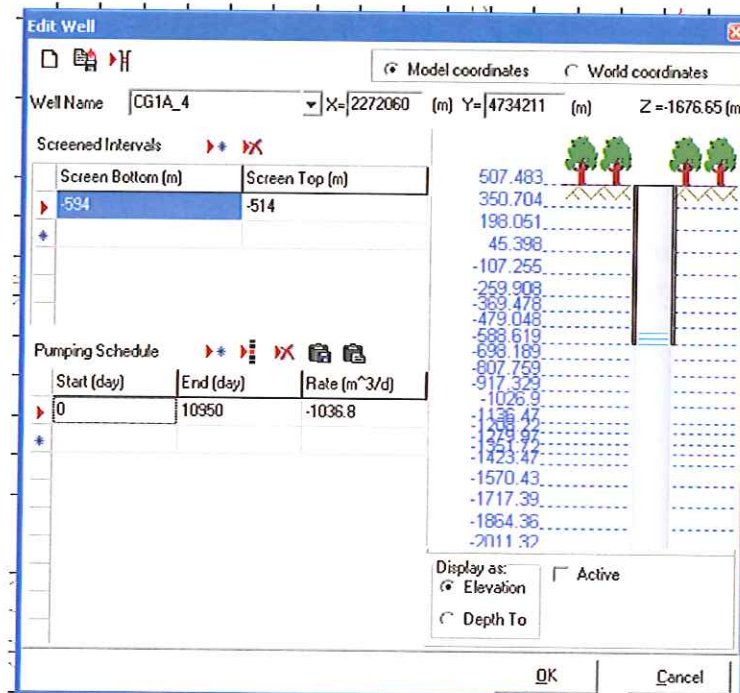
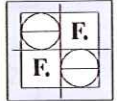


Figura 16 – Pozzo deviato CG14A_4

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 27 di 68	
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>	
	0		03315B01		



In Tabella 6 si fornisce il computo delle portate dei pozzi di reiniezione; si specifica che le operazioni di reiniezione previste nel progetto geotermico Castel Giorgio non prevedono alcuna pressurizzazione della testa pozzo.

REINIEZIONE							
ID	QUOTA PC	PROF SCREEN	QUOTA SCREEN		PORTATA TOTALE 1050 t/h		
	<i>m slm</i>	<i>m</i>	<i>m slm</i>		<i>t/h</i>	<i>l/s</i>	<i>mc/d</i>
CG14 - CG14 A, CG14B, CG14C	537	1800		-1263	262.5	73	6300
		2300		-1763			

Tabella 6 – Pozzi di reiniezione

In questo caso, i pozzi deviati sono stati simulati con altrettanti pozzi verticali, ubicati in posizione baricentrica rispetto allo sviluppo del tratto open hole, con estensione della parte filtrante compresa nell'intervallo di profondità m. 1800/2300 corrispondente a un intervallo di quota fra m. -1263 e m. -1763 slm (Figura 17) .

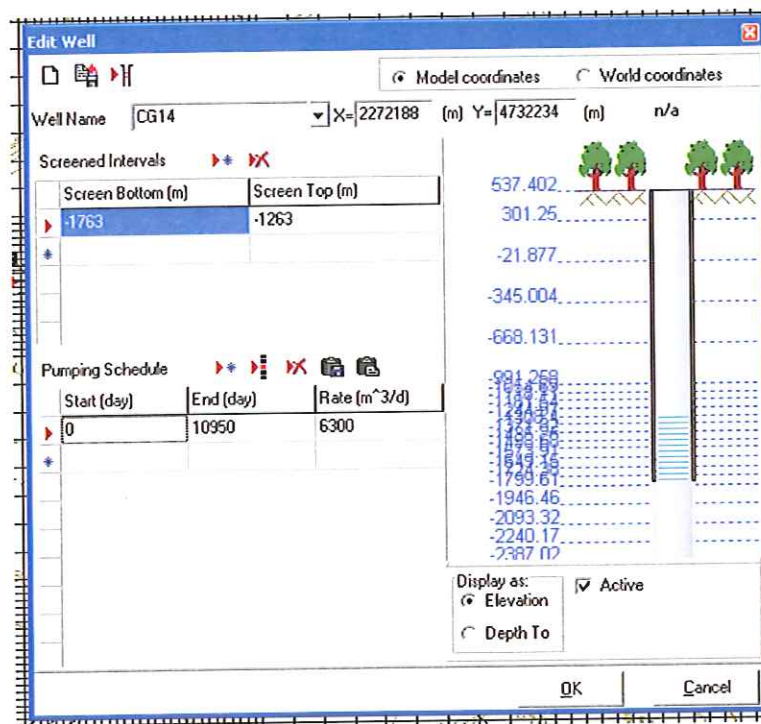
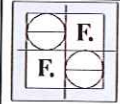


Figura 17 – Pozzo di reiniezione verticale/deviato

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 28 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> tel +39 0763 344669 e.mail geotecnastudioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



6. FLUSSO DI RICARICA DALLA FRONTIERA NORD

6.1. Condizioni al contorno - BOUNDARY CONDITIONS (B.C.)

6.1.1. Complesso delle vulcaniti Vulsine

Per quanto attiene le condizioni di ricarica si è assunto, sulla base di precedenti studi, un valore della infiltrazione efficace di 230 mm/anno, distribuita sul Layer 1.

Inoltre, in relazione alla configurazione piezometrica indicata in Figura 18, sono state attribuite le condizioni di potenziale imposto (C.H.) di seguito riportate:

Constant Head ingresso Nord : *da m. 500 slm a m 465 slm*

Constant Head uscita Sud : *da m. 455 slm a m. 430 slm*

Inactive Flow : *lungo i margini orientale ed occidentale : Cond. Flusso Nullo*

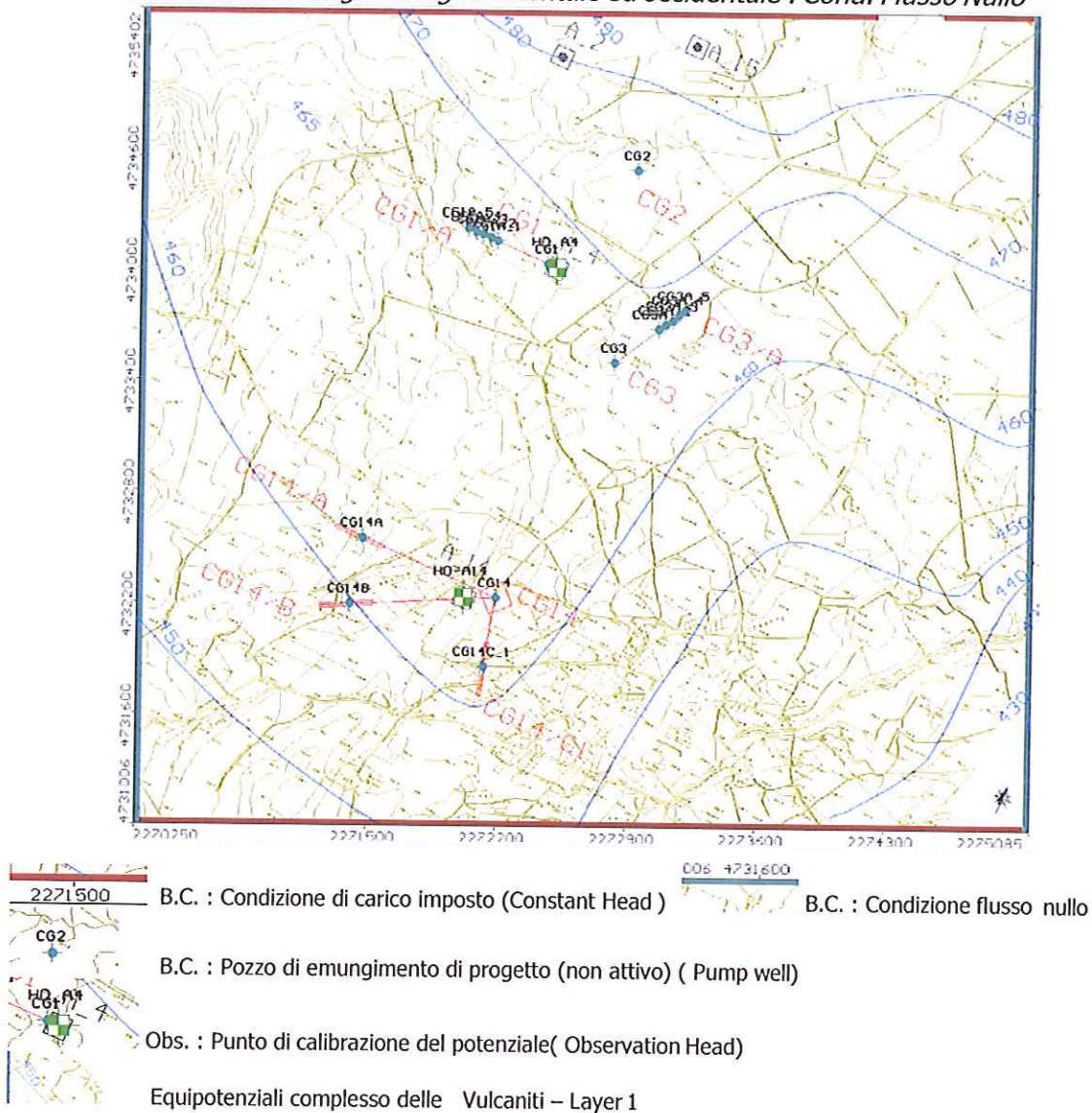
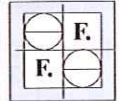


Figura 18 : Boundary Conditions del Complesso delle Vulcaniti

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 29 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecnastudioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



6.1.2. Complesso dei carbonati

Con riferimento alle quote dei livelli idrostatici nei pozzi di osservazione Alfina 14 e Alfina 4, rispettivamente a m. 305 slm ed a m. 323 slm , per cui si determinerebbe un flusso da nord verso sud, sono state attribuite, dopo la fase di calibrazione, le condizioni di potenziale imposto (C.H.) di seguito riportate (Figura 19):

Constant Head ingresso Sud : *potenziale imposto = m. 335 slm*

Constant Head uscita Nord : *potenziale imposto = m. 270 slm*

Inactive Flow : lungo i margini orientale ed occidentale : Cond. Flusso Nullo

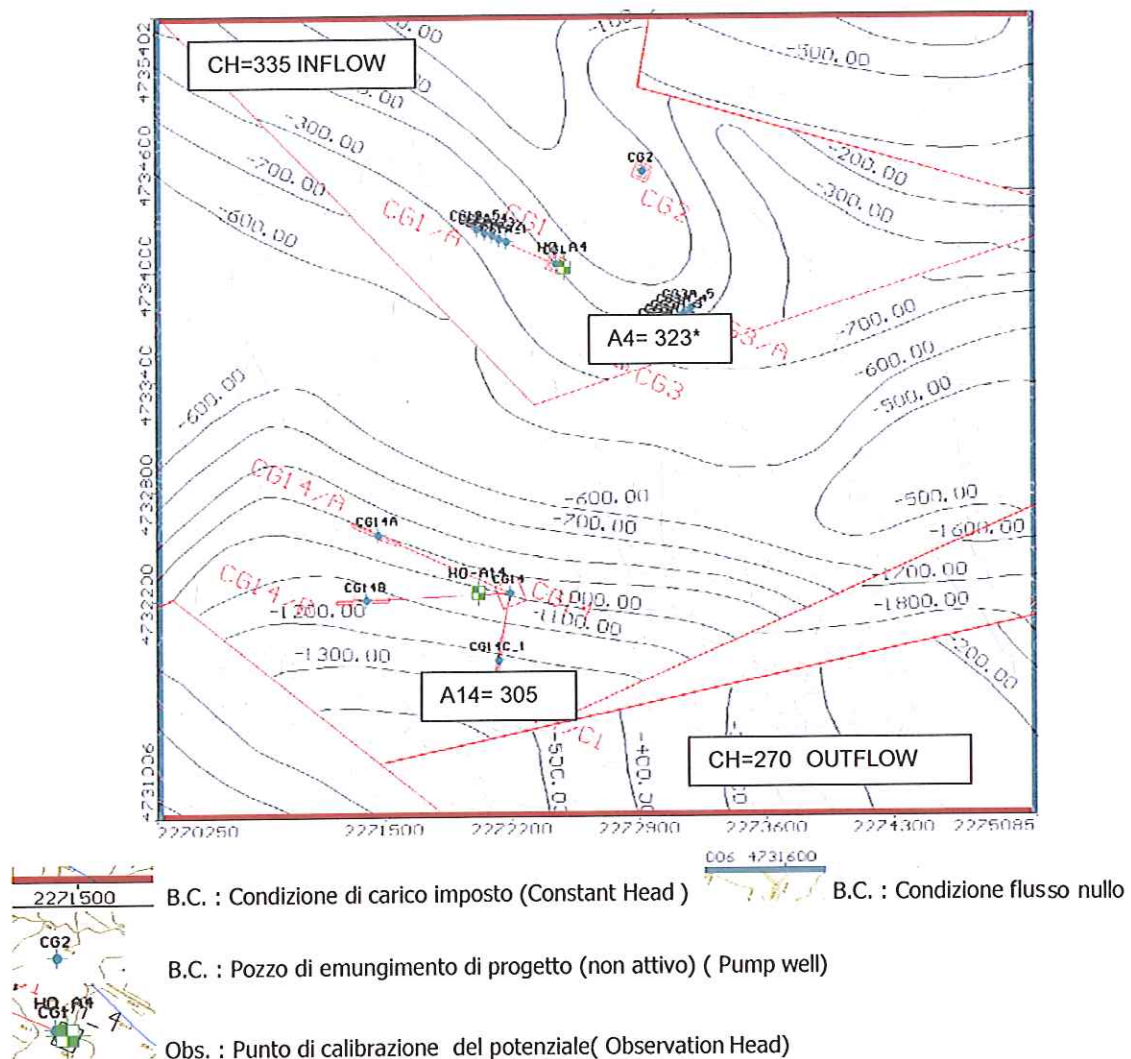


Figura 19 – Boundary Conditions del serbatoio carbonatico superiore – Riferimento Layer6

Con le proprietà fisiche attribuite ai diversi complessi e con le condizioni al contorno precedentemente definite sono state effettuate una serie di run al fine di conseguire una adeguata calibrazione rispetto ai potenziali individuati nei pozzi di osservazione .

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 31 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

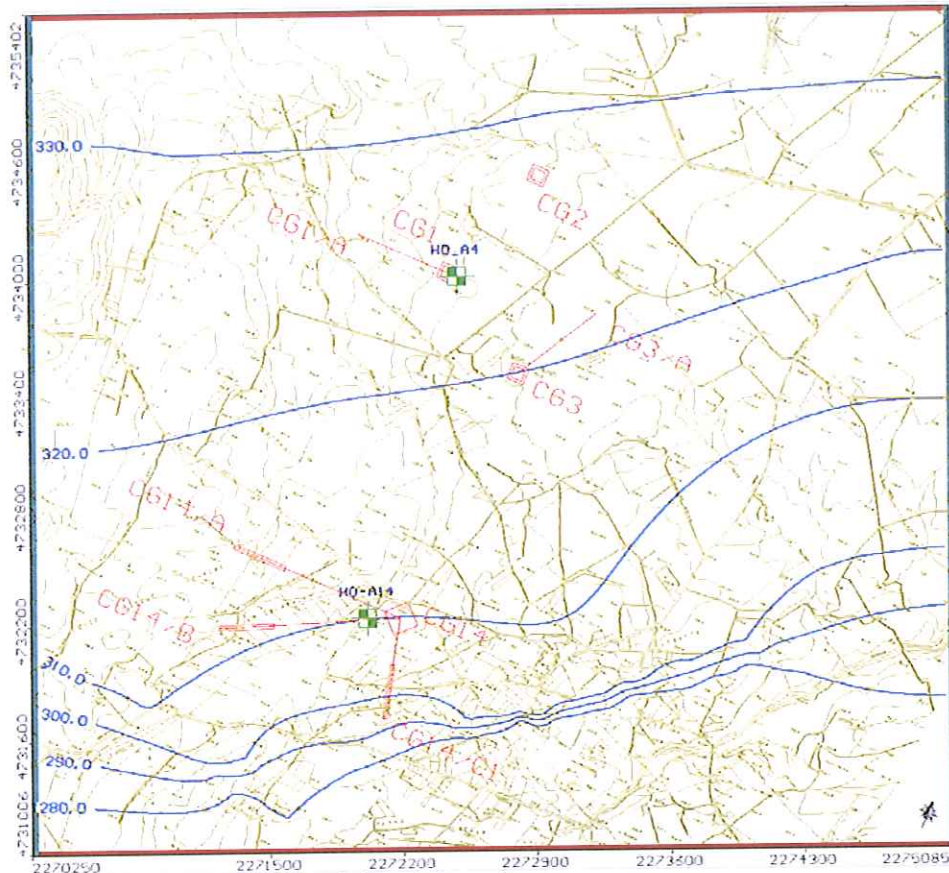
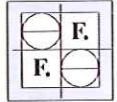


Figura 21 Piezometria di calibrazione – Riferimento Layer 6



Equipotenziali , con quota in m. slm

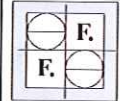
La superficie piezometrica, con deflusso da nord verso sud, fino al pozzo verticale CG14 risulta abbastanza regolare ad indicare una buona omogeneità del sistema; successivamente le isopieze si raggruppano repentinamente in risposta alla presenza di una riduzione della trasmissività del serbatoio.

La simulazione valuta una portata naturale in ingresso al serbatoio carbonatico dalla frontiera Nord, di 2629 mc/d , ossia 30 l/s (Tabella 6) ed in uscita, dalla frontiera Sud, di 2552 mc/d, ossia 29.5 l/s (Tabella 6A).

Gli scambi verticali naturali fra il complesso acquifero delle vulcaniti e quello sottostante delle liguridi, e quindi verso il sottostante serbatoio carbonatico, risultano di 32 mc/giorno, ossia 0.3 l/s (Tabella 6B).

Il differenziale tra ingresso ed uscita nell'ambito del primo serbatoio carbonatico, tramite le frontiere Nord e Sud (Tabella 6 e 6A), deriva dallo scambio verticale verso il secondo serbatoio di circa 72.6 mc/g = 0.85 l/s.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 32 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 - 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecnastudioassociato@virgilio.it</i>
	0		03315B01	



Zone Budget Output - Flow

Stress Period: 1 Zone #: Zone 9 First Time

Time Step: 1 Short Name: Zone9 Last Time

Time (days): 11000000 Zone # linked to the pointer

Inflow	Outflow
Storage = 0.00 m ³ /day	Storage = 0.00 m ³ /day
Constant Head = 2629.00 m³/day	Constant Head = 0.22 m ³ /day
Wells = 0.00 m ³ /day	Wells = 0.00 m ³ /day
Drains = 0.00 m ³ /day	Drains = 0.00 m ³ /day
Recharge = 0.00 m ³ /day	Recharge = 0.00 m ³ /day
ET = 0.00 m ³ /day	ET = 0.00 m ³ /day
River Leakage = 0.00 m ³ /day	River Leakage = 0.00 m ³ /day
Stream Leakage = 0.00 m ³ /day	Stream Leakage = 0.00 m ³ /day
General Head = 0.00 m ³ /day	General Head = 0.00 m ³ /day
Zone 1 to 9 = 0.00 m ³ /day	Zone 9 to 1 = 2629.70 m ³ /day
Zone 4 to 9 = 0.67 m ³ /day	Zone 9 to 4 = 0.00 m ³ /day
Zone 5 to 9 = 0.32 m ³ /day	Zone 9 to 5 = 0.05 m ³ /day
Total IN = 2630.00 m³/day	Total OUT = 2630.00 m³/day

Zone9

Difference
IN - OUT = -1.6949E-5 m³/day
Percent Discrepancy = 0%

Tabella 6- Bilancio relativo alla portata naturale di ingresso da Nord

Zone Budget Output - Flow

Stress Period: 1 Zone #: Zone 8 First Time

Time Step: 1 Short Name: Zone8 Last Time

Time (days): 11000000 Zone # linked to the pointer

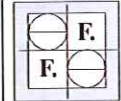
Inflow	Outflow
Storage = 0.00 m ³ /day	Storage = 0.00 m ³ /day
Constant Head = 0.00 m ³ /day	Constant Head = 2552.10 m³/day
Wells = 0.00 m ³ /day	Wells = 0.00 m ³ /day
Drains = 0.00 m ³ /day	Drains = 0.00 m ³ /day
Recharge = 0.00 m ³ /day	Recharge = 0.00 m ³ /day
ET = 0.00 m ³ /day	ET = 0.00 m ³ /day
River Leakage = 0.00 m ³ /day	River Leakage = 0.00 m ³ /day
Stream Leakage = 0.00 m ³ /day	Stream Leakage = 0.00 m ³ /day
General Head = 0.00 m ³ /day	General Head = 0.00 m ³ /day
Zone 1 to 8 = 2423.80 m ³ /day	Zone 8 to 1 = 0.00 m ³ /day
Zone 3 to 8 = 127.36 m ³ /day	Zone 8 to 3 = 0.00 m ³ /day
Zone 4 to 8 = 1.13 m ³ /day	Zone 8 to 4 = 0.00 m ³ /day
Zone 5 to 8 = 0.16 m ³ /day	Zone 8 to 5 = 0.27 m ³ /day
Total IN = 2552.40 m³/day	Total OUT = 2552.40 m³/day

Zone8

Difference
IN - OUT = -2.8421E-6 m³/day
Percent Discrepancy = 0%

Tabella 6A- Bilancio relativo alla portata naturale in uscita da Sud

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 33 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecnastudioassociato@virgilio.it</i>
	0		03315B01	



Zone Budget Output - Flow

Stress Period: 1 Zone #: Zone 4 First Time
Time Step: 1 Short Name: Zone4 Last Time
Time (days): 11000000 Zone # linked to the pointer

Inflow	Outflow
Storage = 0.00 m ³ /day	Storage = 0.00 m ³ /day
Constant Head = 0.00 m ³ /day	Constant Head = 0.00 m ³ /day
Wells = 0.00 m ³ /day	Wells = 0.00 m ³ /day
Drains = 0.00 m ³ /day	Drains = 0.00 m ³ /day
Recharge = 0.00 m ³ /day	Recharge = 0.00 m ³ /day
ET = 0.00 m ³ /day	ET = 0.00 m ³ /day
River Leakage = 0.00 m ³ /day	River Leakage = 0.00 m ³ /day
Stream Leakage = 0.00 m ³ /day	Stream Leakage = 0.00 m ³ /day
General-Head = 0.00 m ³ /day	General-Head = 0.00 m ³ /day
Zone 1 to 4 = 0.00 m ³ /day	Zone 4 to 1 = 12.56 m ³ /day
Zone 2 to 4 = 0.00 m ³ /day	Zone 4 to 2 = 8.97 m ³ /day
Zone 3 to 4 = 0.00 m ³ /day	Zone 4 to 3 = 5.74 m ³ /day
Zone 6 to 4 = 32.15 m³/day	Zone 4 to 6 = 0.00 m ³ /day
Zone 8 to 4 = 0.00 m ³ /day	Zone 4 to 8 = 1.13 m ³ /day
Zone 9 to 4 = 0.00 m ³ /day	Zone 4 to 9 = 0.67 m ³ /day
Zone 11 to 4 = 0.00 m ³ /day	Zone 4 to 11 = 3.09 m ³ /day
Total IN = 32.15 m³/day	Total OUT = 32.15 m³/day

Zone4
Difference
IN - OUT = -4.0605E-6 m³/day
Percent Discrepancy = 0%

Tabella 6B- Bilancio relativo agli scambi verticali naturali con il complesso delle vulcaniti

6.2. PREVISIONE DEGLI EFFETTI

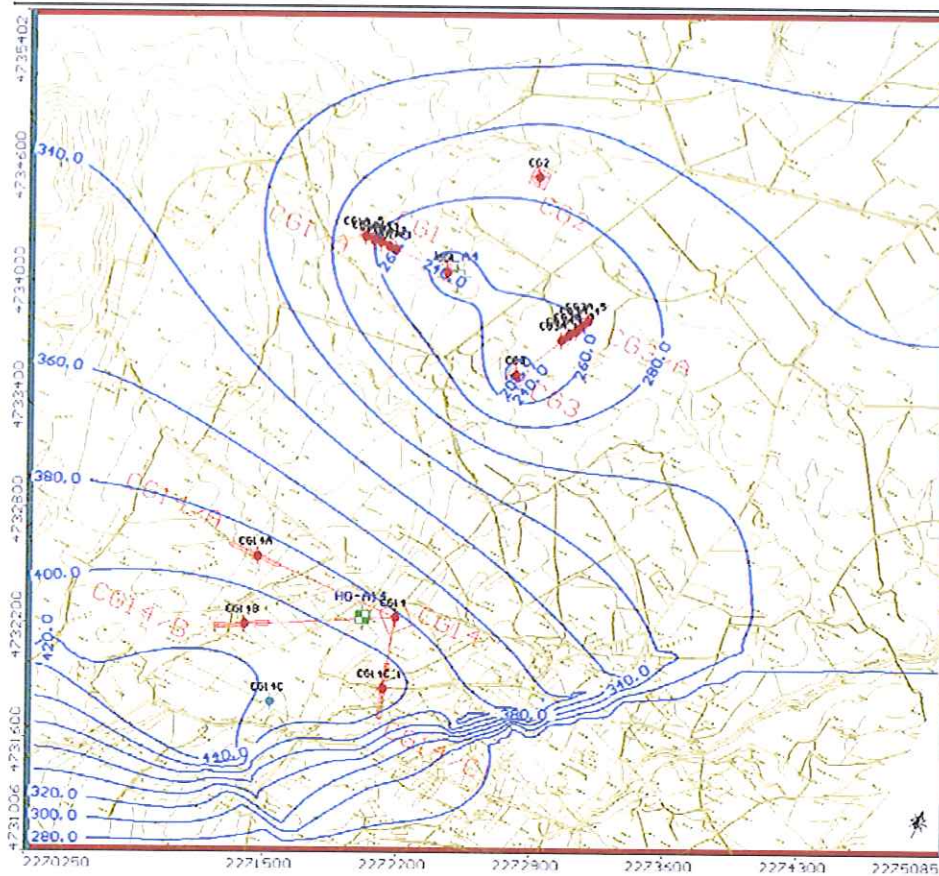
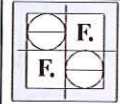
6.2.1. Condizioni stazionarie

Il modello di flusso calibrato è stato implementato inserendo le forzanti predette, dapprima in condizioni stazionarie, che risultano rappresentative di un regime medio del sistema modellato.

Oltre alle condizioni al contorno precedentemente illustrate per la calibrazione è stata impostata una condizione di carico iniziale derivata dai risultati del run di calibrazione per l'acquisizione della distribuzione dei potenziali nei diversi layer in modo tale da permettere la valutazione degli abbassamenti rispetto alle condizioni attuali.

In Figura 22 sono riportate le equipotenziali calcolate dal modello per il layer 6.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 34 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>
	0		03315B01	



Pozzi attivi



Equipotenziali nell'ambito del Layer 6, con quota in m. slm

Figura 22 – Equipotenziali nell'ambito del 1° serbatoio carbonatico – Riferimento Layer 6

La morfologia piezometrica evidenzia una depressione centrata sul polo di produzione con inviluppo a quota 240 m slm e minimo in corrispondenza del pozzo CG1 fino a m. 200 slm. In corrispondenza del polo reiniettivo si evidenzia un alto piezometrico, con massimo sul pozzo CG14C1, fino a circa 440 slm; mediamente l'innalzamento raggiunge quota m. 400 slm.

In Figura 23 A,B e C si riportano le pathlines, rispettivamente a 730 giorni (2 anni), a 1825 giorni (5 anni) ed a 10950 giorni (30 anni) ottenute avendo assegnato delle particles in corrispondenza dei dreni dei singoli pozzi tipologicamente orientate in "avanti", per i pozzi di reiniezione, ed "all'indietro" per quelli di estrazione.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 35 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecnastudioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

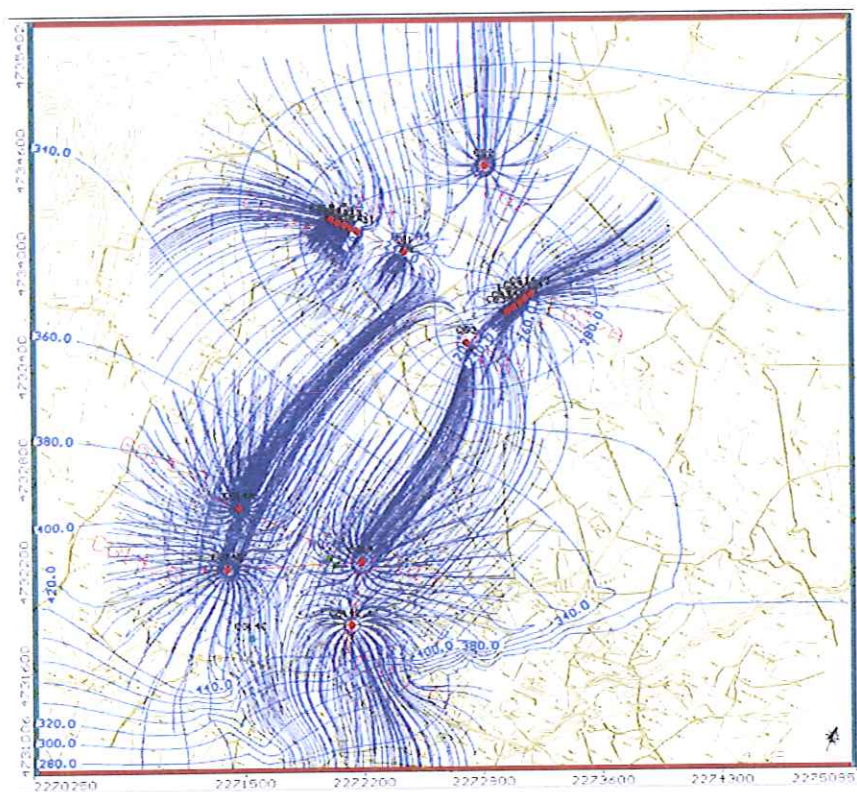
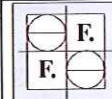


Figura 23A – Pathline a 730 giorni (2 anni) dalla entrata in esercizio

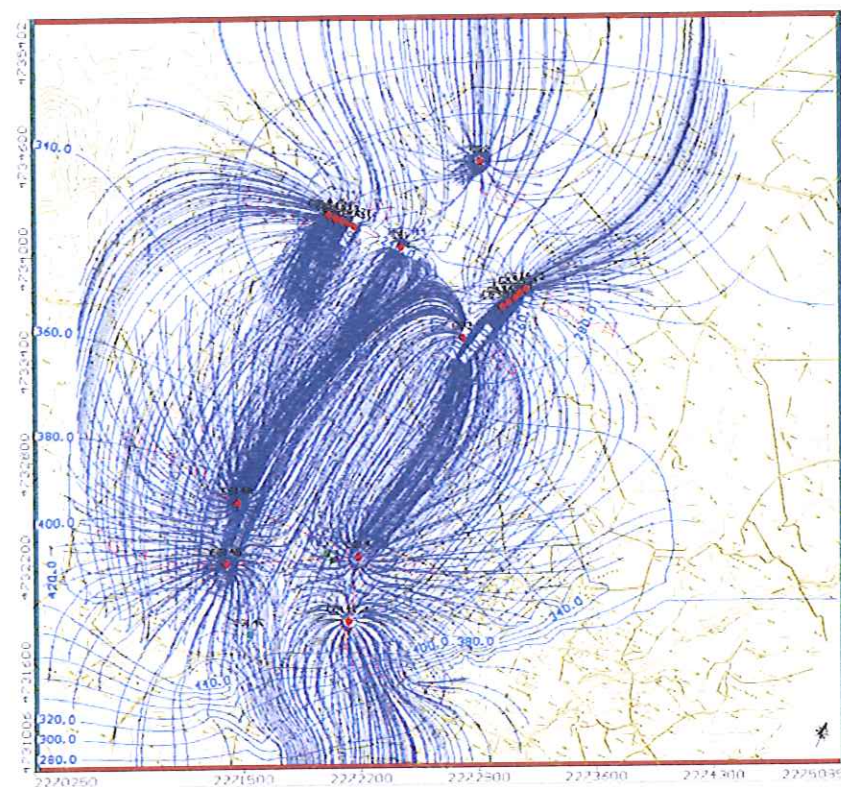


Figura 23B – Pathline a 1825 giorni (5 anni) dalla entrata in esercizio

<i>Relazione</i>	<i>Commessa :</i>	03315	<i>Data:</i>	Giugno 2015
------------------	-------------------	-------	--------------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 36 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 - 03018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>
	0		03315B01	

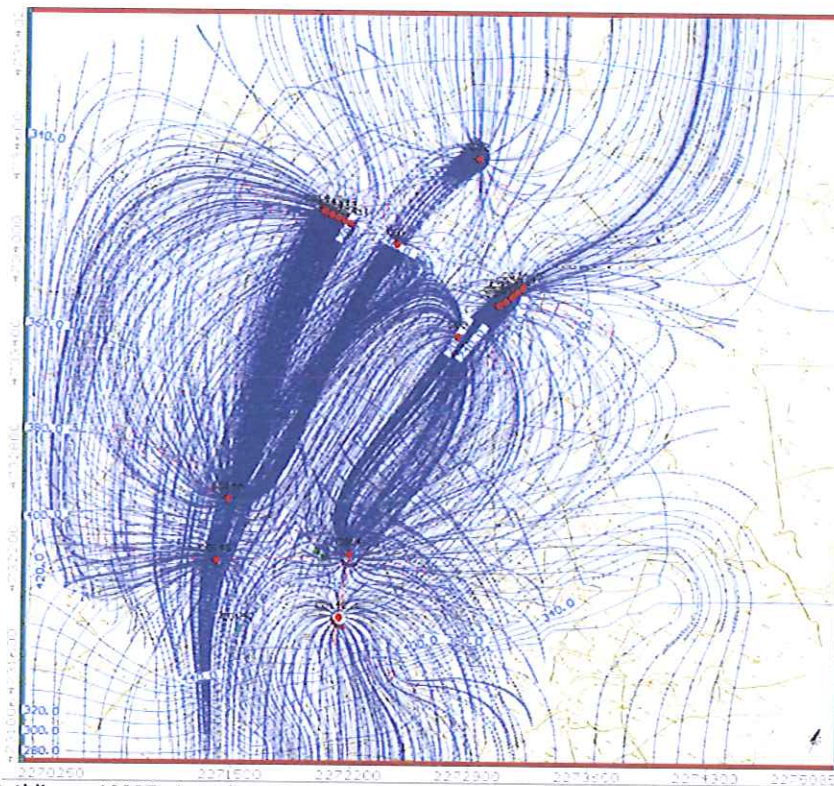


Figura 23C – Pathline a 10925 giorni (30 anni) dalla entrata in esercizio

Il bilancio che risulta dalle Zone Budget evidenzia che a fronte di una portata di estrazione di 25200 mc/d (Tabella 7), il fluido ricircolato tramite i pozzi di reiniezione (Tabella 7A) e che raggiunge, tramite la zona di connessione (Tabella 7B), i pozzi di estrazione è 16457 mc/d, quindi circa 65% di quanto estratto; il restante 35% viene fornito dalle condizioni al contorno.

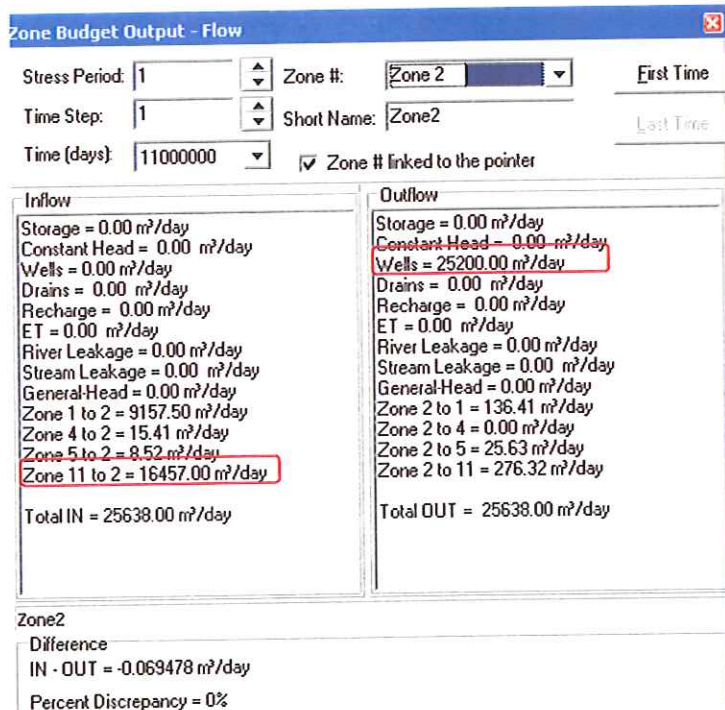
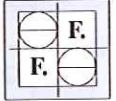


Tabella 7- Bilancio relativo al polo di estrazione

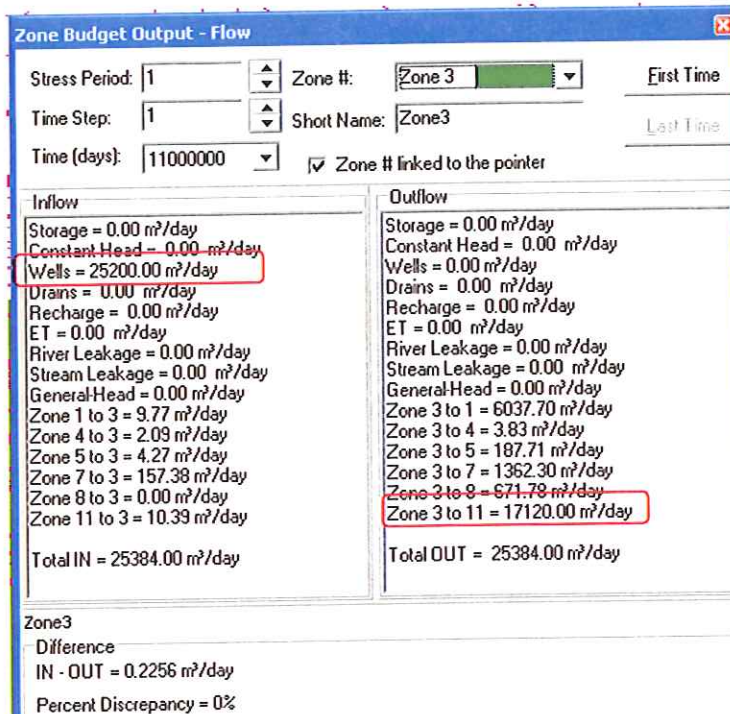
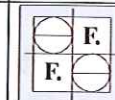


Tabella 7A- Bilancio relativo al polo di reiniezione

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 38 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 - 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>
	0		03315B01	



Zone Budget Output - Flow

Stress Period: 1 Zone #: Zone 11 First Time

Time Step: 1 Short Name: Zone11 Last Time

Time (days): 11000000 Zone # linked to the pointer

Inflow	Outflow
Storage = 0.00 m ³ /day	Storage = 0.00 m ³ /day
Constant Head = 0.00 m ³ /day	Constant Head = 0.00 m ³ /day
Wells = 0.00 m ³ /day	Wells = 0.00 m ³ /day
Drains = 0.00 m ³ /day	Drains = 0.00 m ³ /day
Recharge = 0.00 m ³ /day	Recharge = 0.00 m ³ /day
ET = 0.00 m ³ /day	ET = 0.00 m ³ /day
River Leakage = 0.00 m ³ /day	River Leakage = 0.00 m ³ /day
Stream Leakage = 0.00 m ³ /day	Stream Leakage = 0.00 m ³ /day
General Head = 0.00 m ³ /day	General Head = 0.00 m ³ /day
Zone 1 to 11 = 1438.40 m ³ /day	Zone 11 to 1 = 2317.00 m ³ /day
Zone 2 to 11 = 276.32 m ³ /day	Zone 11 to 2 = 16457.00 m ³ /day
Zone 3 to 11 = 17120.00 m ³ /day	Zone 11 to 3 = 10.33 m ³ /day
Zone 4 to 11 = 3.09 m ³ /day	Zone 11 to 4 = 0.01 m ³ /day
Zone 5 to 11 = 0.01 m ³ /day	Zone 11 to 5 = 53.60 m ³ /day
Total IN = 18838.00 m³/day	Total OUT = 18838.00 m³/day

Zone11
Difference
IN - OUT = -0.067906 m³/day
Percent Discrepancy = 0%

Tabella 7B- Bilancio relativo alla zona di connessione fra i due poli

In regime di esercizio le condizioni al contorno subiscono una modifica per sopperire al deficit del polo estrattivo.

Il C.H. Sud agisce solo come estrazione del fluido dal sistema(Tabella 8) ; infatti, rispetto allo stato naturale di calibrazione, risulta un rafforzamento della funzione estrattiva dal limite (C.H Sud) che passa da una portata di - 2552.1 mc/d a - 7465.1 mc/d, con un differenziale di -4913 mc/d = 56.8 l/s .

Il C.H. Nord rafforza la propria funzione di alimentazione, seppur con parziale funzione di estrazione derivante dal flusso reiniettivo, passando da una portata, in condizioni naturali di calibrazione, di 2629 mc/d ad una portata netta in ingresso nel dominio pari a 8835.8 mc/d con differenziale positivo rispetto alle condizioni di calibrazione di + 6206.8 mc/d = 71.8 l/s (Tabella 8A).

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO
DENOMINATO CASTEL GIORGIO**

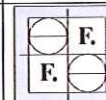
Pag
39 di 68

Committente:
ITW & LKW
GEOTERMIA ITALIA
SpA

Revisioni

File:

GEOTECNA studio associato
Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)
tel +39 0763 344669
e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it



0

03315B01

Zone Budget Output - Flow

Stress Period: 1 Zone #: Zone 8 First Time

Time Step: 1 Short Name: Zone8 Last Time

Time (days): 11000000 Zone # linked to the pointer

Inflow	Outflow
Storage = 0.00 m ³ /day	Storage = 0.00 m ³ /day
Constant Head = 0.00 m ³ /day	Constant Head = 7465.10 m ³ /day
Wells = 0.00 m ³ /day	Wells = 0.00 m ³ /day
Drains = 0.00 m ³ /day	Drains = 0.00 m ³ /day
Recharge = 0.00 m ³ /day	Recharge = 0.00 m ³ /day
ET = 0.00 m ³ /day	ET = 0.00 m ³ /day
River Leakage = 0.00 m ³ /day	River Leakage = 0.00 m ³ /day
Stream Leakage = 0.00 m ³ /day	Stream Leakage = 0.00 m ³ /day
General-Head = 0.00 m ³ /day	General-Head = 0.00 m ³ /day
Zone 1 to 8 = 6792.40 m ³ /day	Zone 8 to 1 = 0.00 m ³ /day
Zone 3 to 8 = 671.78 m ³ /day	Zone 8 to 3 = 0.00 m ³ /day
Zone 4 to 8 = 1.54 m ³ /day	Zone 8 to 4 = 0.00 m ³ /day
Zone 5 to 8 = 1.05 m ³ /day	Zone 8 to 5 = 1.69 m ³ /day
Total IN = 7466.80 m³/day	Total OUT = 7466.80 m³/day

Zone8
Difference
IN - OUT = -0.023571 m³/day
Percent Discrepancy = 0%

Tabella 8: Condizione al limite Sud (C.H. Sud)

Zone Budget Output - Flow

Stress Period: 1 Zone #: Zone 9 First Time

Time Step: 1 Short Name: Zone9 Last Time

Time (days): 11000000 Zone # linked to the pointer

Inflow	Outflow
Storage = 0.00 m ³ /day	Storage = 0.00 m ³ /day
Constant Head = 9543.80 m ³ /day	Constant Head = 708.03 m ³ /day
Wells = 0.00 m ³ /day	Wells = 0.00 m ³ /day
Drains = 0.00 m ³ /day	Drains = 0.00 m ³ /day
Recharge = 0.00 m ³ /day	Recharge = 0.00 m ³ /day
ET = 0.00 m ³ /day	ET = 0.00 m ³ /day
River Leakage = 0.00 m ³ /day	River Leakage = 0.00 m ³ /day
Stream Leakage = 0.00 m ³ /day	Stream Leakage = 0.00 m ³ /day
General-Head = 0.00 m ³ /day	General-Head = 0.00 m ³ /day
Zone 1 to 9 = 713.24 m ³ /day	Zone 9 to 1 = 9550.00 m ³ /day
Zone 4 to 9 = 0.42 m ³ /day	Zone 9 to 4 = 0.00 m ³ /day
Zone 5 to 9 = 0.58 m ³ /day	Zone 9 to 5 = 0.05 m ³ /day
Total IN = 10258.00 m³/day	Total OUT = 10258.00 m³/day

Zone9
Difference
IN - OUT = -0.067413 m³/day
Percent Discrepancy = 0%

Tabella 8A: Condizione al limite Nord (C.H. Nord)

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 40 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	Revisioni		File:	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 - 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

Al fine di evidenziare eventuali variazioni degli scambi verticali da e/o verso, il complesso delle vulcaniti ospitante l'acquifero superficiale, viene riportato, in Tabella 9 il bilancio relativo alla Zona 4 – complesso delle Liguridi avente solo funzione di scambio – che evidenzia, in condizioni di esercizio, un trasferimento di fluidi dalla Zona 6 (complesso delle vulcaniti) alla Zona 4 e quindi al sottostante serbatoio carbonatico di 32.30 mc/d, pari a 0.37 l/s.

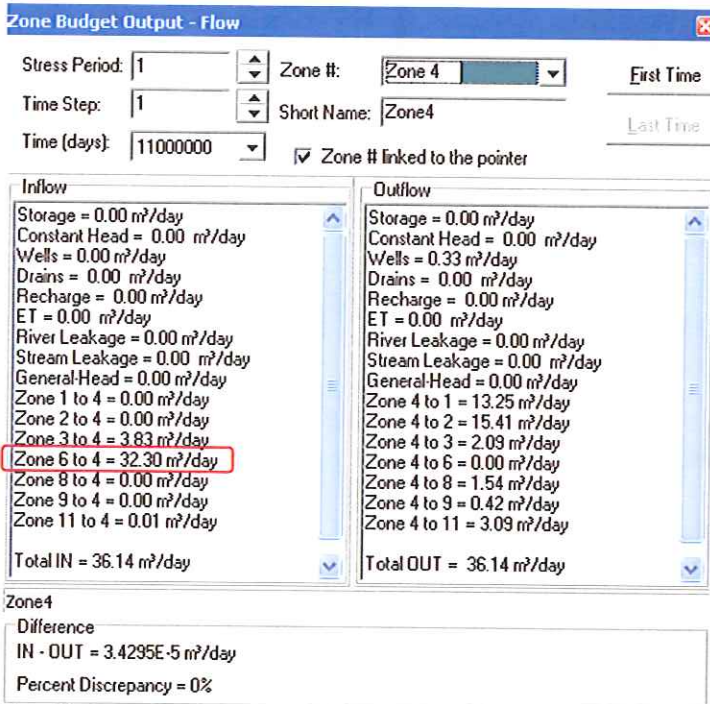


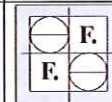
Tabella 9: Bilancio relativo agli scambi verticali con il complesso delle vulcaniti in condizioni di esercizio

Raffrontando i valori di bilancio in fase di esercizio con quelli relativi alle condizioni naturali (riportati nella precedente Tabella 6B) si evidenzia che, complessivamente, lo scambio risulta invariato (differenziale rispetto alle condizioni di calibrazione pari a 0.15 mc/d), seppur si registrano delle variazioni nella distribuzione delle zone di scambio, connotate da un incremento in corrispondenza della Zona 2 (polo di estrazione) dove si registra un incremento di circa 6.4 mc/d - da 15.41 mc/d in esercizio a 8.97 mc/d fase di calibrazione - ed una riduzione in corrispondenza della Zona 3 (polo di reiniezione), dove si registra un decremento di 3.09 mc/d (da 5.74 mc/d fase di calibrazione a 2.09 mc/d in esercizio).

Risultando gli scambi fra l'acquifero vulcanico ed il serbatoio profondo praticamente trascurabili non si prevedono variazioni sui carichi piezometrici nell'acquifero superficiale idropotabile ne' effetti sul bilancio idrico dello stesso.

Rapportando i valori dei potenziali di Figura 22 con quelli relativi al carico iniziale derivante dalla calibrazione, è stato possibile calcolare gli abbassamenti, intesi come variazione di potenziale che sono riportati, per il layer 6, in Figura 24.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 41 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>
	0		03315B01	



La simulazione mostra che l'estrazione di fluidi dal campo geotermico comporta, in regime stazionario, un abbassamento dell'ordine di 90 m con massimo dell'ordine di 110 m nel pozzo CG3.

L'innalzamento del potenziale nell'ambito del polo reiniettivo si imposta su valori intorno a m. 110, con massimo di circa 130 m.

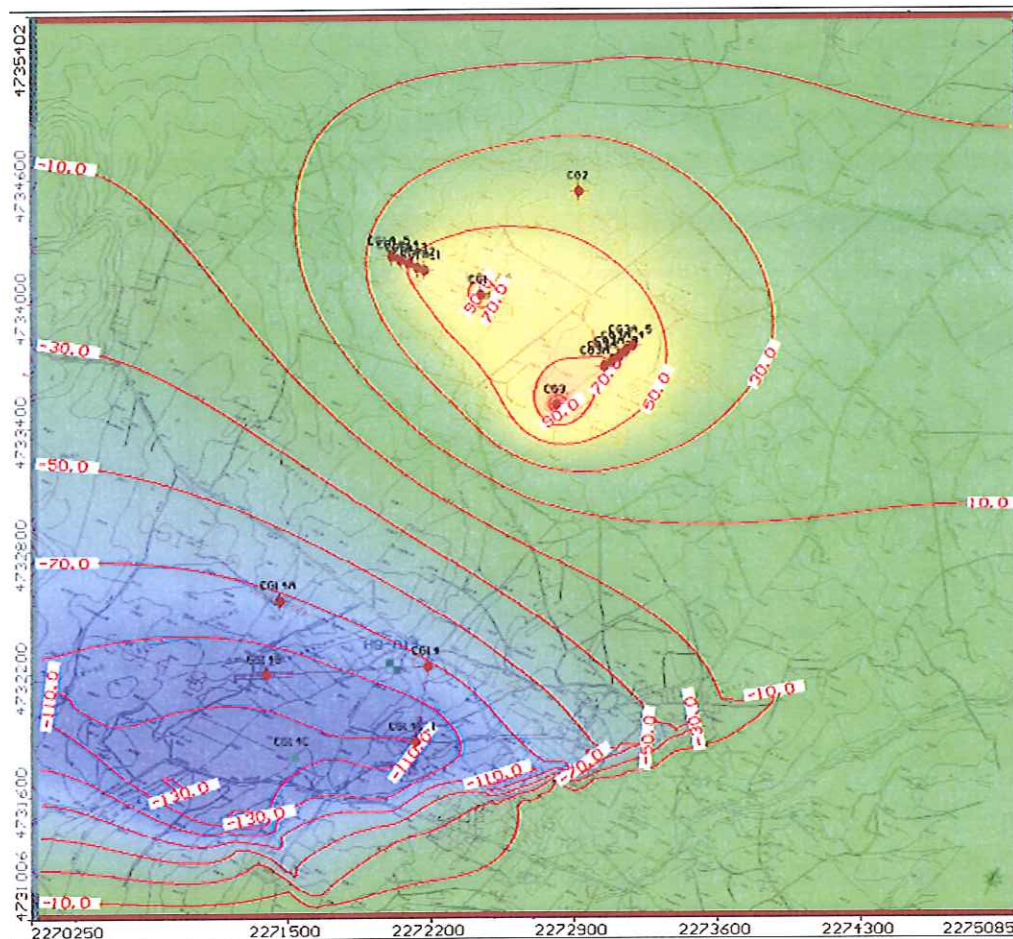


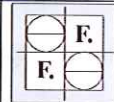
Figura 24 – Abbassamenti indotti in condizioni stazionarie

6.2.2. Condizioni transitorie

In questo tipo di simulazione si tiene conto dell'immagazzinamento e si temporizza l'applicazione delle forzanti, mantenendo inalterate le altre condizioni al contorno.

Dati di input:

- periodo di emungimento/reiniezione: 30 anni;
- stasi post-emungimento per verifica delle condizioni di recupero: 30 anni;
- periodo complessivo di simulazione : 60 anni (21900) giorni;



- i periodi di applicazione delle forzanti sono stati modulati in n° 72 *stress periods* con progressione temporale ad intervalli via via crescenti;
- ogni stress periodo è stato suddiviso in n° 10 time steps .

In Figura 25 si rappresenta la discretizzazione temporale di applicazione delle forzanti, che può essere in tal modo riassunta:

- pozzi di estrazione verticali : CG1, CG2, CG3 - portata pari a -5040 mc/d (210 t/h) per un periodo di 10950 d (30 anni) e stasi fino a 21900 d (60 anni); pozzi di estrazione devianti CG1A, CG3A – portata per ognuna delle n. 5 sezioni pari a 1/5 della portata totale: -1008 mc/d (42 t/h), per un periodo di 10950 d (30 anni) e stasi fino a 21900 d (60 anni);
- pozzi di reiniezione stesso criterio di imputazione delle forzanti con portate di 6300 mc/d.

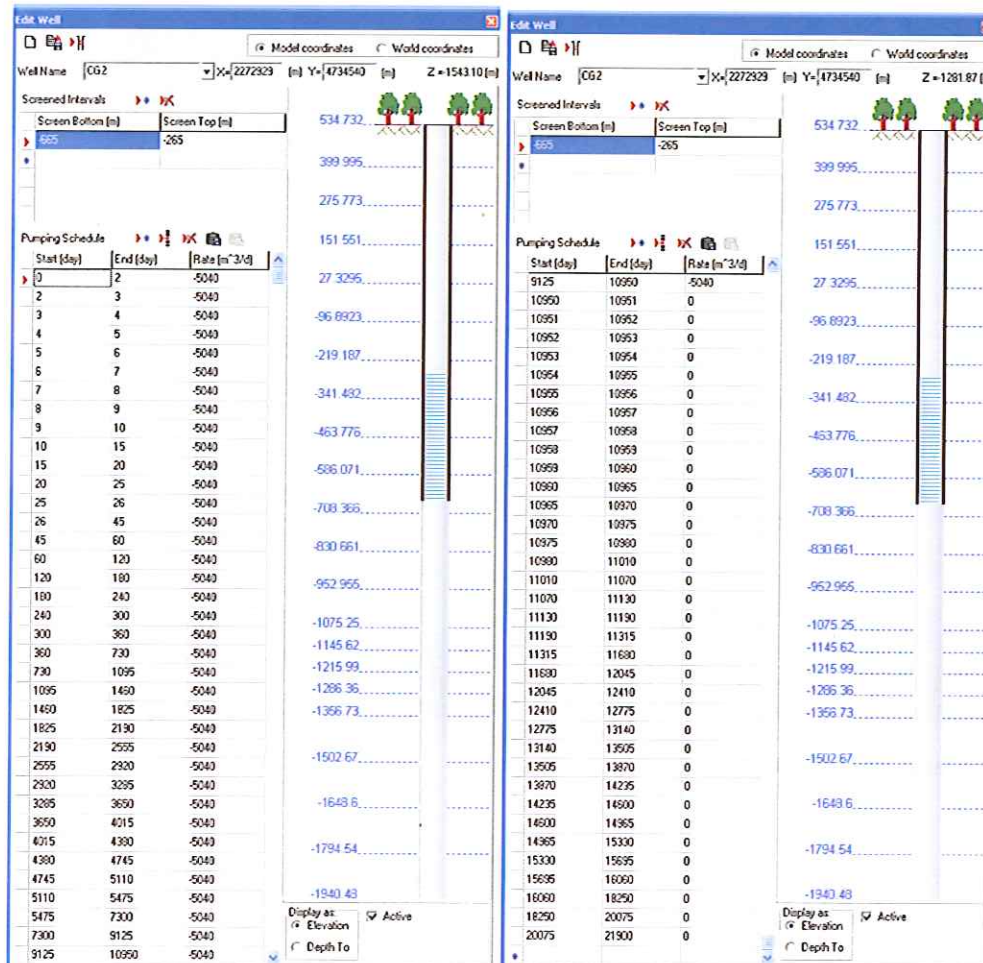


Figura 25- Discretizzazione temporale di applicazione delle forzanti

In Figura 26 si rappresenta l'andamento dei potenziali in corrispondenza dei pozzi di osservazione Alfina 4 e Alfina 14, in funzione del tempo (serie temporale limitata a 15000 giorni).

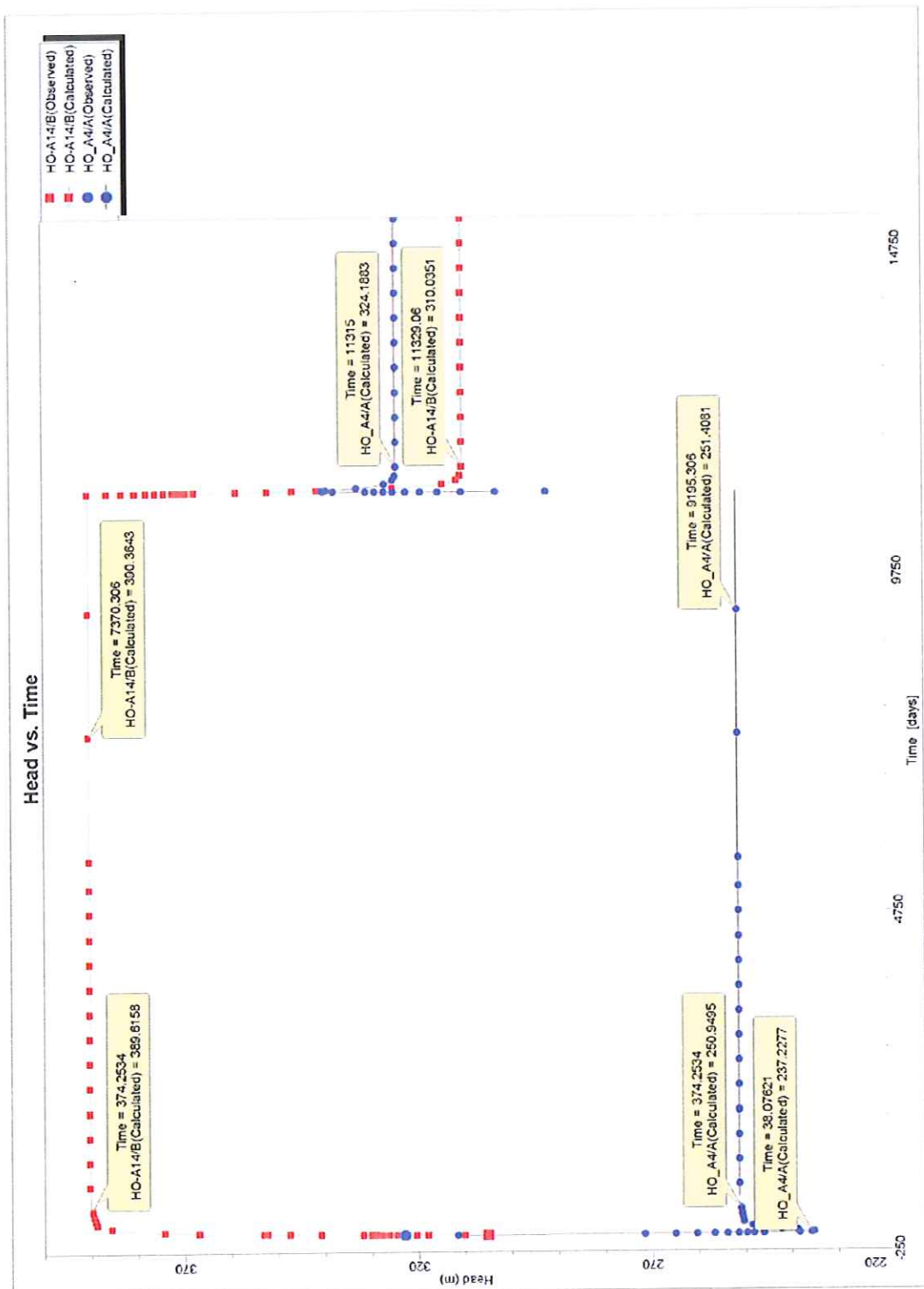
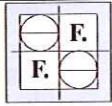
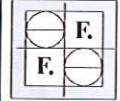


Figura 26- Andamento dei potenziali nel tempo in corrispondenza dei pozzi di osservazione A4 ed A14

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 44 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>
	0		03315B01	



In Figura 27 si rappresenta l'andamento degli abbassamenti, sempre in corrispondenza dei pozzi di osservazione Alfina 4 e Alfina 14, in funzione del tempo (serie temporale limitata a 15000 giorni).

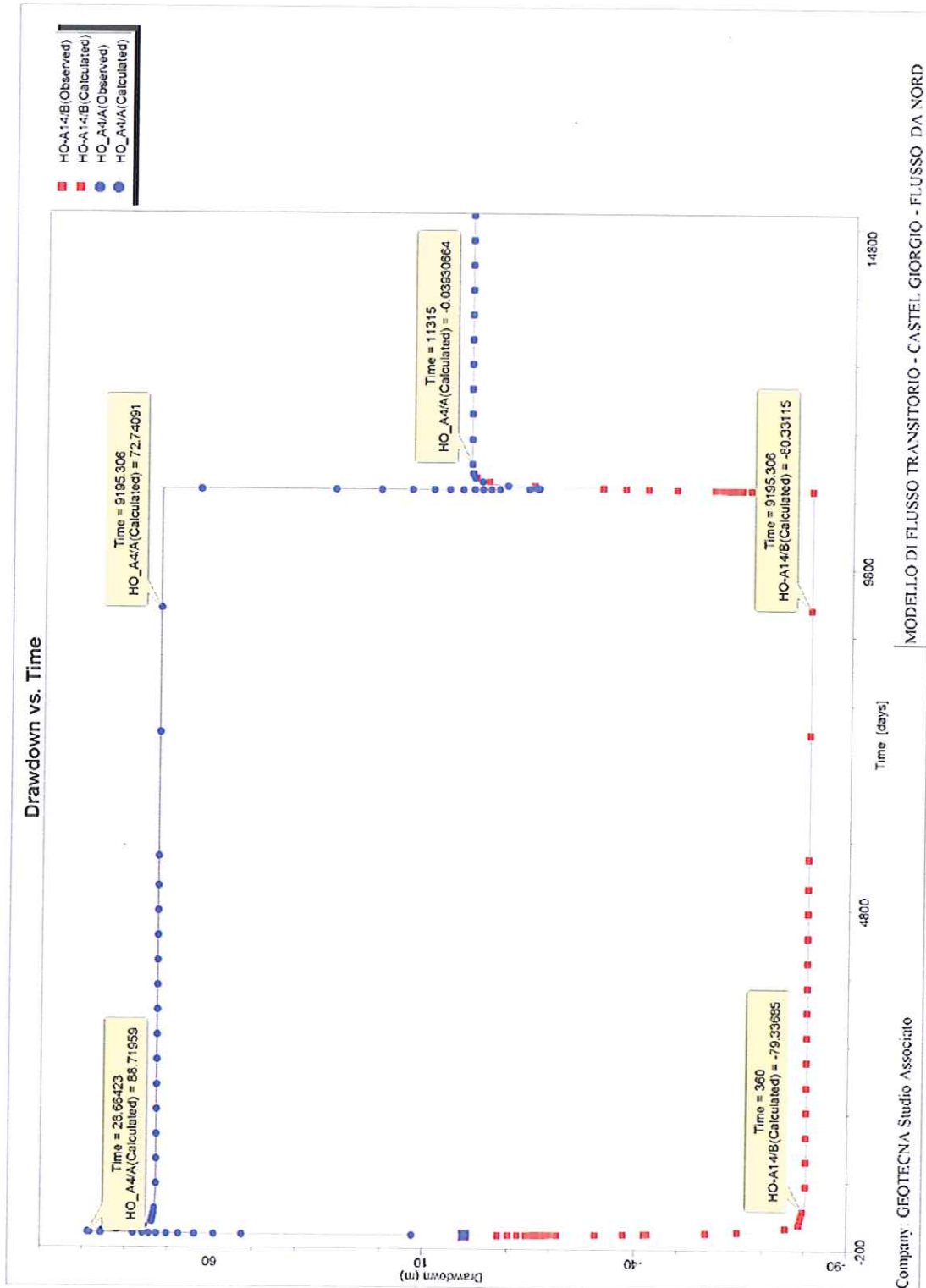


Figura 27- Andamento delle depressioni nel tempo in corrispondenza dei pozzi di osservazione A4 ed A14

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 45 di 68		
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>			<i>File:</i> 03315B01	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>	
	0					

Si evidenzia un sostanziale equilibrio tra estrazione e reiniezione dopo circa 360 giorni dall'inizio dell'esercizio, e tale si mantiene per tutto il periodo operativo; inoltre, si apprezza un altrettanto rapido recupero dei potenziali originari dopo un anno dalla sospensione dell'esercizio.

Il grafico evidenzia anche che il valore della massima depressione nel pozzo di osservazione Alfina 4, posto nell'ambito del polo di estrazione, si manifesta a 25-30 giorni dall'inizio della fase di esercizio, allorquando non si risentono ancora gli effetti indotti dalla reiniezione. In Figura 28 si riporta la distribuzione degli abbassamenti rispetto alle condizioni di calibrazione, a 28 giorni dall'inizio dell'esercizio; si evidenzia che il massimo abbassamento nei pozzi di emungimento, prima dell'arrivo degli effetti della reiniezione, si manifesta nel pozzo CG3, con una depressione di circa 130 m rispetto al livello di riferimento (calibrazione).

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 46 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 - 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecnastudioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	
				

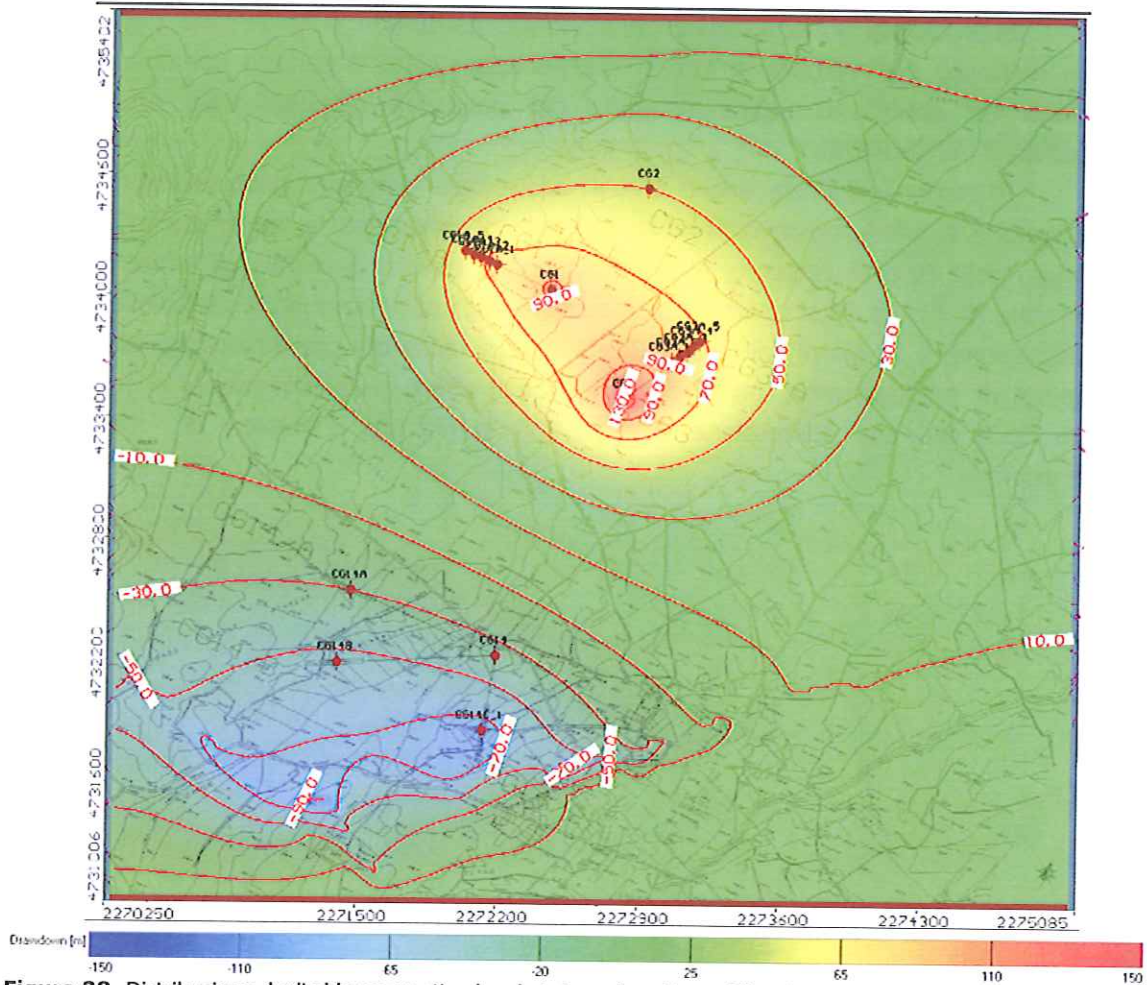


Figura 28- Distribuzione degli abbassamenti nel serbatoio carbonatico – Rif.to Layer 6 - a 28 giorni dall'inizio dell'esercizio

La massima pressurizzazione si raggiunge a 360 giorni e si mantiene pressoché inalterata per tutto il ciclo di attività (10950 giorni - 30 anni), raggiungendo un valore di circa 130 m nella zona posta a SW del polo di reiniezione, come evidenziato nella Figura 29, relativa alla distribuzione degli abbassamenti a fine ciclo.

Nell'ambito dei pozzi di reiniezione si registra un valore massimo di innalzamento del potenziale pari a m 110 circa, in corrispondenza del pozzo CG14C_1

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 47 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

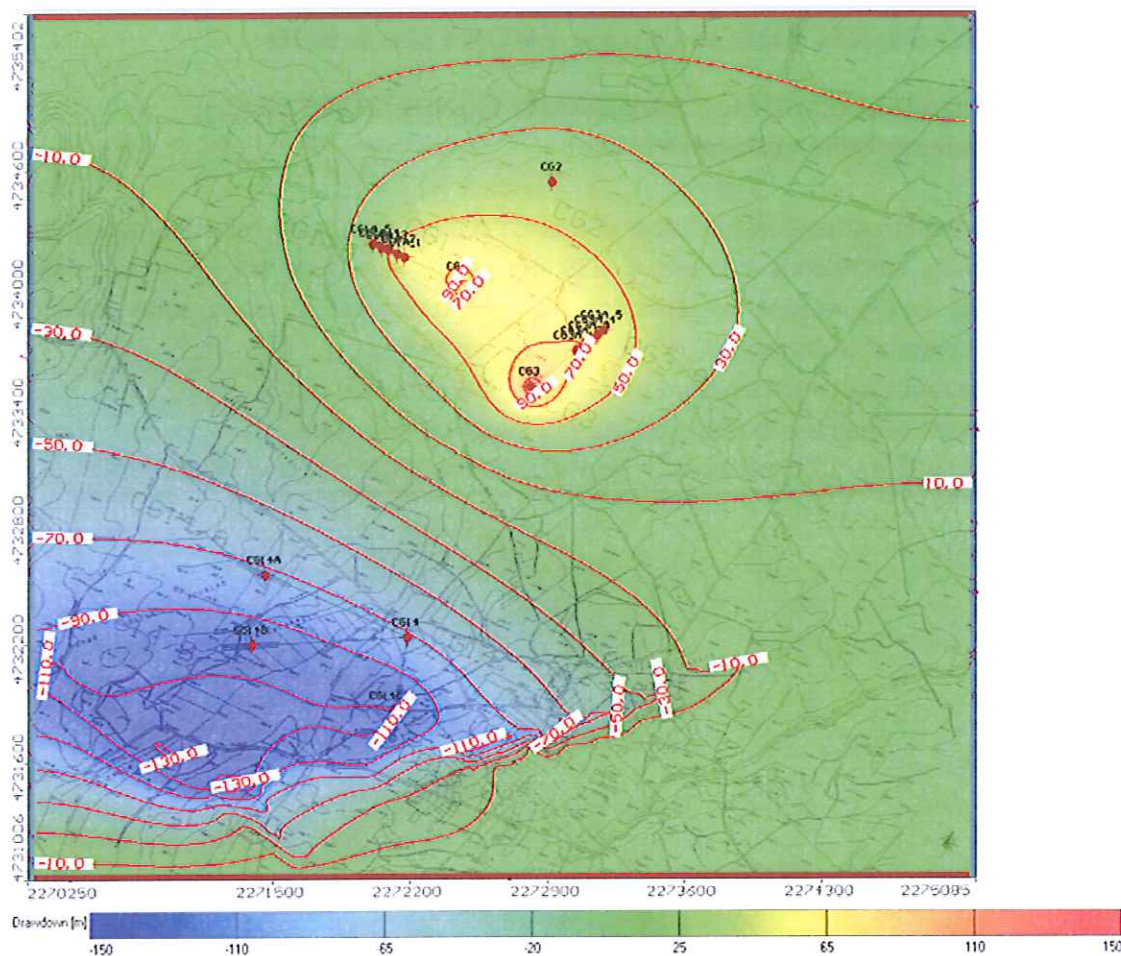
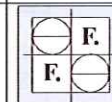
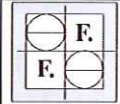


Figura 29- Distribuzione degli abbassamenti nel serbatoio carbonatico – Rif.to Layer 6 - a 10950 giorni dall'inizio dell'esercizio – Fine ciclo

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 48 di 68
Committente: ITW &LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



7. FLUSSO DI RICARICA DALLA FRONTIERA SUD

7.1. Condizioni al contorno - BOUNDARY CONDITIONS (B.C.)

7.1.1. Complesso delle vulcaniti Vulsine

Per quanto attiene le condizioni di ricarica si è assunto, sulla base di precedenti studi, un valore della infiltrazione efficace di 230 mm/anno, distribuita sul Layer 1. Inoltre, in relazione alla configurazione piezometrica indicata in Figura 30, sono state attribuite le condizioni di potenziale imposto (C.H.) di seguito riportate:

Constant Head ingresso Nord : *da m. 500 slm a m 465 slm*

Constant Head uscita Sud : *da m. 455 slm a m. 430 slm*

Inactive Flow : *lungo i margini orientale ed occidentale : Cond. Flusso Nullo*

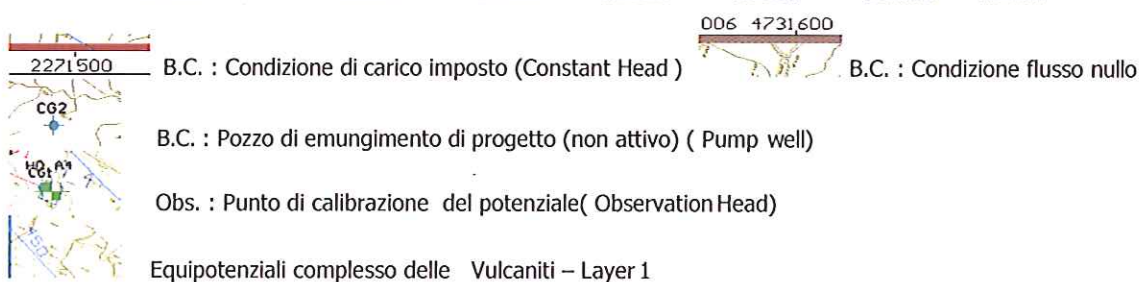
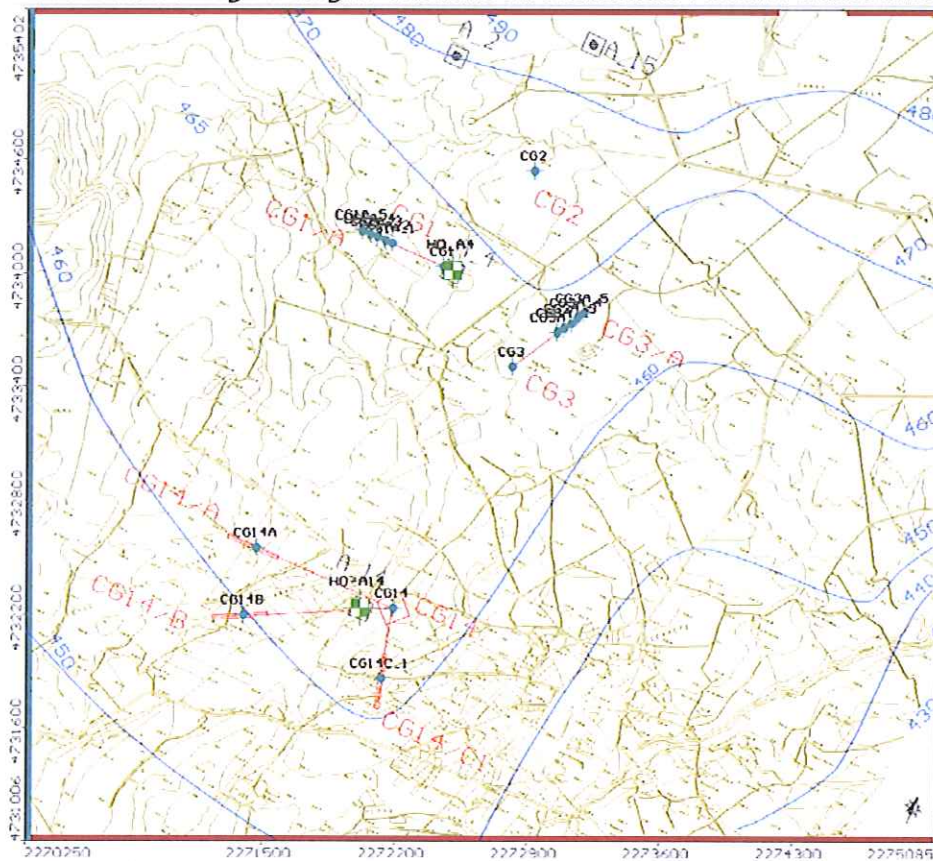
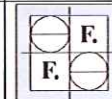


Figura 30 : Boundary Conditions del Complesso delle Vulcaniti

<i>Relazione</i>	<i>Commessa :</i>	03315	<i>Data:</i>	Giugno 2015
------------------	-------------------	-------	--------------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 49 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



7.1.2. Complesso dei carbonati

Con riferimento alle quote dei livelli idrostatici misurati da Enel e calcolati dai tecnici ITW LKW SpA presso i pozzi di osservazione Alfina 4 e Alfina 14, rispettivamente a m. 391 slm ed a m. 409 slm (Figura 31), per cui si determina un movimento del fluido geotermico (T=140°C) da sud verso nord, sono state attribuite, dopo la fase di calibrazione, le condizioni di potenziale imposto (C.H.) di seguito riportate:

Constant Head ingresso Sud : *potenziale imposto = m. 440 slm*

Constant Head uscita Nord : *potenziale imposto = m. 377 slm*

Inactive Flow : lungo i margini orientale ed occidentale : Cond. Flusso Nullo

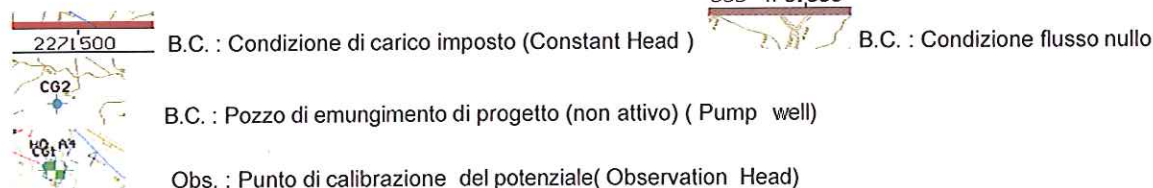
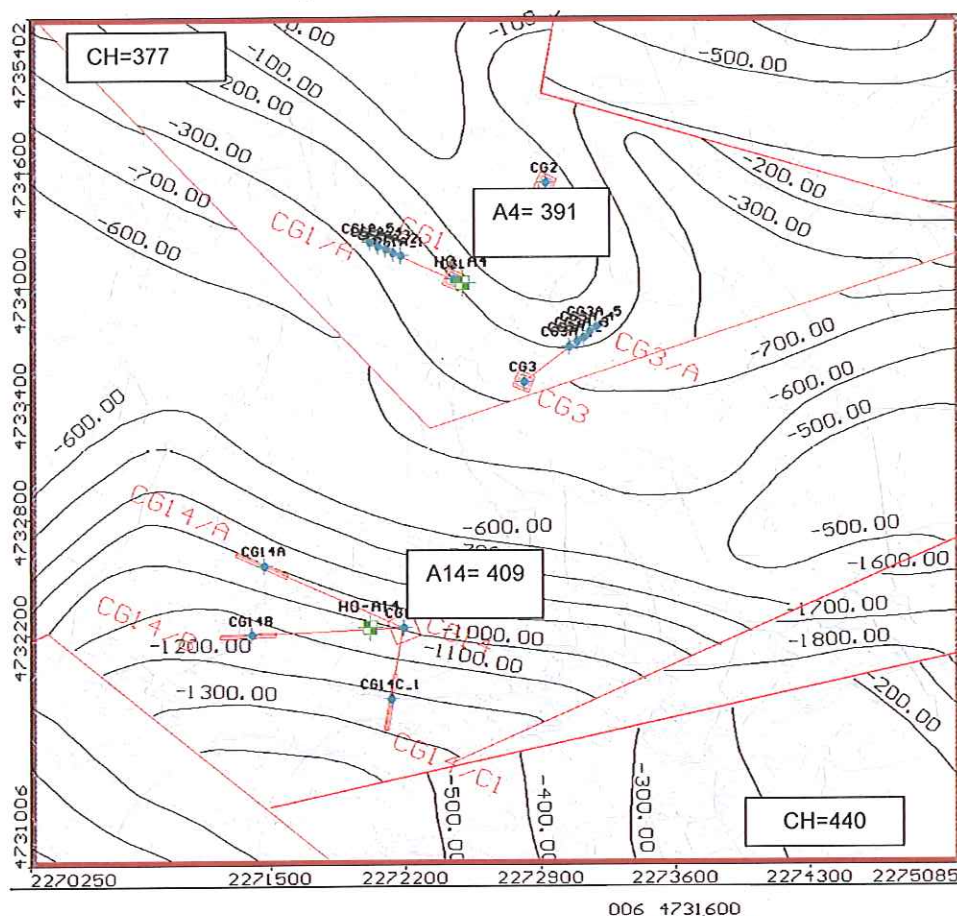
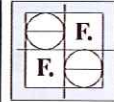


Figura 31 – Boundary Conditions del serbatoio carbonatico superiore – Riferimento Layer 6

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 50 di 68
Committente: ITW &LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>
	0		03315B01	



Con le proprietà fisiche attribuite ai diversi complessi e con le condizioni al contorno precedentemente definite sono state effettuate una serie di run al fine di conseguire una adeguata calibrazione rispetto ai potenziali individuati nei pozzi di osservazione.

In Figura 32 si riporta il diagramma di calibrazione del potenziale calcolato/osservato nei pozzi di osservazione A4 e A14 da cui si può apprezzare che lo scarto è inferiore a 4 m, accettabile considerate le dimensioni del problema in esame.

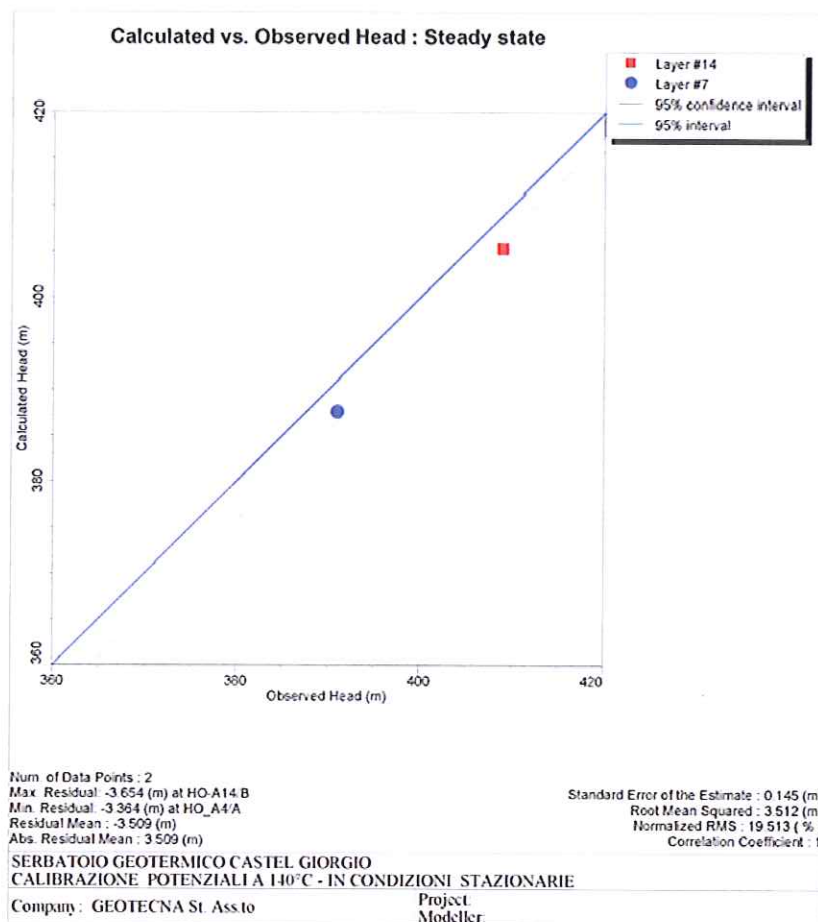


Figura 32- Diagramma di calibrazione

La configurazione piezometrica di calibrazione, che sarà di riferimento come *Initial Head* per i run di simulazione a seguito della applicazione delle forzanti (portate di produzione e di reiniezione), è riportata in Figura 33.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 51 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

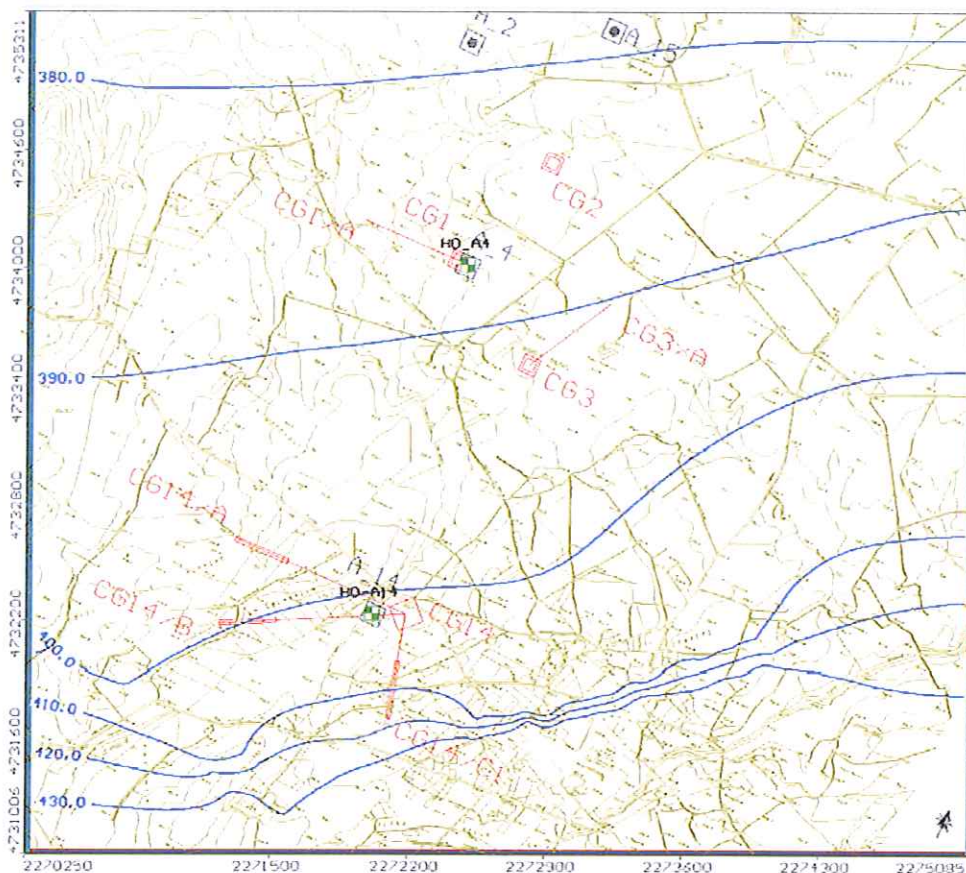
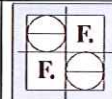
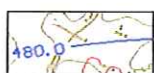


Figura 33: Piezometria di calibrazione – Riferimento Layer 6

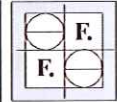


Equipotenziali , con quota in m. slm

La superficie piezometrica presenta, come detto, un deflusso da sud verso nord; inizialmente , fino al pozzo verticale CG14, le isopieze si raggruppano repentinamente in risposta alla presenza di una riduzione della trasmissività del serbatoio; dopo il pozzo CG14, la piezometrica risulta abbastanza regolare ad indicare una buona omogeneità del sistema.

Al termine della calibrazione, quindi in assenza delle forzanti, il modello valuta una portata naturale in ingresso al serbatoio carbonatico, dalla frontiera Sud, di 28.5 l/s = 2458,7 mc/d ed in uscita, da nord, una portata analoga, 29.6 l/s = 2558,2 mc/d.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 52 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



7.2. PREVISIONE DEGLI EFFETTI

7.2.1. Condizioni stazionarie

Il modello di flusso calibrato è stato implementato inserendo le forzanti predette, dapprima in condizioni stazionarie, che risultano rappresentative di un regime medio del sistema modellato.

Oltre alle condizioni al contorno precedentemente illustrate per la calibrazione è stata impostata una condizione di carico iniziale derivata dai risultati del run di calibrazione per l'acquisizione della distribuzione dei potenziali nei diversi layer in modo tale da permettere la valutazione degli abbassamenti rispetto alle condizioni attuali.

In Figura 34 sono riportate le equipotenziali del layer 6 in condizioni stazionarie.

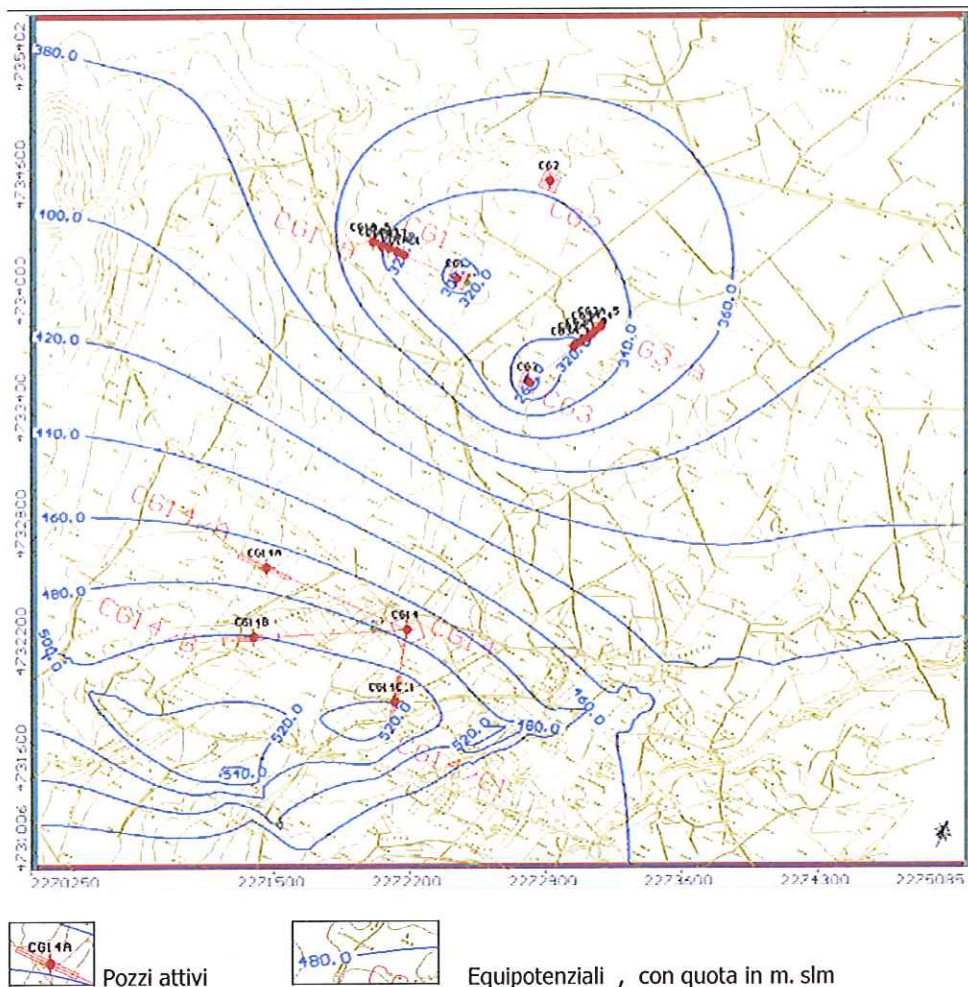
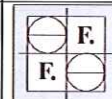


Figura 34 – Equipotenziali nell'ambito del 1° serbatoio carbonatico – Riferimento Layer6

La morfologia piezometrica evidenzia una depressione centrata sul polo di produzione con inviluppo a quota 340 m slm e minimo in corrispondenza del pozzo CG1 fino a m. 260

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 53 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>
	0		03315B01	



slm. In corrispondenza del polo reiniettivo si evidenzia un alto piezometrico, con massimo sul pozzo CG14C1, fino a circa 520 slm; mediamente l'innalzamento raggiunge quota m. 500 slm.

In Figura 35 A,B e C si riportano le pathlines, rispettivamente a 730 giorni (2 anni), a 1825 giorni (5 anni) ed a 10950 giorni (30 anni) ottenute avendo assegnato delle particles in corrispondenza dei dreni dei singoli pozzi tipologicamente orientate in "avanti", per i pozzi di reiniezione, ed "all'indietro" per quelli di estrazione.

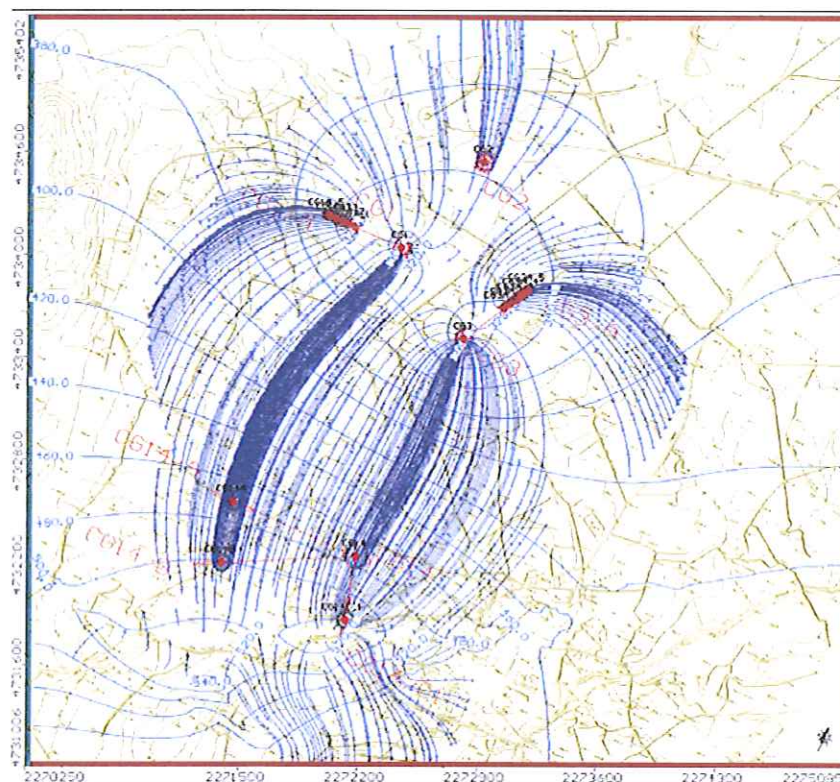


Figura 35A – Pathline a 730 giorni dalla messa in esercizio del campo pozzi

Si evidenzia, già dopo due anni dall'esercizio, il raggiungimento di una buona connessione fra la portata di ricarica del polo di reiniezione ed i pozzi di estrazione.

Nei successivi anni, la zona di richiamo si amplia progressivamente permettendo di definire l'area di influenza del sistema, in base alla quale è stato possibile prevedere gli scambi fra i due poli.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 54 di 68
Committente: ITW &LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

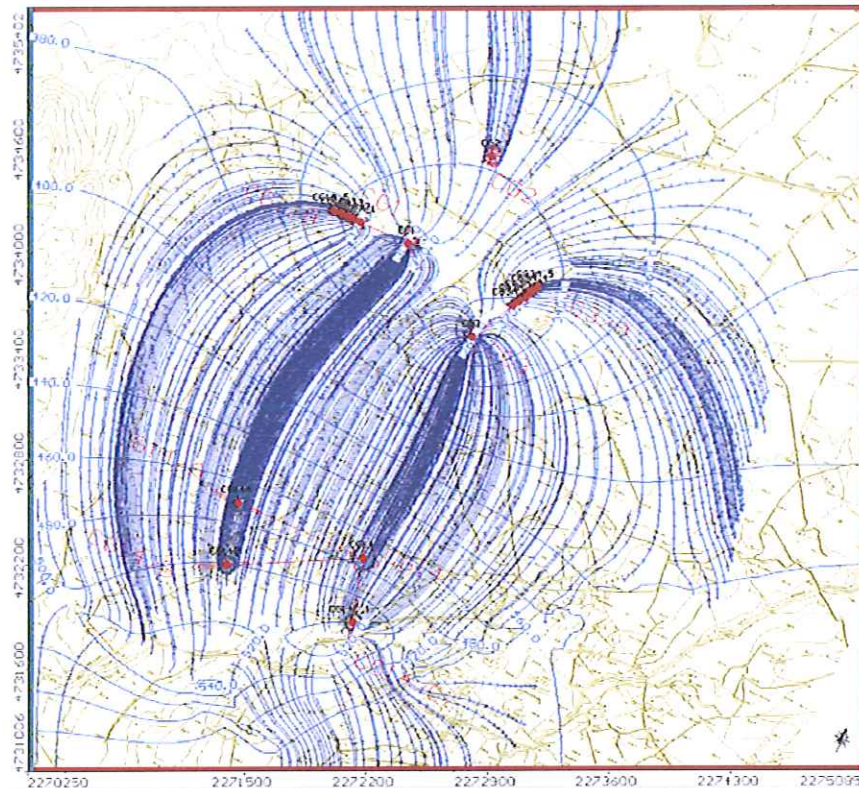
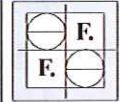


Figura 35B – Pathline a 1825 giorni (5 anni) dalla messa in esercizio del campo pozzi

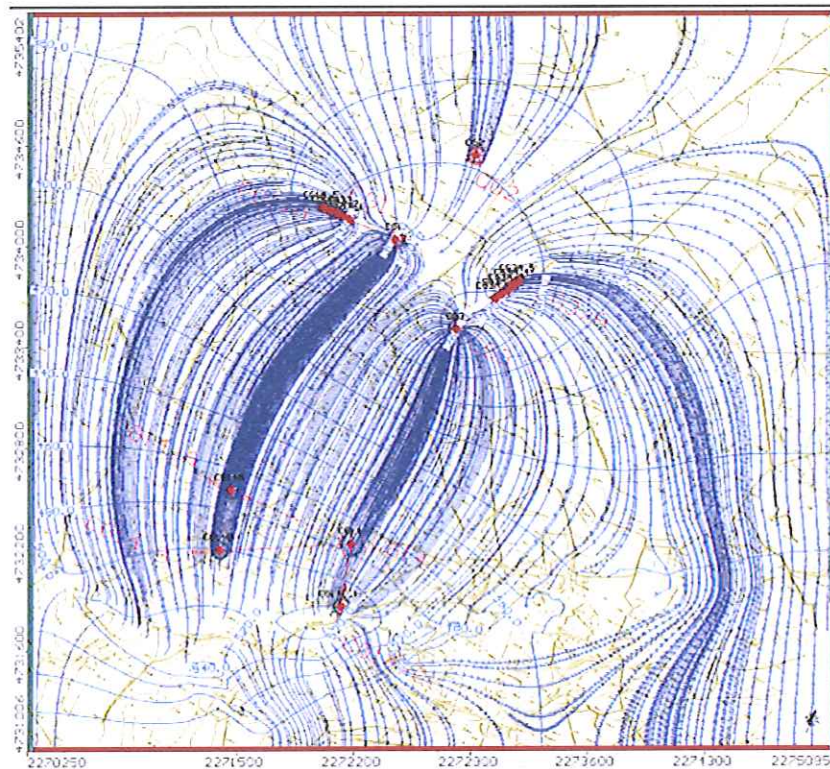
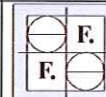


Figura 35C – Pathline a 10950 giorni (30 anni) dalla messa in esercizio del campo pozzi

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 55 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	Revisioni		File:	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



A regime, rispetto ad una produzione di 25200 mc/giorno, la portata di ricarica che raggiunge nuovamente i pozzi di produzione è di 18706 mc/giorno, ossia circa il 75% come risulta delle Tabelle 10, 10A, 10B.

Zone Budget Output - Flow	
Stress Period: 1	Zone #: Zone 2
Time Step: 1	Short Name: Zone2
Time (days): 11000000	<input checked="" type="checkbox"/> Zone # linked to the pointer
Inflow Storage = 0.00 m ³ /day Constant Head = 0.00 m ³ /day Wells = 0.00 m ³ /day Drains = 0.00 m ³ /day Recharge = 0.00 m ³ /day ET = 0.00 m ³ /day River Leakage = 0.00 m ³ /day Stream Leakage = 0.00 m ³ /day General Head = 0.00 m ³ /day Zone 1 to 2 = 7013.90 m ³ /day Zone 4 to 2 = 12.40 m ³ /day Zone 5 to 2 = 23.95 m ³ /day Zone 11 to 2 = 18706.00 m ³ /day Total IN = 25756.00 m ³ /day	Outflow Storage = 0.00 m ³ /day Constant Head = 0.00 m ³ /day Wells = 25200.00 m ³ /day Drains = 0.00 m ³ /day Recharge = 0.00 m ³ /day ET = 0.00 m ³ /day River Leakage = 0.00 m ³ /day Stream Leakage = 0.00 m ³ /day General Head = 0.00 m ³ /day Zone 2 to 1 = 295.67 m ³ /day Zone 2 to 4 = 0.00 m ³ /day Zone 2 to 5 = 12.45 m ³ /day Zone 2 to 11 = 248.63 m ³ /day Total OUT = 25756.00 m ³ /day
Zone2 Difference IN - OUT = -0.069541 m ³ /day Percent Discrepancy = 0%	

Tabella 10- Bilancio relativo al polo di estrazione

Zone Budget Output - Flow	
Stress Period: 1	Zone #: Zone 3
Time Step: 1	Short Name: Zone3
Time (days): 11000000	<input checked="" type="checkbox"/> Zone # linked to the pointer
Inflow Storage = 0.00 m ³ /day Constant Head = 0.00 m ³ /day Wells = 25200.00 m ³ /day Drains = 0.00 m ³ /day Recharge = 0.00 m ³ /day ET = 0.00 m ³ /day River Leakage = 0.00 m ³ /day Stream Leakage = 0.00 m ³ /day General Head = 0.00 m ³ /day Zone 1 to 3 = 12.45 m ³ /day Zone 4 to 3 = 0.36 m ³ /day Zone 5 to 3 = 0.89 m ³ /day Zone 7 to 3 = 27.20 m ³ /day Zone 8 to 3 = 0.00 m ³ /day Zone 11 to 3 = 9.75 m ³ /day Total IN = 25251.00 m ³ /day	Outflow Storage = 0.00 m ³ /day Constant Head = 0.00 m ³ /day Wells = 0.00 m ³ /day Drains = 0.00 m ³ /day Recharge = 0.00 m ³ /day ET = 0.00 m ³ /day River Leakage = 0.00 m ³ /day Stream Leakage = 0.00 m ³ /day General Head = 0.00 m ³ /day Zone 3 to 1 = 4831.70 m ³ /day Zone 3 to 4 = 4.94 m ³ /day Zone 3 to 5 = 170.90 m ³ /day Zone 3 to 7 = 1084.60 m ³ /day Zone 3 to 8 = 421.65 m ³ /day Zone 3 to 11 = 18737.00 m ³ /day Total OUT = 25250.00 m ³ /day
Zone3 Difference IN - OUT = 0.22559 m ³ /day Percent Discrepancy = 0%	

Tabella 10A- Bilancio relativo al polo di reiniezione

Zone Budget Output - Flow	
Stress Period: 1	Zone #: Zone 11
Time Step: 1	Short Name: Zone11
Time (days): 11000000	<input checked="" type="checkbox"/> Zone # linked to the pointer
Inflow	Outflow
Storage = 0.00 m ³ /day	Storage = 0.00 m ³ /day
Constant Head = 0.00 m ³ /day	Constant Head = 0.00 m ³ /day
Wells = 0.00 m ³ /day	Wells = 0.00 m ³ /day
Drains = 0.00 m ³ /day	Drains = 0.00 m ³ /day
Recharge = 0.00 m ³ /day	Recharge = 0.00 m ³ /day
ET = 0.00 m ³ /day	ET = 0.00 m ³ /day
River Leakage = 0.00 m ³ /day	River Leakage = 0.00 m ³ /day
Stream Leakage = 0.00 m ³ /day	Stream Leakage = 0.00 m ³ /day
General Head = 0.00 m ³ /day	General Head = 0.00 m ³ /day
Zone 1 to 11 = 1595.50 m ³ /day	Zone 11 to 1 = 1030.30 m ³ /day
Zone 2 to 11 = 248.63 m ³ /day	Zone 11 to 2 = 18706.00 m ³ /day
Zone 3 to 11 = 1837.00 m ³ /day	Zone 11 to 3 = 0.75 m ³ /day
Zone 4 to 11 = 2.13 m ³ /day	Zone 11 to 4 = 0.00 m ³ /day
Zone 5 to 11 = 0.19 m ³ /day	Zone 11 to 5 = 31.09 m ³ /day
Total IN = 20583.00 m³/day	Total OUT = 20583.00 m³/day
Zone11	
Difference	
IN - OUT = -0.067873 m ³ /day	
Percent Discrepancy = 0%	

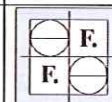
Tabella 10B- Bilancio relativo alla zona di connessione fra i due poli

Attraverso il C.H. della frontiera Nord e Sud del modello, si evidenzia una variazione di funzione dato che in ambedue i limiti si verificano condizioni di ingresso ed uscita tali da compensare lo sbilanciamento (Tabella 11 e 11A).

Zone Budget Output - Flow	
Stress Period: 1	Zone #: Zone 8
Time Step: 1	Short Name: Zone8
Time (days): 11000000	<input checked="" type="checkbox"/> Zone # linked to the pointer
Inflow	Outflow
Storage = 0.00 m ³ /day	Storage = 0.00 m ³ /day
Constant Head = 1403.30 m ³ /day	Constant Head = 3856.60 m ³ /day
Wells = 0.00 m ³ /day	Wells = 0.00 m ³ /day
Drains = 0.00 m ³ /day	Drains = 0.00 m ³ /day
Recharge = 0.00 m ³ /day	Recharge = 0.00 m ³ /day
ET = 0.00 m ³ /day	ET = 0.00 m ³ /day
River Leakage = 0.00 m ³ /day	River Leakage = 0.00 m ³ /day
Stream Leakage = 0.00 m ³ /day	Stream Leakage = 0.00 m ³ /day
General Head = 0.00 m ³ /day	General Head = 0.00 m ³ /day
Zone 1 to 8 = 3437.80 m ³ /day	Zone 8 to 1 = 1405.90 m ³ /day
Zone 3 to 8 = 421.65 m ³ /day	Zone 8 to 3 = 0.00 m ³ /day
Zone 4 to 8 = 0.19 m ³ /day	Zone 8 to 4 = 0.05 m ³ /day
Zone 5 to 8 = 0.77 m ³ /day	Zone 8 to 5 = 1.19 m ³ /day
Total IN = 5263.70 m³/day	Total OUT = 5263.80 m³/day
Zone8	
Difference	
IN - OUT = -0.023582 m ³ /day	
Percent Discrepancy = 0%	

Tabella 11: Condizione al limite Sud (C.H Sud)

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 57 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



Zone Budget Output - Flow

Stress Period: 1 Zone #: Zone 9 First Time

Time Step: 1 Short Name: Zone9 Last Time

Time (days): 11000000 Zone # linked to the pointer

Inflow	Outflow
Storage = 0.00 m ³ /day	Storage = 0.00 m ³ /day
Constant Head = 5355.60 m ³ /day	Constant Head = 1727.10 m ³ /day
Wells = 0.00 m ³ /day	Wells = 0.00 m ³ /day
Drains = 0.00 m ³ /day	Drains = 0.00 m ³ /day
Recharge = 0.00 m ³ /day	Recharge = 0.00 m ³ /day
ET = 0.00 m ³ /day	ET = 0.00 m ³ /day
River Leakage = 0.00 m ³ /day	River Leakage = 0.00 m ³ /day
Stream Leakage = 0.00 m ³ /day	Stream Leakage = 0.00 m ³ /day
General Head = 0.00 m ³ /day	General Head = 0.00 m ³ /day
Zone 1 to 9 = 1736.50 m ³ /day	Zone 9 to 1 = 5365.50 m ³ /day
Zone 4 to 9 = 0.46 m ³ /day	Zone 9 to 4 = 0.00 m ³ /day
Zone 5 to 9 = 0.10 m ³ /day	Zone 9 to 5 = 0.09 m ³ /day
Total IN = 7092.60 m³/day	Total OUT = 7092.70 m³/day

Zone9
Difference
IN - OUT = -0.067395 m³/day
Percent Discrepancy = 0%

Tabella 11A: Condizione al limite Nord (C.H Nord)

Rapportando i valori dei potenziali di Figura 34 con quelli relativi al carico iniziale derivante dalla calibrazione, è stato possibile calcolare gli abbassamenti, intesi come variazione di potenziale, che sono riportati, per il layer 6 in Figura 36.

La simulazione mostra che l'estrazione di fluidi dal campo geotermico comporta, in regime stazionario, un abbassamento dell'ordine di 90 m della superficie freatica; nei pozzi di estrazione l'abbassamento massimo è dell'ordine di 110 m, pozzo CG3.

L'innalzamento del potenziale nell'ambito del polo reiniettivo si imposta su valori intorno a m. 110, con massimo di circa 130 m.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 58 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 03018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

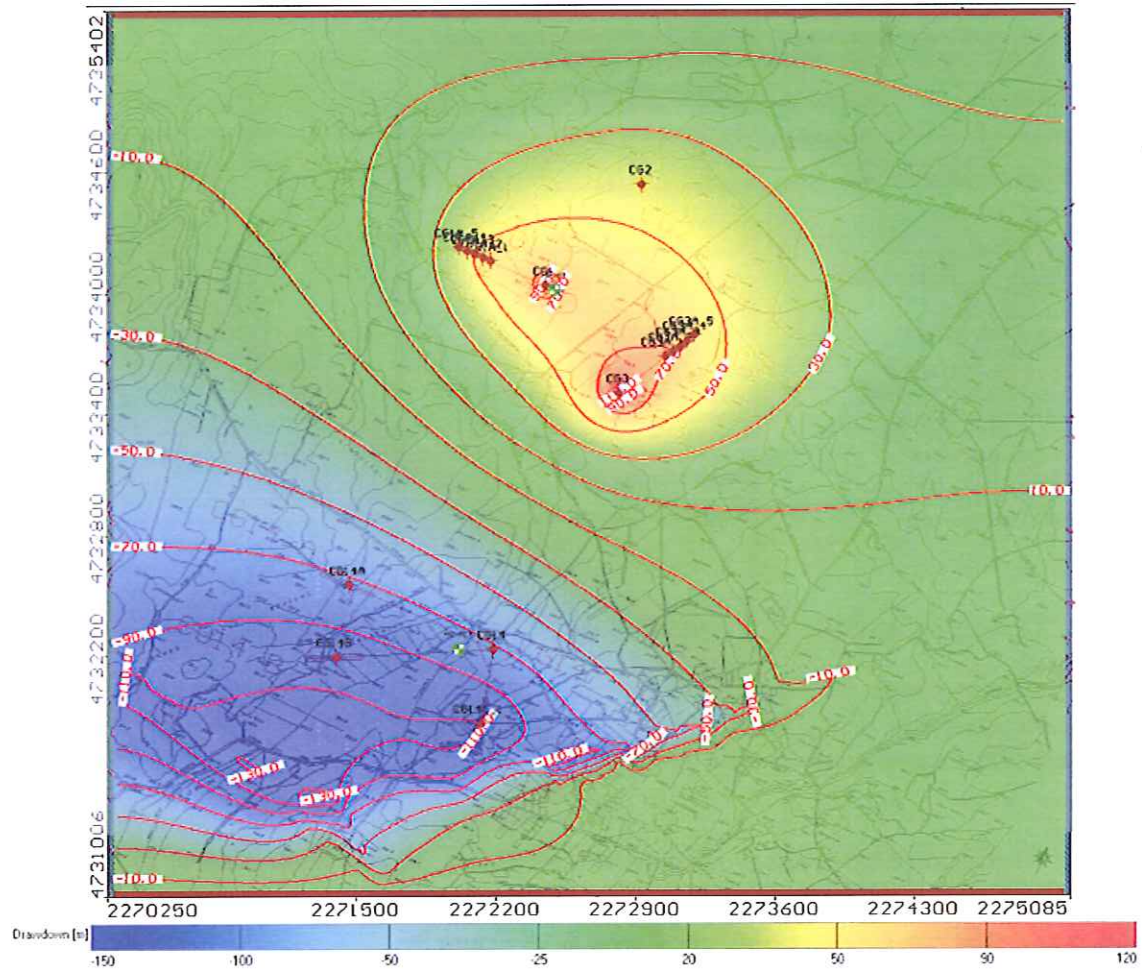
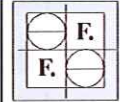


Figura 36 – Abbassamenti indotti in condizioni stazionarie

7.2.2. Condizioni transitorie

In questo tipo di simulazione si tiene conto dell'immagazzinamento e si temporizza l'applicazione delle forzanti, mantenendo inalterate le altre condizioni al contorno.

Dati di input:

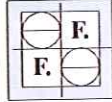
- periodo di emungimento/reiniezione: 30 anni;
- stasi post-emungimento per verifica delle condizioni di recupero: 30 anni;
- periodo complessivo di simulazione : 60 anni (21900) giorni;
- i periodi di applicazione delle forzanti sono stati modulati in n° 72 *stress periods* con progressione temporale ad intervalli via via crescenti;
- ogni stress periodo è stato suddiviso in n° 10 time steps .

In Figura 37 si rappresenta la discretizzazione temporale di applicazione delle forzanti, che può essere in tal modo riassunta:

- pozzi di estrazione verticali : CG1, CG2, CG3 - portata pari a -5040 mc/d (210 t/h) per un periodo di 10950 d (30 anni) e stasi fino a 21900 d (60 anni);

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 59 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



- pozzi di estrazione deviati CG1A, CG3A – portata per ognuna delle n. 5 sezioni pari a 1/5 della portata totale: -1008 mc/d (42 t/h), per un periodo di 10950 d (30 anni) e stasi fino a 21900 d (60 anni);
- pozzi di reiniezione stesso criterio di imputazione delle forzanti con portate di 6300 mc/d.



Figura 37- Discretizzazione temporale di applicazione delle forzanti

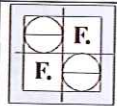
In Figura 38 si rappresenta l'andamento dei potenziali in corrispondenza dei pozzi di osservazione Alfina 4 e Alfina 14, in funzione del tempo (serie temporale limitata a 15000 giorni).

Si evidenzia un sostanziale equilibrio tra estrazione e reiniezione dopo circa 360 giorni dall'inizio dell'esercizio, e tale si mantiene per tutto il periodo operativo.

In Figura 39 si rappresenta l'andamento degli abbassamenti sempre in corrispondenza dei pozzi di osservazione Alfina 4 e Alfina 14, in funzione del tempo (serie temporale limitata a 15000 giorni).

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 60 di 68
Committente: ITW &LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecnastudioassociato@virgilio.it</i>
	0		03315B01	



Si evidenzia il raggiungimento di una condizione di sostanziale stabilizzazione a circa 360 giorni ed un rapido recupero del livello originario a seguito dell'arresto del pompaggio a 11200 giorni, ossia a 250 giorni dall'arresto delle attività.

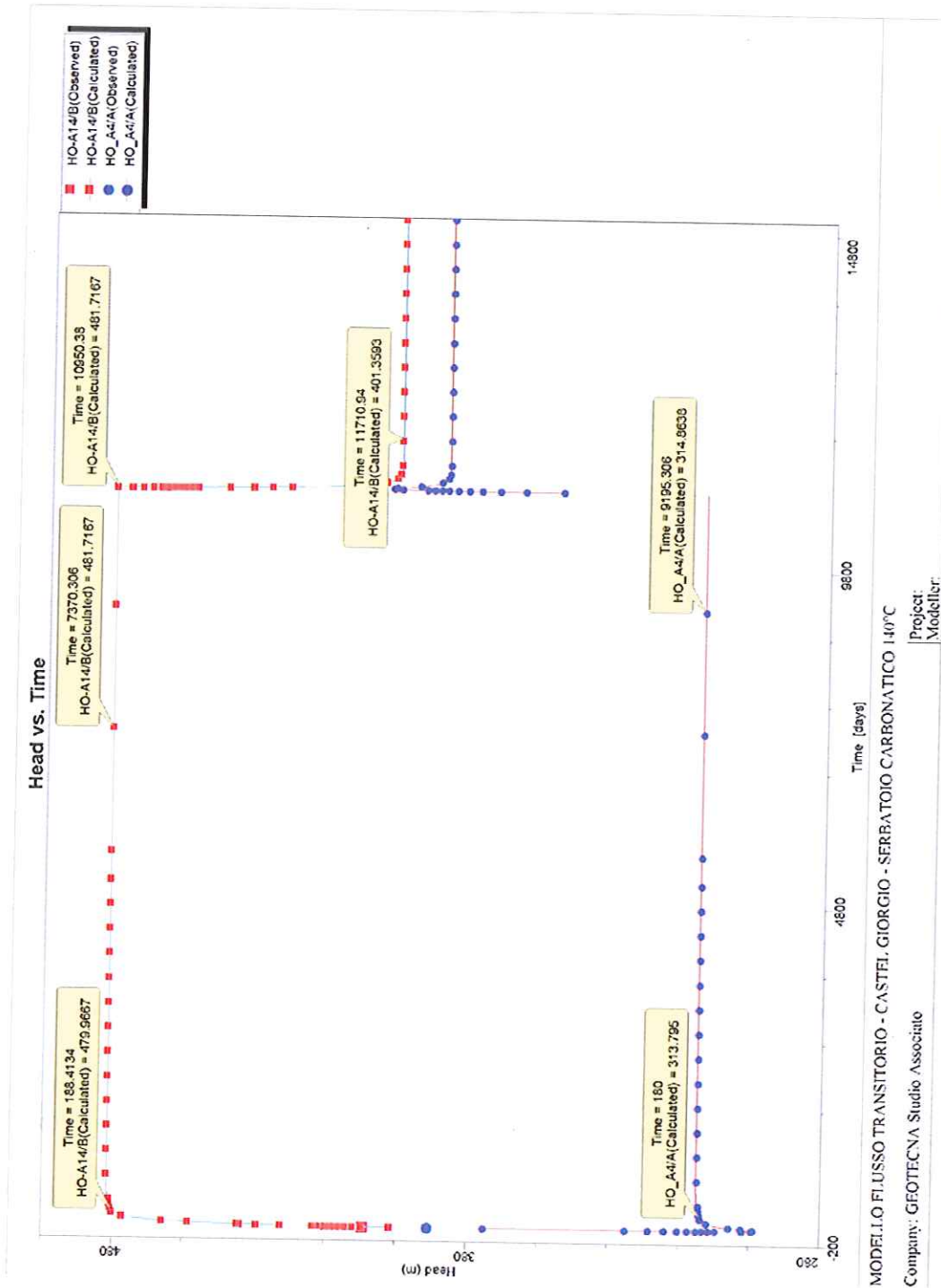
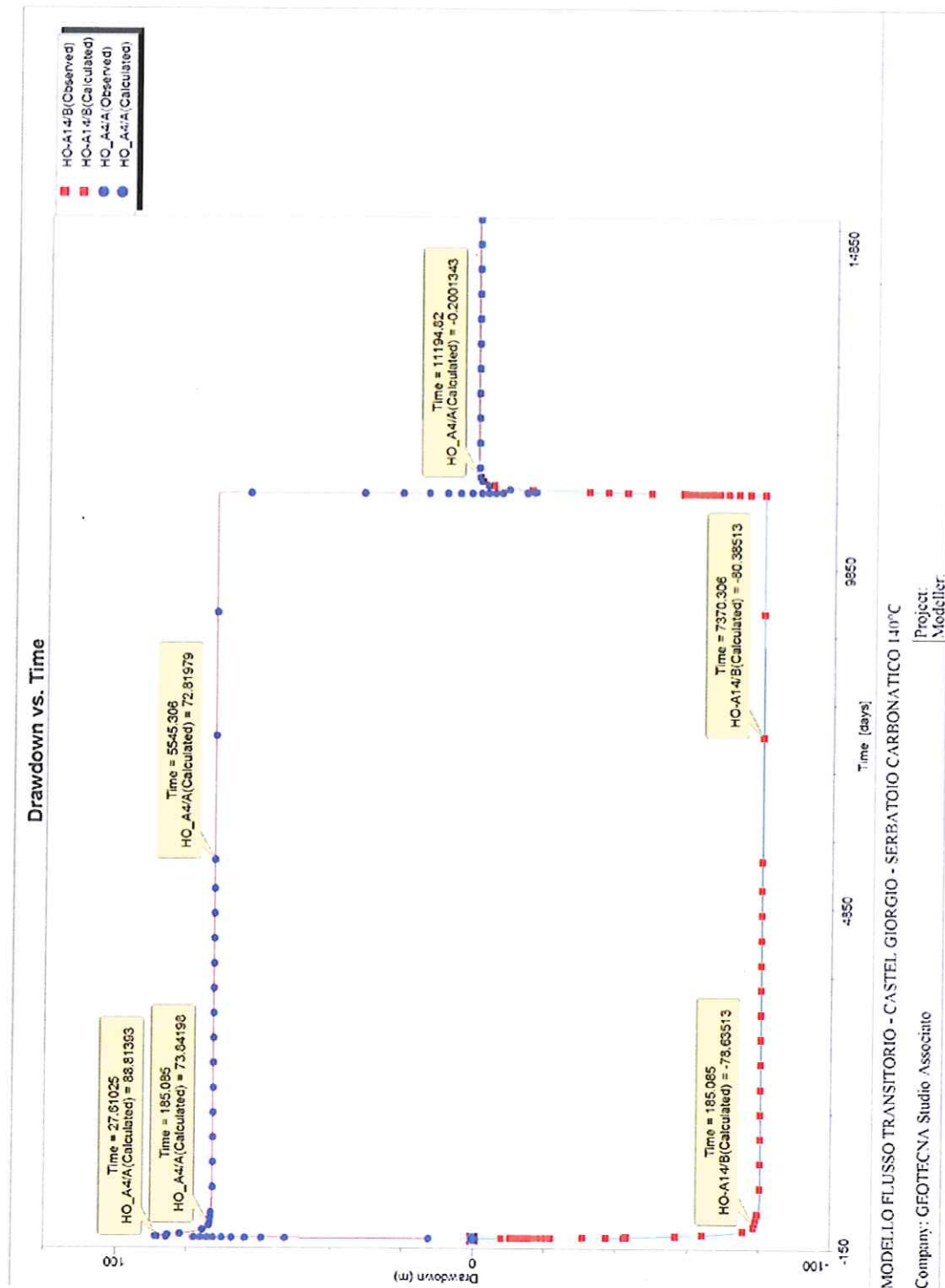
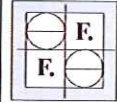


Figura 38- Potenziali in corrispondenza dei pozzi di osservazione

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

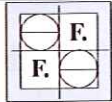


MODELLO FLUSSO TRANSITORIO - CASTEL GIORGIO - SERBATOIO CARBONATICO 1.40°C
 Company: GEOTECNA Studio Associato
 Project: Modeller.

Figura 39- Variazioni in corrispondenza dei pozzi di osservazione

Si evidenzia che il massimo abbassamento prima dell'arrivo degli effetti della reiniezione si manifesta dopo circa 25-30 giorni dall'inizio della fase di esercizio, pertanto è

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 62 di 68
Committente: ITW &LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



stata estratta la carta degli abbassamenti per il suddetto intervallo temporale. I risultati sono riportati in Figura 40 e 40A.

Il massimo drawdown nell'ambito del polo di estrazione si individua a 30 giorni circa, in corrispondenza del pozzo CG3, dove si raggiunge una depressione di circa 130 m, rispetto al livello di riferimento (calibrazione).

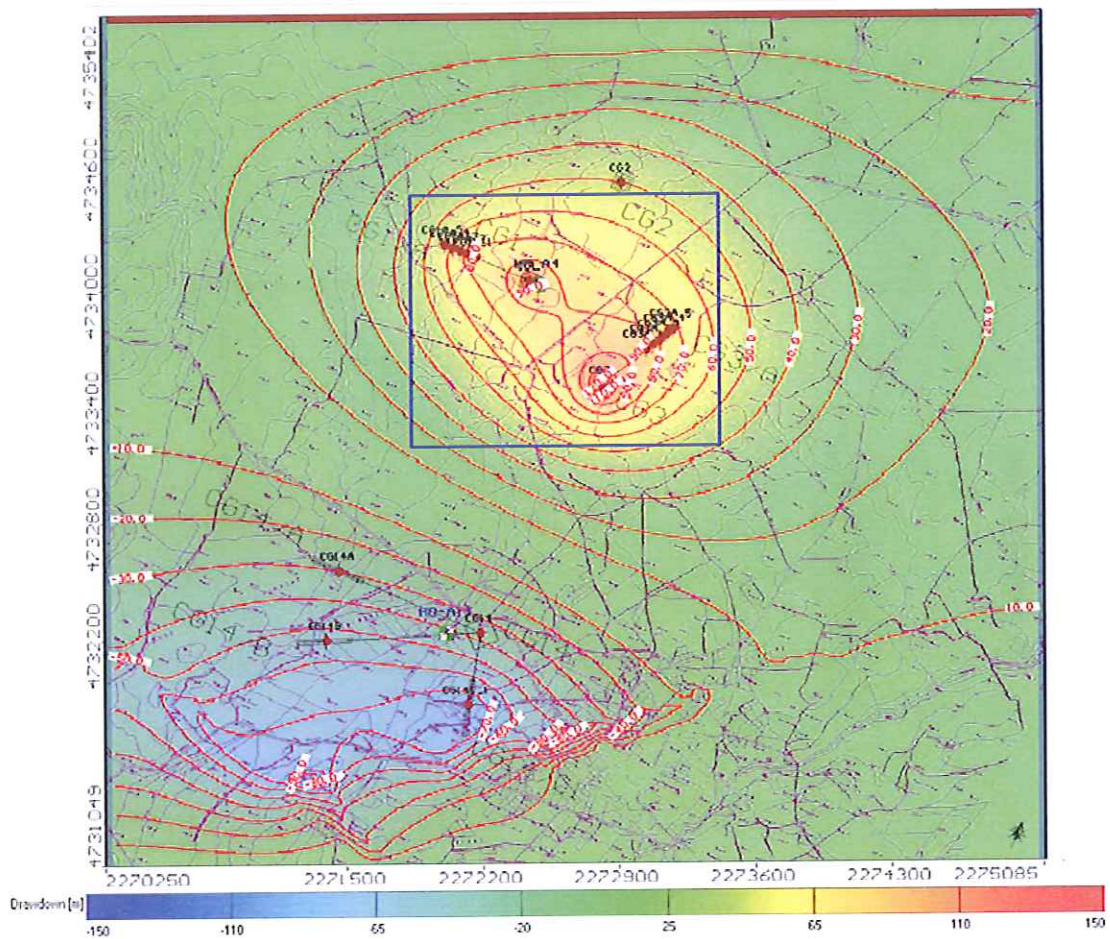


Figura 40– Abbassamenti indotti in condizioni transitorie a 30 giorni

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 63 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	

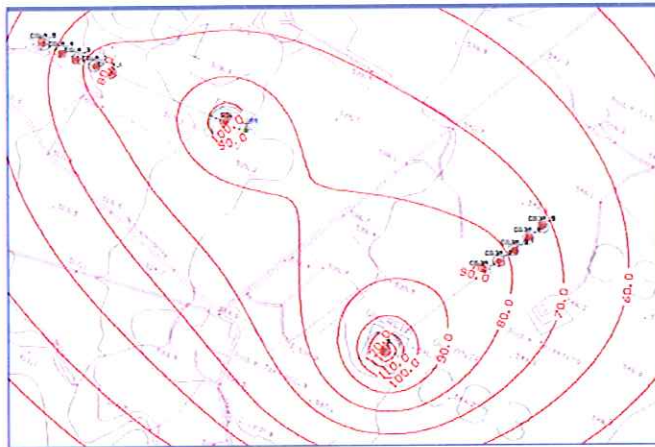
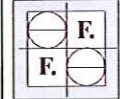


Figura 40 : Particolare drawdown a 30 giorni dall'inizio dell'esercizio in corrispondenza del pozzo CG3

In Figura 41 si riportano gli abbassamenti a 10950 giorni (30 anni) – fine ciclo che sono sostanzialmente analoghi a quelli calcolati in condizione di regime stazionario.

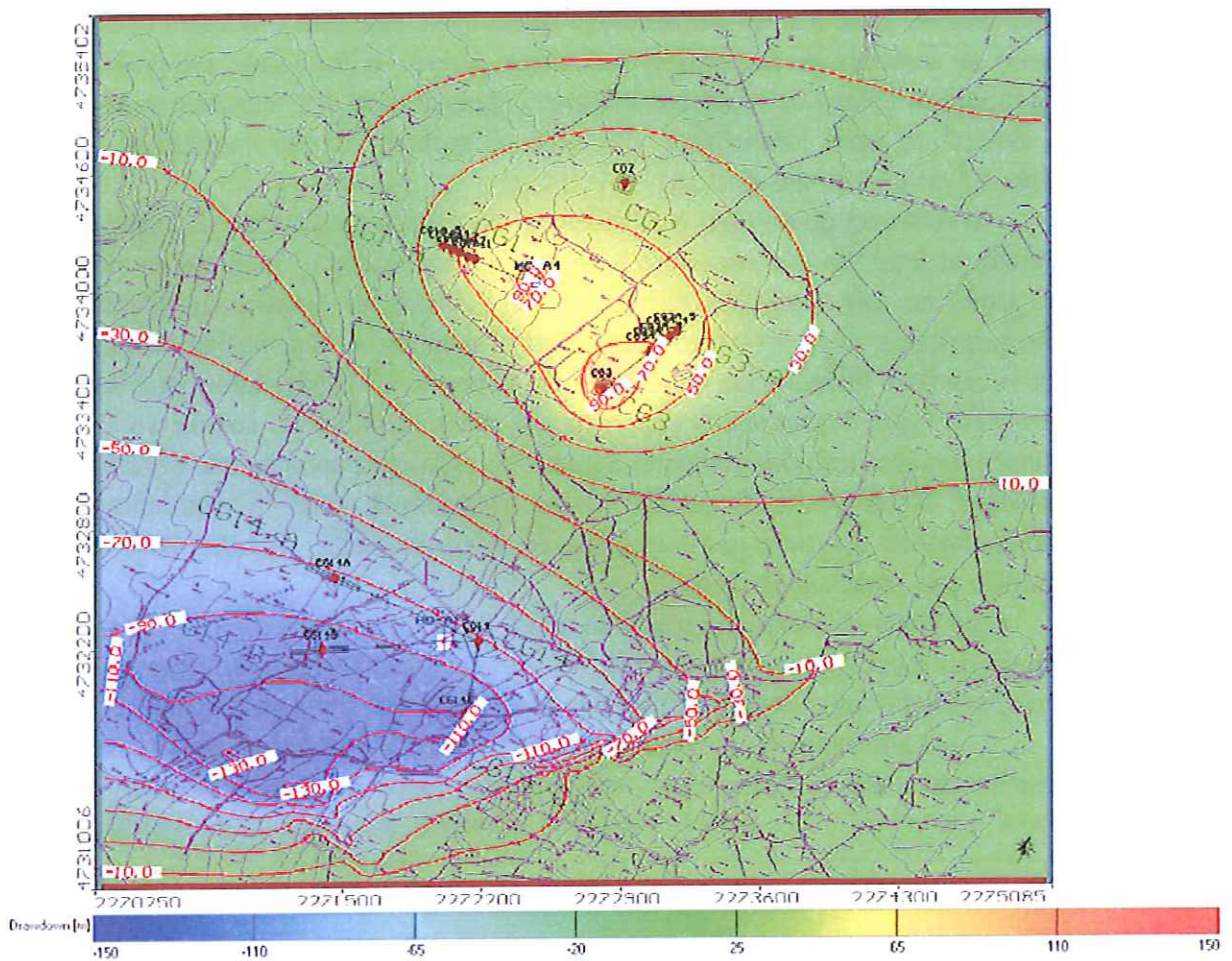


Figura 41- Abbassamenti calcolati a 30 anni dall'inizio dell'esercizio

<i>Relazione</i>	<i>Commessa :</i>	03315	<i>Data:</i>	Giugno 2015
------------------	-------------------	-------	--------------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 64 di 68
<i>Committente:</i> ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>			<i>File:</i> 03315B01
	0			
GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>				

8. CONCLUSIONI

La presente relazione contiene gli elementi essenziali per la risposta ad alcune delle prescrizioni formulate dal MATTM e dalla Regione Umbria, nell'ambito della procedura di VIA per il progetto " **Impianto Pilota Geotermico denominato Castel Giorgio** " e che riguardano gli aspetti idrogeologici del serbatoio geotermico.

Il lavoro ha comportato la formulazione preliminare del modello concettuale del campo geotermico, che è stato successivamente implementato mediante un modello matematico di flusso, realizzato tramite il software integrato VISUAL MODFLOW Premium, che si ritiene utilizzabile dato che si è in presenza di un flusso monofase (acqua); inoltre, stante l'elevato grado di tettonizzazione, per le litologie carbonatiche in questione si è ritenuto possibile fare riferimento ad un mezzo poroso equivalente, anisotropo, indipendentemente dalla temperatura.

L'applicazione della simulazione numerica ha permesso di prevedere il comportamento idrodinamico dell'acquifero geotermico, per varie condizioni al contorno, onde valutare la sostenibilità dei prelievi nel lungo periodo e formulare previsioni riguardo la compatibilità di utilizzo dei fluidi con il bilancio idrogeologico dell'acquifero vulcanico, sede di una importante falda idropotabile, dal quale è separato da un consistente spessore di sedimenti flyschoidi e neoautoctoni.

Il reservoir geotermico è ospitato nel complesso carbonatico in facies toscana ed è confinato, al tetto, da una copertura a bassissima permeabilità, costituita dai sedimenti delle Unità Liguri ed alla base dalla formazione delle Anidriti di Burano, considerata in questo lavoro acquiclude. Il complesso dei carbonati è sezionato in due serbatoi dal complesso dei calcari e marne a Rhaetavicula Contorta, a bassa permeabilità (aquitardo intermedio); talora il rigetto delle faglie dirette risulta superiore allo spessore di questo complesso e determina la continuità idraulica fra i due compartimenti. Soprattutto nella parte meridionale dell'area di studio, la presenza di faglie dirette di grande rigetto, maggiore di 1000 m, determina un rilevante approfondimento del tetto dei carbonati ed il conseguente contatto delle zone di alto strutturale con i flysch impermeabili.

Sul piano di campagna affiora la coltre delle vulcaniti vulsine che ospitano una falda utilizzata per scopo idropotabile; questa, nell'area di influenza del campo geotermico di Castel Giorgio, presenta una quota piezometrica media fra m. 450 slm e m. 470 slm.

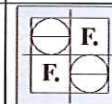
Il progetto prevede la realizzazione di 5 pozzi di produzione, da tre piazzole ubicate presso e intorno alla postazione del vecchio pozzo Alfina 4, della profondità verticale di circa 1200m cadauno e di 5 pozzi di reiniezione, in prossimità del vecchio pozzo Alfina 14, ciascuno con una profondità verticale indicativa di circa 2300m.

Il modello geologico, pur con le inevitabili semplificazioni, evidenzia che i pozzi di produzione andranno ad interessare il serbatoio carbonatico superiore, nella sua fascia corticale, dello spessore di circa 100m che, in base alle prove eseguite da ENEL, si caratterizza per una maggiore permeabilità relativa.

I pozzi di reiniezione attraverseranno tutto lo spessore del serbatoio carbonatico superiore interessando, in vario modo, la formazione a bassa permeabilità della Rhaetavicula

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 65 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>
	0		03315B01	



Contorta e quindi, stando alle attuali conoscenze, è stata prevista una localizzazione leggermente diversa del pozzo CG14C, rispetto a quanto previsto nel Progetto Definitivo, al fine di incontrare un maggiore spessore della formazione carbonatica permeabile; il nuovo pozzo è stato nominato CG14_C1.

I dati idrogeologici sono ancora insufficienti per proporre un'ipotesi univoca riguardo le condizioni di ricarica del serbatoio geotermico, e quindi la definizione precisa dei livelli piezometrici. In relazione al complesso dei dati si ritengono improbabili flussi di ricarica da Est e da Ovest; di conseguenza su questi lati dell'area di studio si sono imposte condizioni di flusso nullo.

Pertanto il modello numerico ha preso in esame due scenari di ricarica, con differenti condizioni di potenziale alla frontiera dell'area modellata: il primo modello è improntato sulla configurazione piezometrica elaborata da Buonasorte et alii, 1988, e prevede la ricarica del serbatoio dalla frontiera Nord, con quota di 335 m slm e quota in uscita a Sud di 270 m slm ; l'altro modello si basa sui flussi all'interno del serbatoio con acqua a 140°C ed è più realistico in quanto si basa sulle quote misurate o stimate nei pozzi di osservazione A4 e A14 che rappresentano le condizioni di potenziale del modello: ingresso da Sud m. 440 slm e uscita a Nord a quota m. 377 slm.

Per quanto riguarda i valori di permeabilità e di immagazzinamento attribuiti ai vari complessi/strati sono stati utilizzati valori adeguatamente cautelativi che rientrano nei range di variazione che risultano dalla letteratura, generalmente relativi a misure eseguite su carote ed in diverse condizioni ambientali ed anche da lavori che hanno riguardato lo stesso campo di Torre Alfina.

Per valutare gli scambi fra il polo di reiniezione e quello di produzione, le relazioni con il soprastante acquifero vulcanico, gli abbassamenti, le portate naturali di deflusso, etc. i dati di output del modello sono stati strutturati con specifiche Zone Budget che forniscono, in forma tabellare, i flussi fra i vari comparti.

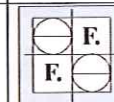
La simulazione condotta con il modello improntato sul flusso di ricarica dalla frontiera nord, ha valutato una portata naturale in ingresso al serbatoio carbonatico interessato dai prelievi, di 2629 mc/d , ossia 30 l/s circa e scambi verticali fra l'acquifero delle vulcaniti e quello sottostante delle liguridi, e quindi verso il sottostante serbatoio carbonatico, di 32 mc/giorno, ossia 0.3 l/s.

Il predetto modello, in condizioni stazionarie, a seguito della entrata in esercizio dei pozzi di produzione, ha evidenziato una morfologia piezometrica caratterizzata da una depressione centrata sul polo di produzione con inviluppo a quota 240 m slm e minimo in corrispondenza del pozzo CG1 fino a m. 200 slm. In corrispondenza del polo reiniettivo si evidenzia un alto piezometrico, con massimo sul pozzo CG14C_1, fino a circa 440 slm; mediamente l'innalzamento raggiunge quota m. 400 slm. L'estrazione di fluidi dal campo geotermico comporta, in regime stazionario, un abbassamento dell'ordine di 90 m con massimo dell'ordine di 110 m nel pozzo CG3; l'innalzamento del potenziale nell'ambito del polo reiniettivo si imposta su valori intorno a m. 110, con massimo di circa 130 m.

Inoltre, tramite la implementazione di una analisi di tipo lagrangiano, con utilizzo di

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 66 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>
	0		03315B01	



particelle poste in corrispondenza di ogni singolo pozzo (pathlines), si è stimato il tempo teorico, per il data set di caratteristiche idrodinamiche delle rocce serbatoio assunto, di raggiungimento del fluido reiniettato al polo estrattivo, che risulta dell'ordine di 1.4 anni.

Le Zone Budget evidenziano che a fronte di una portata di estrazione di 25200 mc/d, la portata di fluido ricircolato tramite la reiniezione, che raggiunge i pozzi di estrazione è di 16457 mc/d, quindi circa 65% di quanto estratto; il restante 35% viene fornito dalle condizioni al contorno; in particolare è la frontiera Nord che rafforza la propria funzione di alimentazione passando da una portata, in condizioni naturali di calibrazione, di 2629 mc/d ad una portata netta di 8835.8 mc/d. Inoltre, per quanto riguarda gli scambi verticali, si prevede un trasferimento di fluidi dal complesso delle vulcaniti al serbatoio carbonatico di 32.30 mc/d, ossia 0.37 l/s, praticamente non significativo e quindi non si prevedono variazioni sui carichi piezometrici nell'acquifero superficiale idropotabile nè effetti sul bilancio idrico dello stesso.

E' stata quindi condotta una successiva simulazione in condizioni transitorie, considerando un periodo di emungimento/reiniezione di 30 anni. In relazione all'andamento dei potenziali in corrispondenza dei pozzi di osservazione Alfina 4 e Alfina 14, in funzione del tempo, si evidenzia un sostanziale equilibrio (stabilizzazione dei livelli) di estrazione e di reiniezione dopo circa 360 giorni dall'inizio dell'esercizio, e tale si mantiene per tutto il periodo operativo; inoltre, si apprezza un altrettanto rapido recupero dei potenziali originari dopo un anno dalla sospensione dell'esercizio.

Il valore della massima depressione nel pozzo di osservazione Alfina 4, posto nell'ambito del polo di estrazione, si manifesta a 25-30 giorni dall'inizio della fase di esercizio, allorquando non si risentono ancora gli effetti indotti dalla reiniezione. A 28 giorni dall'inizio dell'esercizio il massimo abbassamento nei pozzi di emungimento, prima dell'arrivo degli effetti della reiniezione, si manifesta nel pozzo CG3, con una depressione di circa 130 m rispetto al livello di riferimento (calibrazione).

La massima elevazione della piezometrica si raggiunge a 360 giorni e si mantiene pressoché inalterata per tutto il ciclo di attività (30 anni), raggiungendo un valore di circa 130 m nella zona posta a SW del polo di reiniezione; nell'ambito dei pozzi di reiniezione si registra un valore massimo di innalzamento del potenziale pari a m 110 circa, in corrispondenza del pozzo CG14C_1

Relativamente all'analisi modellistica dello scenario relativo al serbatoio geotermico, con fluido a temperatura di 140°C, gli aspetti presi specificatamente a riferimento sono quelli relativi alle ripercussioni indotte, nell'ambito del medesimo serbatoio, dal ciclo di estrazione e reiniezione del fluido al fine di esplicitarne la efficienza e stimare le modificazioni indotte sulle condizioni ai limiti dell'area indagata.

Tali aspetti risultano di primaria importanza al fine di mettere in luce criticità eventualmente riscontrabili nella applicazione delle forzanti di sistema qualora si evidenziasse una bassa resa del ciclo reiniettivo con conseguente richiamo di quantitativi ingenti di risorse da zone poste al di fuori del dominio analizzato.

Anche in questo caso, con l'utilizzo di particelle poste in corrispondenza di ogni singolo pozzo (pathlines), si è stimato il tempo teorico, per il data set di caratteristiche

Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 67 di 68
Committente: ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>			GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecnastudioassociato@virgilio.it</i>
	0			
				

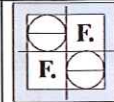
idrodinamiche delle rocce serbatoio assunto, di raggiungimento del fluido reiniettato verso il polo estrattivo, che risulta di circa 1 anno.

I risultati della modellazione eseguita hanno posto in evidenza che, nell'ambito del serbatoio geotermico, il ciclo di estrazione e reiniezione del fluido determina abbassamenti del nell'ambito del polo estrattivo, in condizioni di equilibrio, mediamente dell'ordine di 50-80 m, fino a valori massimi puntuali di 110 m in corrispondenza del pozzo CG3. L'analisi in transitorio ha evidenziato che, al di là delle condizioni di equilibrio proprie del flusso in regime stazionario, si viene a costituire, antecedentemente all'afflusso dei fluidi reiniettati, un abbassamento della piezometrica a soli 30 giorni circa dall'inizio dell'esercizio, con raggiungimento di valori massimi dell'ordine di 130 m in prossimità del pozzo CG3, cui segue una sostanziale stabilizzazione del sistema.

Analogamente la reiniezione induce una pressurizzazione dell'acquifero fino a valori dell'ordine di 90-110 m di colonna d'acqua nell'ambito del polo reiniettivo, con massimi fino a 130 m. L'analisi in transitorio, ovviamente, non porta alla luce condizioni di sovra pressurizzazione, non necessitando di afflussi esterni.

Relativamente alla valutazione della efficienza della reiniezione in termini di trasferimento di risorsa verso il polo estrattivo, i risultati del modello implementato hanno evidenziato che il fluido reiniettato permette di coprire circa il 75% della portata estratta demandando il recupero del restante 25% a carico di porzioni di serbatoio poste esternamente alla zona di scambio direttamente alimentata dalla reiniezione e/o da scambi con il secondo serbatoio carbonatico.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO				Pag 68 di 68
Committente: ITW &LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>			GEOTECNA studio associato <i>Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)</i> <i>tel +39 0763 344669</i> <i>e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it</i>
	0			



BIBLIOGRAFIA

- [1] Buonasorte et alii (*Ricerca ed esplorazione nell'area geotermica di Torre Alfina , 1988*)
- [2] Buonasorte et alii (*The Alfina 15: Deep geological data from northern Latium , 1991*)
- [3] Regione Umbria (*Studio delle potenzialità geotermiche del territorio regionale umbro, 2013 e relative recensioni*)
- [4] L.Dallan Nardi et alii (*Stratigrafia dei terreni perforati dai sondaggi ENEL nell'area geotermica di Torre Alfina, 1977*)
- [5] Carapezza et alii (*Monitoraggio geochimico e geofisico per il progetto geotermico Castel Giorgio - Torre Alfina, 2015*)
- [6] ENEL (*Relazione Tecnica Conclusiva sulla Concessione di Coltivazione "Torre Alfina"*)
- [7] G. Vignaroli et alii (*Structural compartmentalisation of a geothermal system, the Torre Alfina field (central Italy), 2013*)
- [8] ENEL (*Modellazione numerica del sistema geotermico di "Torre Alfina", 2013*)
- [9] R. Bertani e G. Cappetti (*Numerical Simulation of The Monteverdi (Western Border The Larderello Geothermal Field), 1995*)
- [10] S. Bellani and F. Gheparadi (*Thermal Modeling of an Area West of the Mt. Amiata Geothermal Field, Italy*)
- [11] Barelli et alii (*Well Stimulation in Latera Field, 1985*)