



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		DI	



**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.**

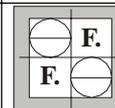
Revisione	Data	Oggetto	Redatto	Approvato	Autorizzato
0	Giugno 2015	EMISSIONE			

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

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>		pag. 2
<b>2. INTRODUZIONE</b>		pag. 3
<b>3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO</b>		pag. 3
3.1. Assetto stratigrafico e tettonico		
3.2. Assetto Idrogeologico		
<b>4. MODELLO CONCETTUALE</b>		pag. 11
<b>5. MODELLO NUMERICO</b>		pag. 17
5.1. Gridding di calcolo		
5.2. Proprietà idrauliche		
5.3. Zone Budget		
5.4. Forzanti del sistema		
<b>6. FLUSSO DI RICARICA DALLA FRONTIERA NORD</b>		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		
<b>7. FLUSSO DI RICARICA DALLA FRONTIERA SUD</b>		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		
<b>8. CONCLUSIONI</b>		pag. 64

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



## 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".*

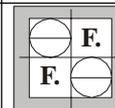
*Il modello previsionale redatto in questa fase dovrà essere verificato con un modello da implementare nella fase di esercizio come riportato al Punto A3. Lettera "b" : Il Proponente dovrà: "implementare il modello idrogeologico del serbatoio carbonatico, con lo studio delle modalità di ricarica del 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
-----------	------------	-------	-------	-------------

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



## 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 CO<sub>2</sub> 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.

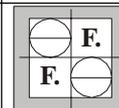
## 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

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

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

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



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
<b>Committente:</b> ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<b>Revisioni</b>			<b>GEOTECNA studio associato</b> Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	<b>File:</b>			
	<b>0</b>			
			03315B01	

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 (Calcare Rosso Ammonitico) ed infine calcari grigio-chiari con liste di selce chiara e sottili intercalazioni di marne grigio-verdi (Calcare Selcifero Superiore) , spessore complessivo circa 200 m.

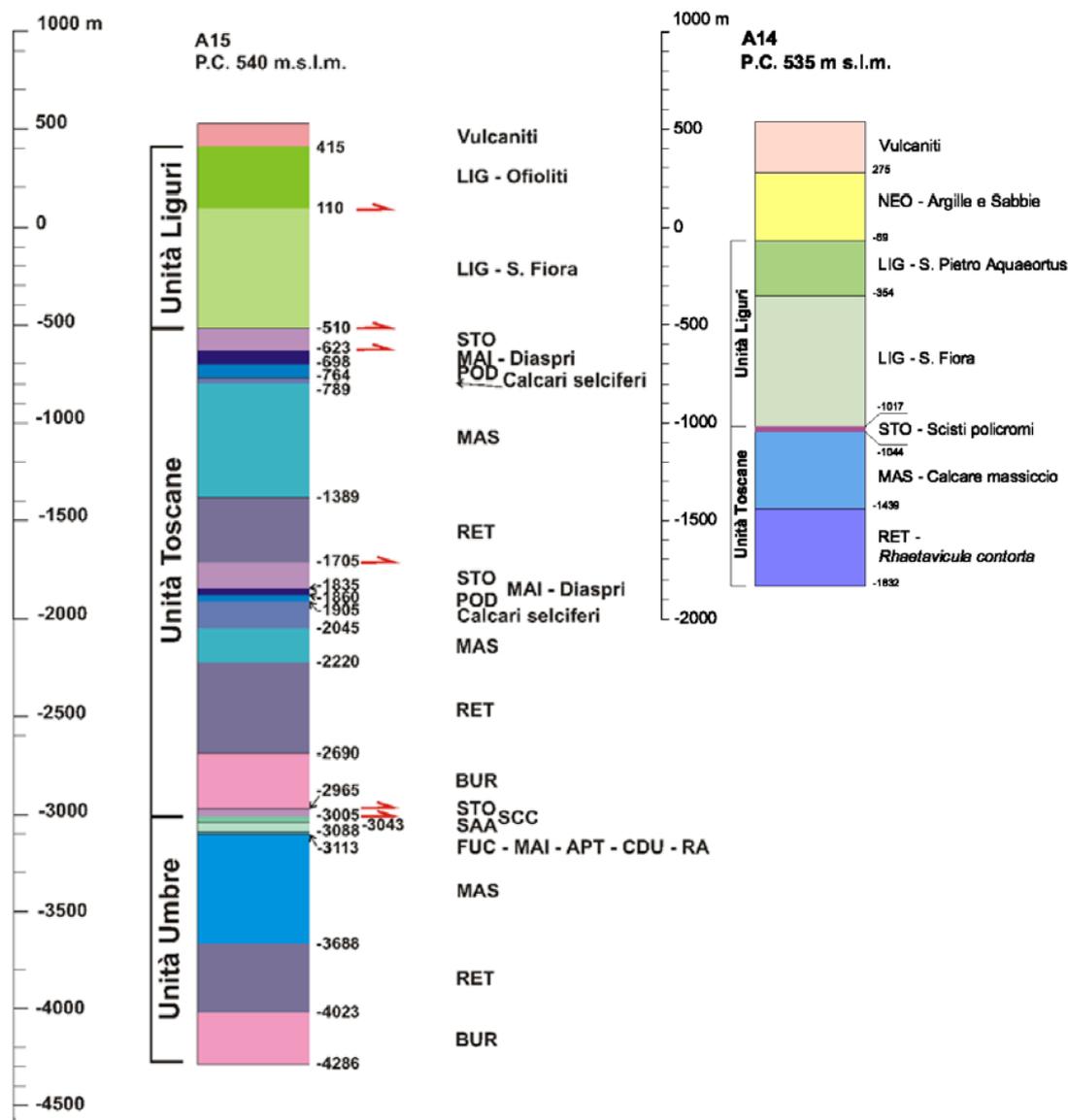
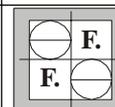
Calcare Massiccio: calcari neri e grigio-nocciola, massicci o grossolanamente stratificati, simili al Portoro ( spessore circa 80 m ) che passano, verso l'alto, a calcari di colore grigio chiaro, massicci o grossolanamente stratificati; spessore circa 600 m (pozzo Alfina 15); in corrispondenza del pozzo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

<b>REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO</b>				Pag 6 di 68
<i>Committente:</i> ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	<b>GEOTECNA studio associato</b> 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.

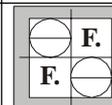
Il reservoir è confinato, al tetto, da una copertura a bassissima permeabilità, costituita dai sedimenti delle Unità Liguri e del complesso neoautoctono ed alla base dalla formazione delle Anidriti di Burano; la mancanza quasi totale di manifestazioni termali e/o da manifestazioni gassose ricche in CO<sub>2</sub>, 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].

**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

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.

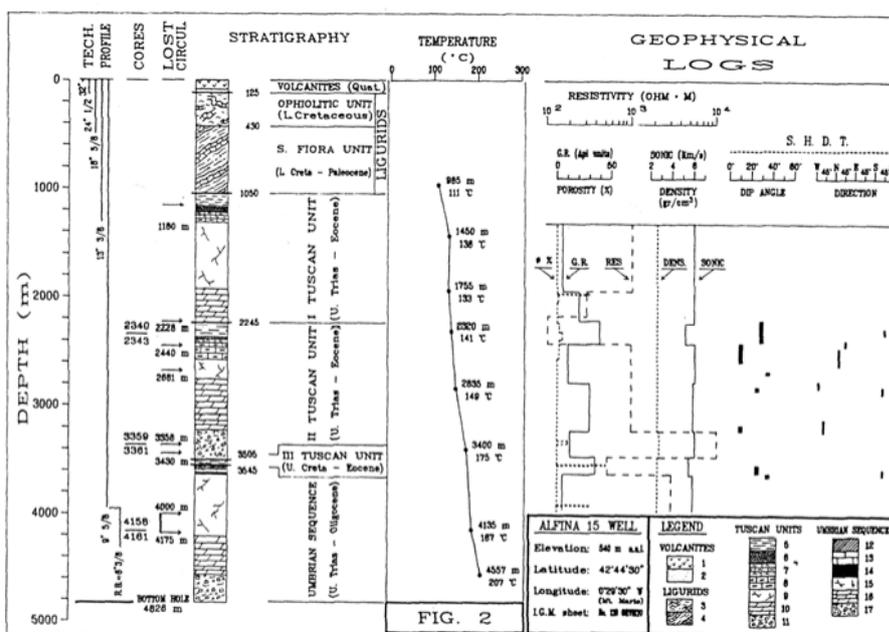


Figura 2 : Logs in pozzo ( *Deep exploration in the Alfina Geothermal field (Italy) the test Hole Alfina 15 "*)

TECTONIC UNIT	FORMATION	G.R. (API units)	RESISTIVITY (ohm·m)	VELOCITY (km/sec)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )	POROSITY fr. FDC (%)
1st TUSCAN UNIT	CALCARE MASSICCIO	5	1000	6	2.75	0
	CALCARE RHAET. CONT.	20	300	6	2.75	0 (30) <sup>(*)</sup>
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
3rd TUSCAN UNIT	ANIDRITI DI BURANO	13	20000	6.1	2.95	0 (10)
	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.

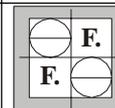
Tabella 1 : Risultati dei logs geofisici eseguiti nel pozzo Alfina 15

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 differenziati 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
<b>Committente:</b> ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<b>Revisioni</b>			<b>GEOTECNA studio associato</b> Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	<b>File:</b> 03315B01	0		



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 Neoautoctono 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**

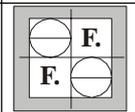
Pag  
9 di 68

**Committente:**  
ITW &LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

*Revisioni*

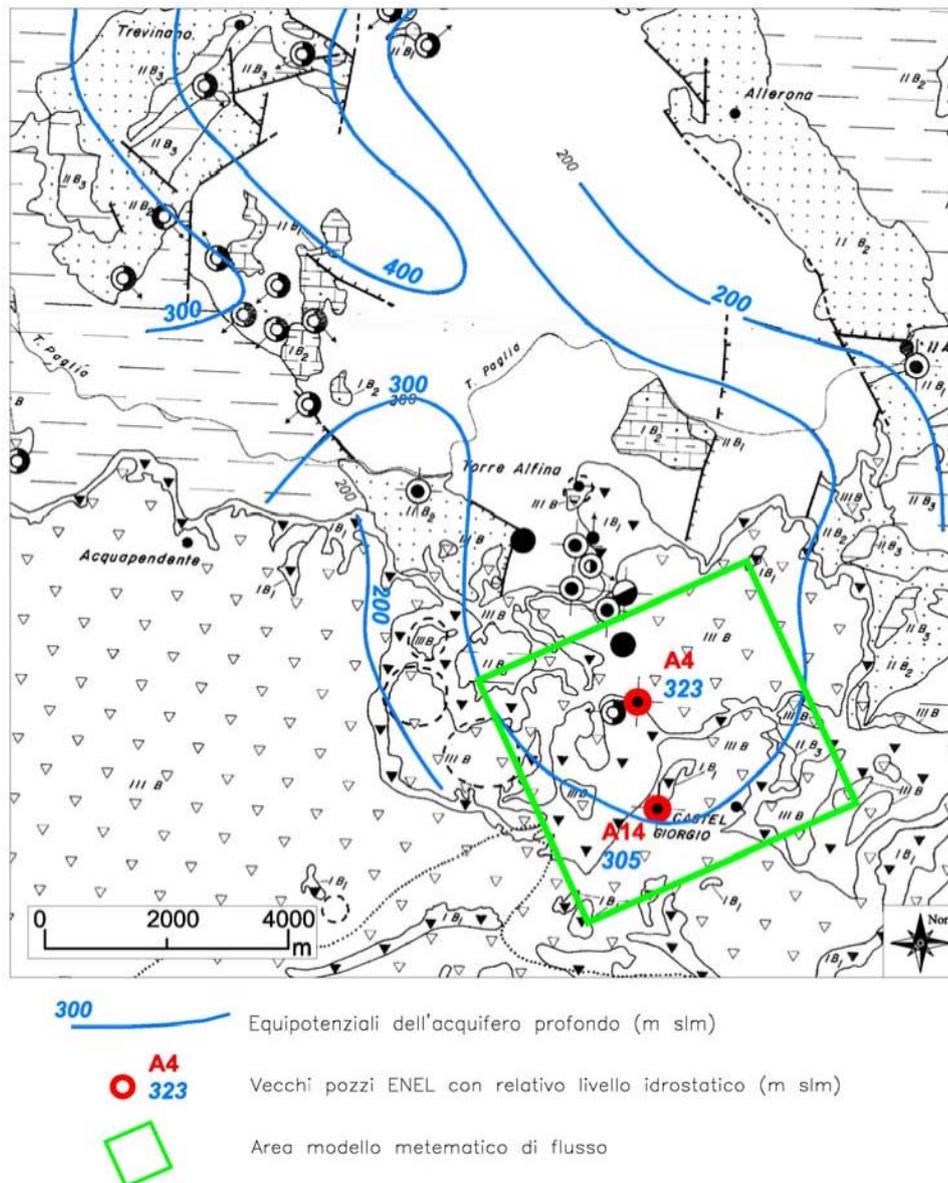
*File:*

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



**0**

03315B01

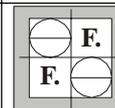


**Figura 3 :** Carta Idrogeologica- da Buonasorte et alii 1988

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.

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

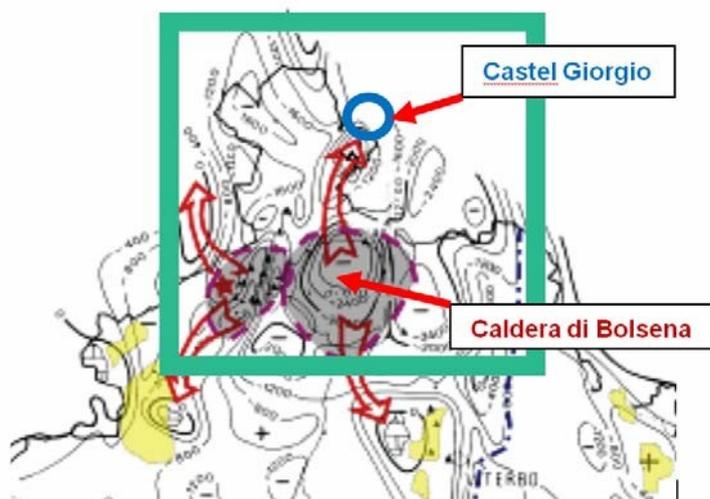
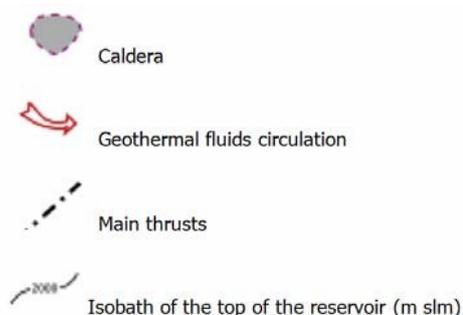
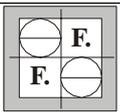
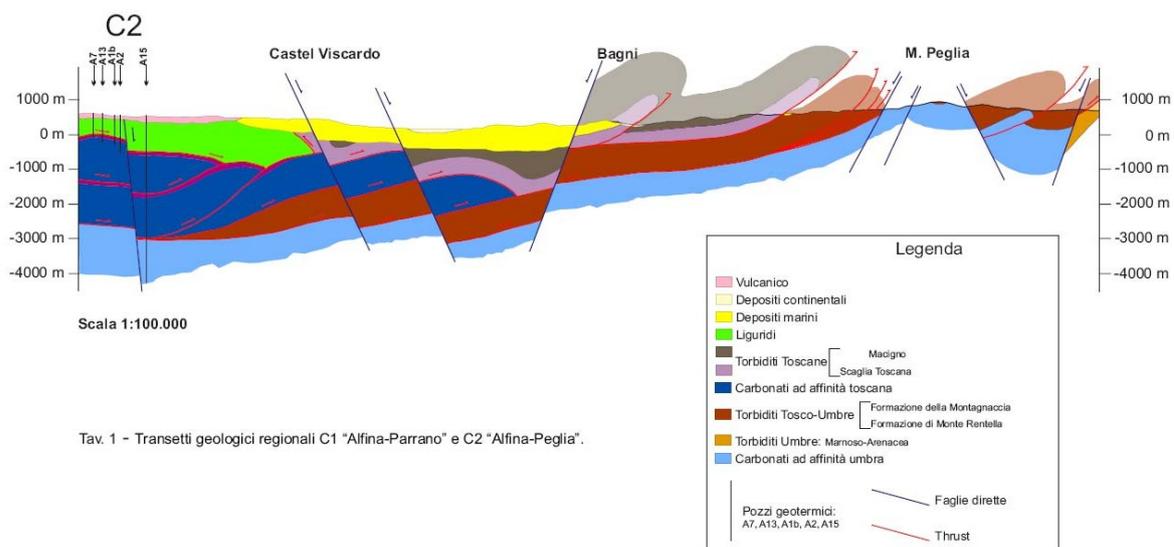


Figura 4: Ipotesi di circolazione fluidi geotermici (Vignaroli et alii, 2013)



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.

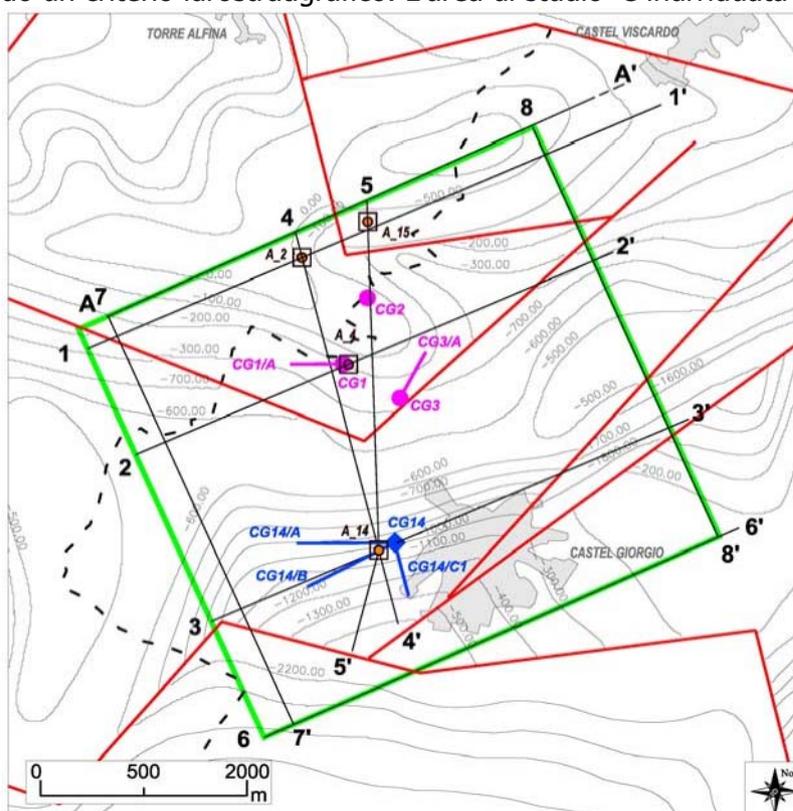
<b>REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO</b>				Pag 11 di 68
<b>Committente:</b> ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>	<i>File:</i>	<b>GEOTECNA studio associato</b> Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it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



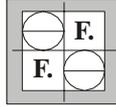
**Figura 5:** Transetto geologico regionale C2 " Alfina – Peglia (*Studio delle potenzialità geotermiche del territorio regionale Umbro–R.U. 2013*)

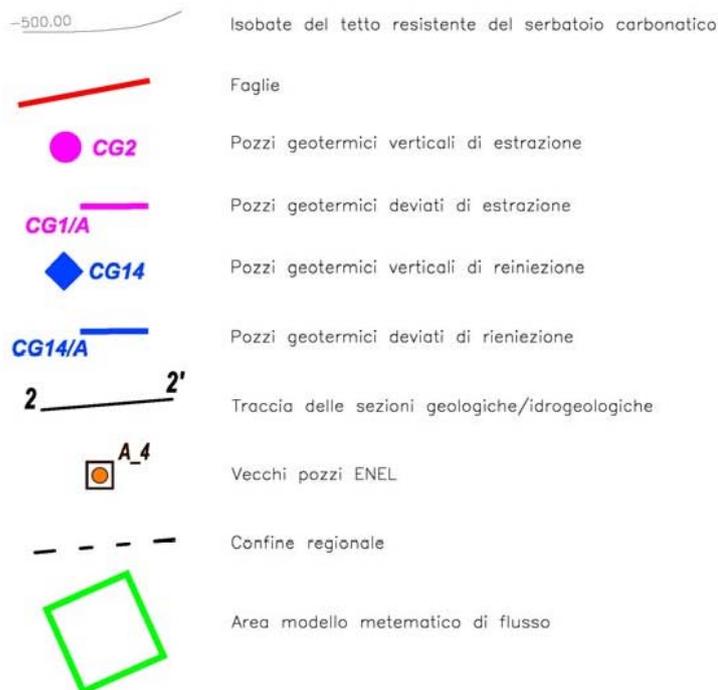
## 4. MODELLO CONCETTUALE

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
<b>Committente:</b> ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<b>Revisioni</b>			<b>File:</b>  03315B01
	0			
<b>GEOTECNA studio associato</b> Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it				



L'area di studio copre una superficie totale di circa 21 km<sup>2</sup> 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

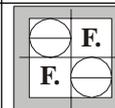
Detta area è stata stabilita tenendo conto dell'esigenza di includere al suo interno i pozzi di estrazione e di reiniezione oggetto di questo studio ed una superficie circostante, necessaria per limitare il più possibile gli effetti di bordo nell'area di interesse.

La base cartografica, ripresa dal lavoro di Buonasorte ed allì 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 );

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



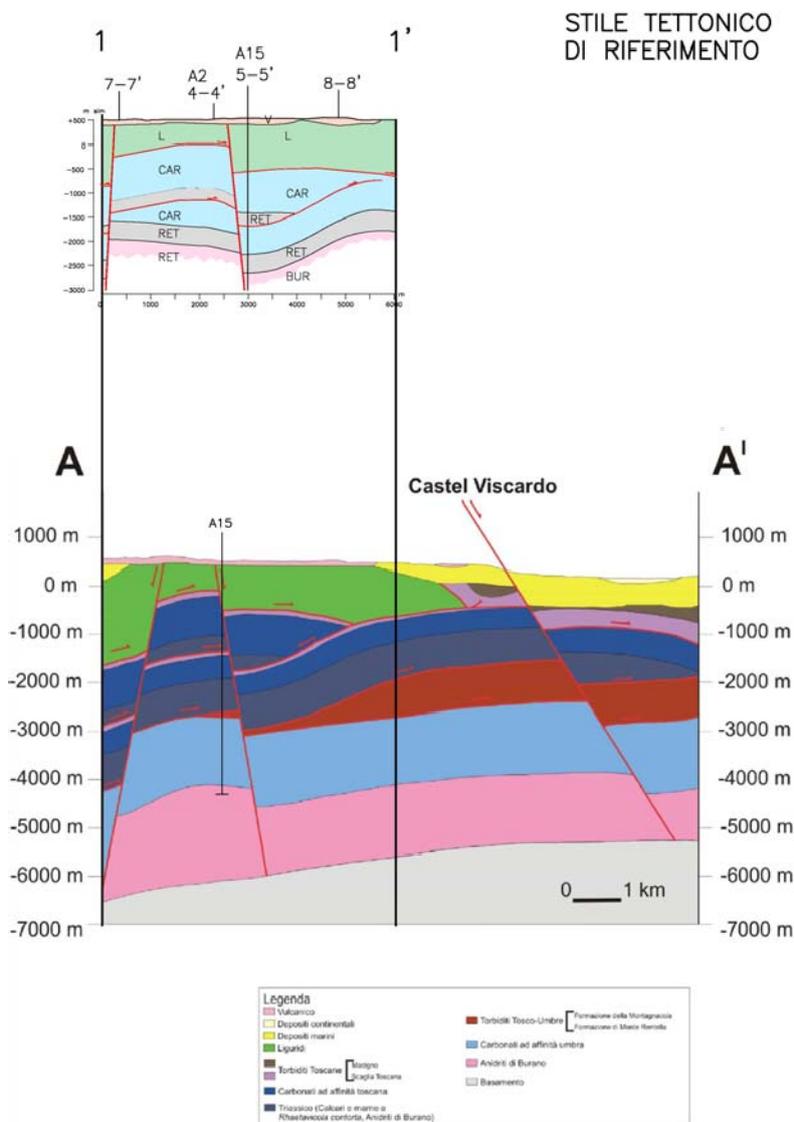
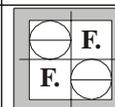
l'autore specifica che nella predetta sezione le faglie dirette sono state ridotte in numero, prendendo in considerazione solo quelle più importanti.

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:

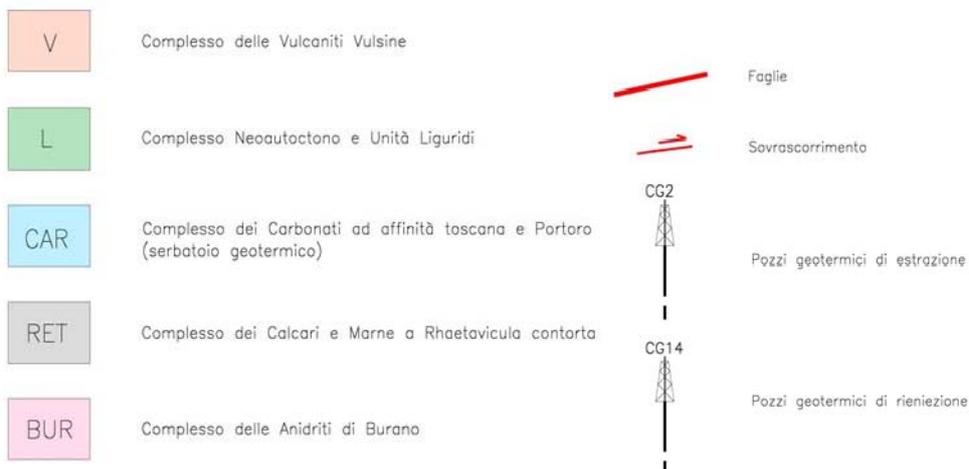
- Complesso delle Vulcaniti Vulsine (V): permeabilità elevata - acquifero freatico.
- Complesso Neoautoctono e Unità Liguri (L) : bassa permeabilità - acquiclude superiore.
- Complesso dei Carbonati ad affinità Toscana (CAR) : permeabilità elevata – acquifero confinato distinto in serbatoio superiore 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.

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



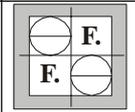
**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO  
DENOMINATO CASTEL GIORGIO**

**Committente:**  
ITW & LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

*Revisioni*

*File:*

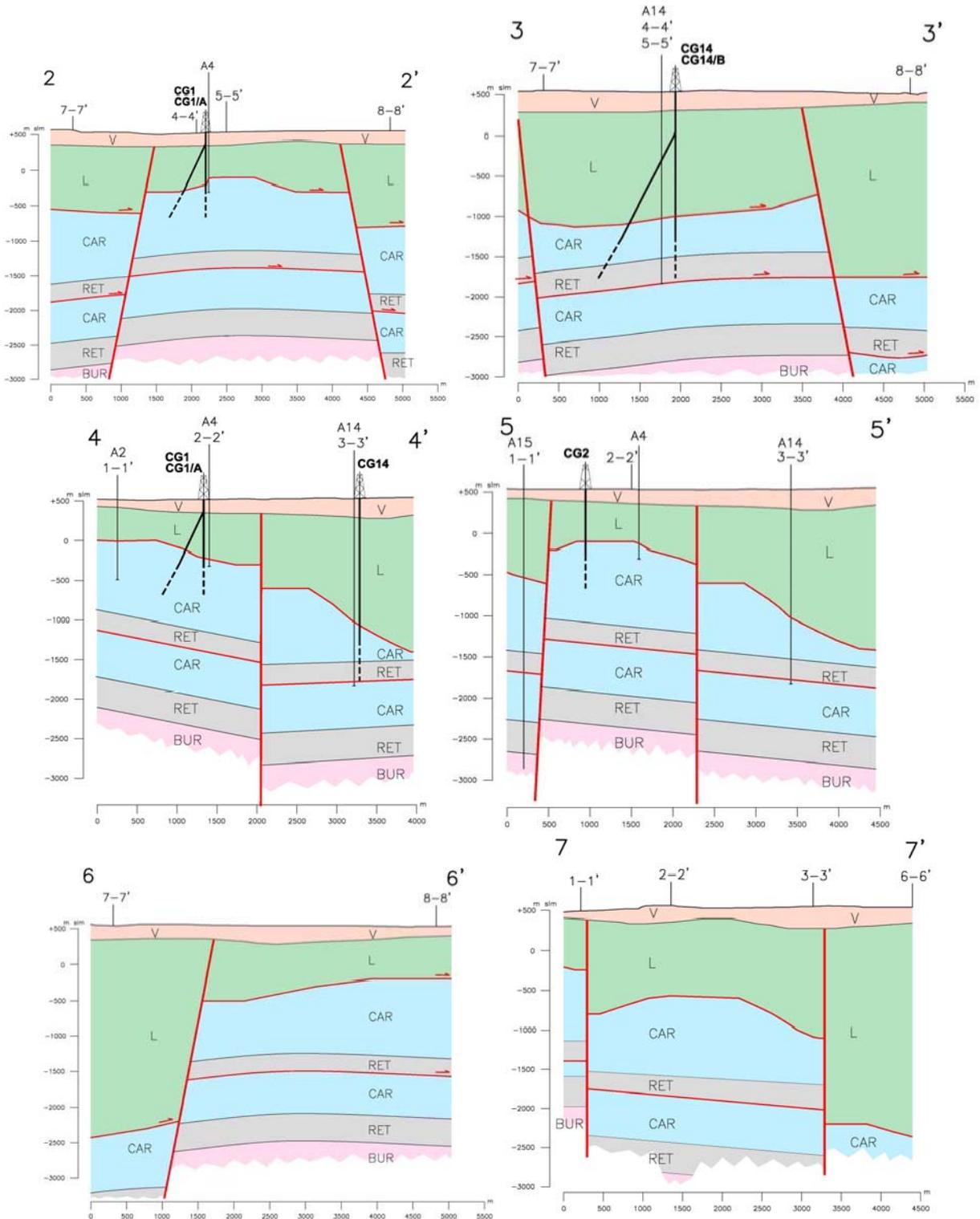
**GEOTECNA studio associato**  
Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR)  
tel +39 0763 344669  
e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it

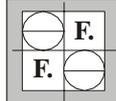


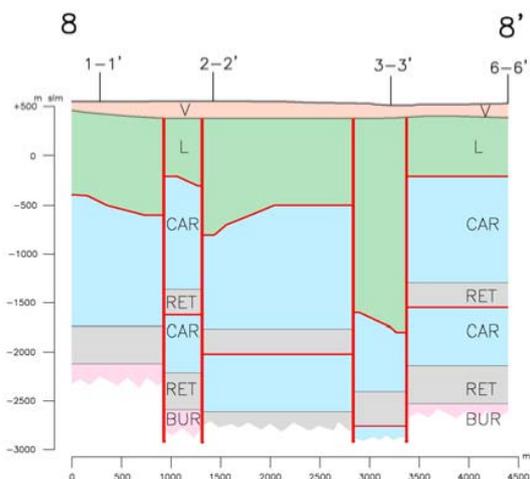
**0**

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.



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



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.

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

<b>REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO</b>				Pag 17 di 68				
<i>Committente:</i> ITW &LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	<b>GEOTECNA studio associato</b> Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it				
	<b>0</b>		03315B01					
				<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">F.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F.</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> </table>	○	F.	F.	○
○	F.							
F.	○							

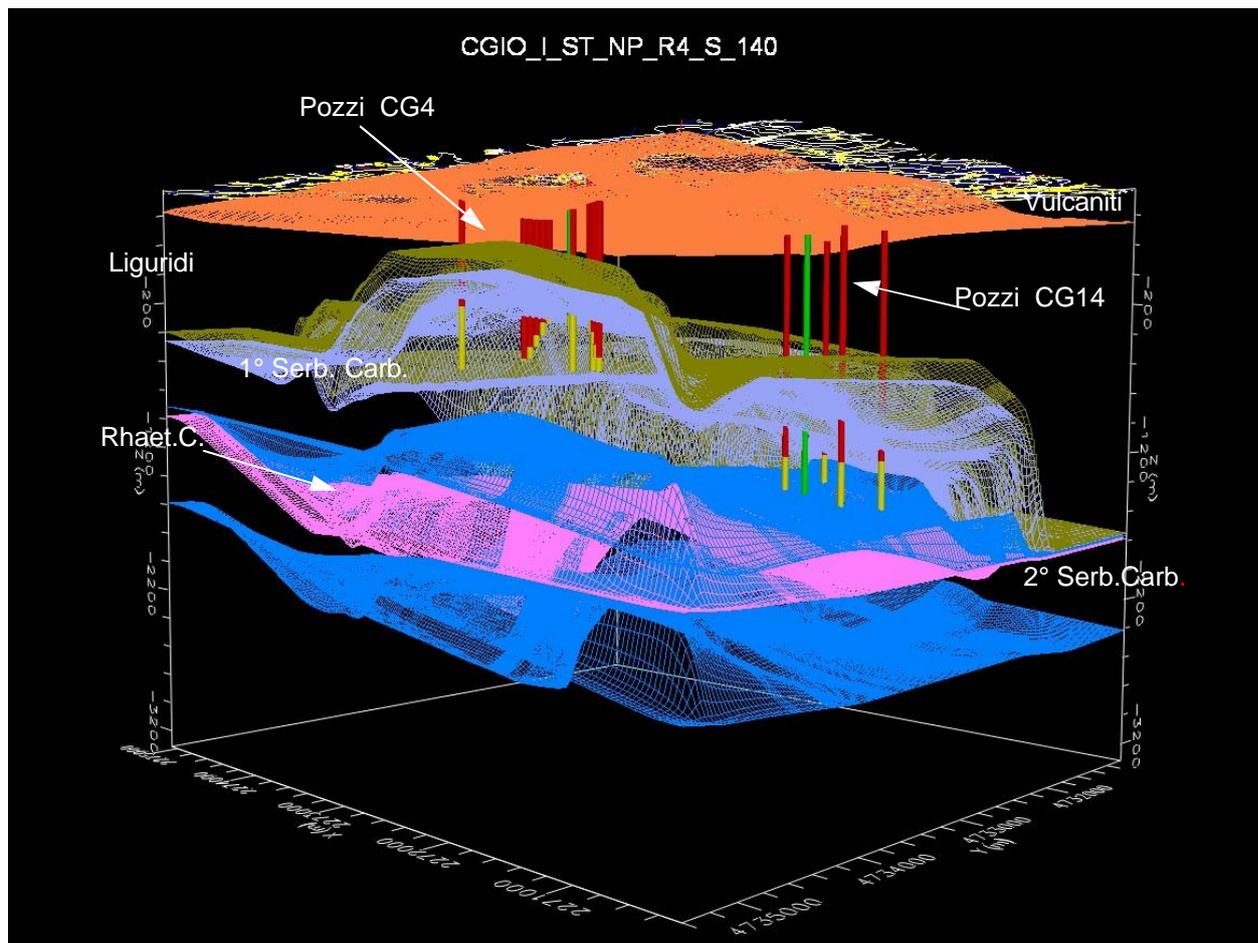


Figura 8: Modello geologico tridimensionale con individuazione di ogni strato in celle

## 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 telescopicamente 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.

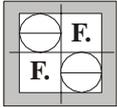
Relazione	Commessa :	03315	Data:	Giugno 2015
-----------	------------	-------	-------	-------------

**Committente:**  
ITW &LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

*Revisioni*

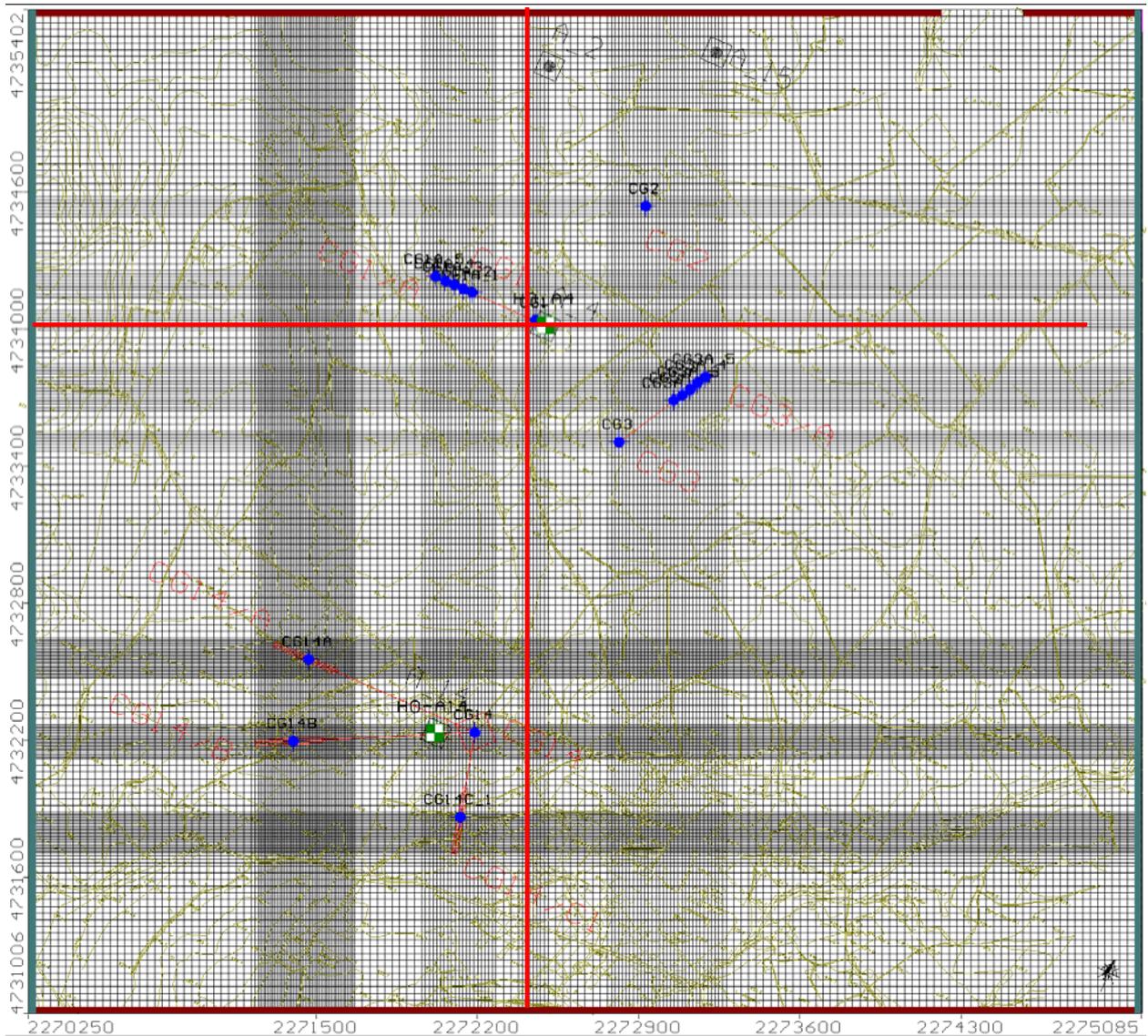
*File:*

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

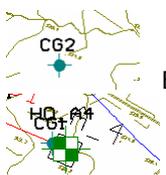


**0**

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 noter , nell'ambito dello strato 3, riferito al serbatoio carbonatico superiore, viene identificato, con la dicitura : Layer6, il livello superiore, continuo, a pi  alta permeabilit  dello spessore di circa 100 m.

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

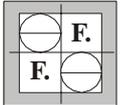
Pag  
19 di 68

**Committente:**  
ITW &LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

*Revisioni*

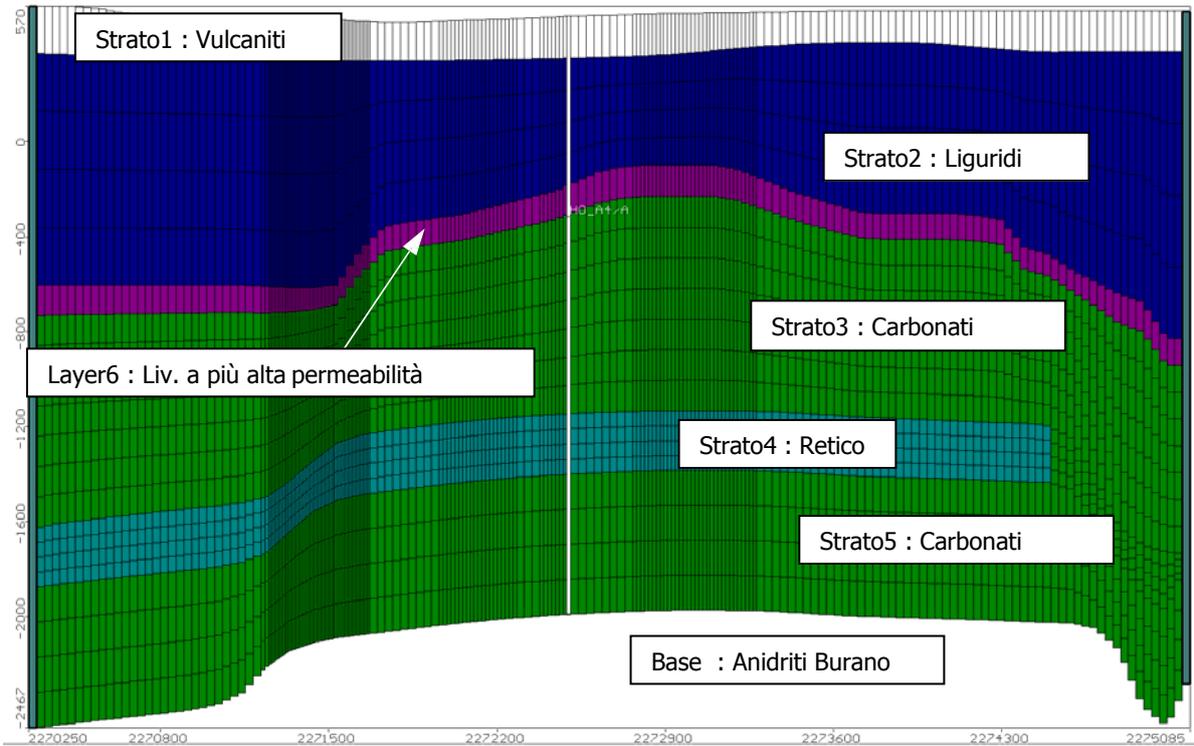
*File:*

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

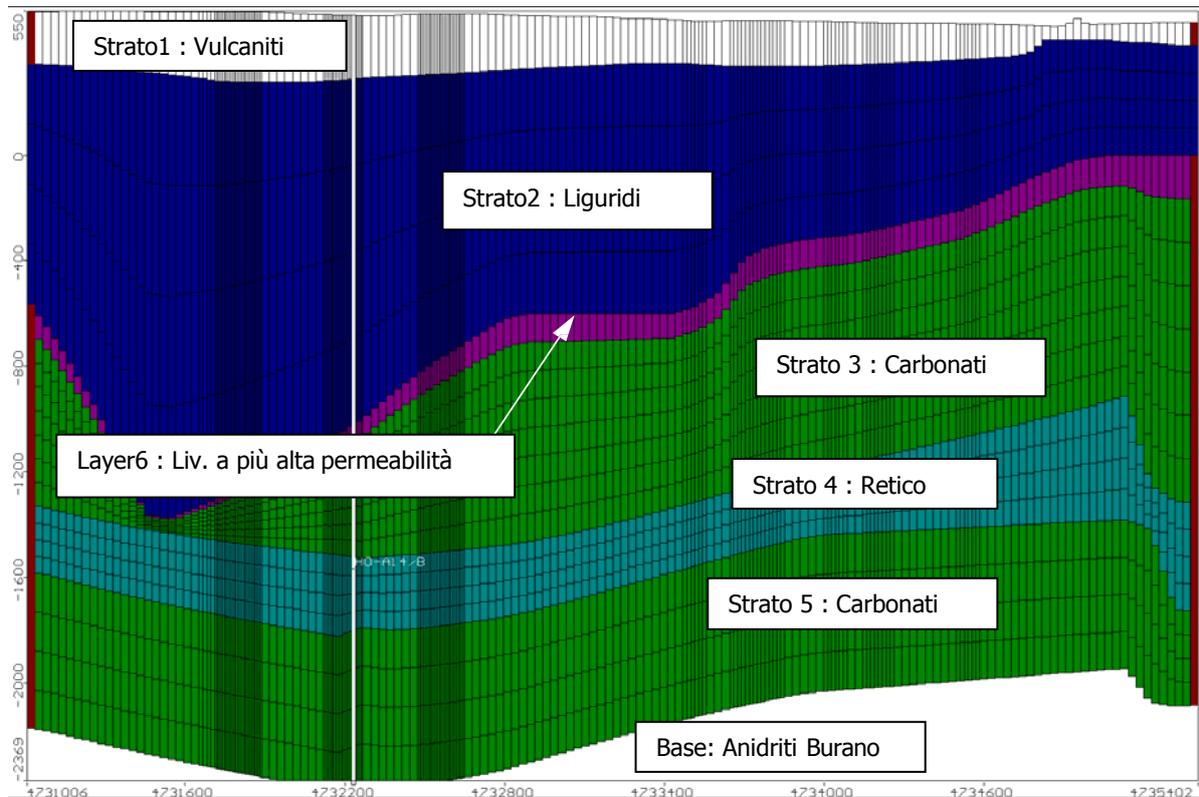


**0**

03315B01



**Figura 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		
<b>Committente:</b> ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<b>Revisioni</b>			<b>File:</b> 03315B01	<b>GEOTECNA studio associato</b> Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it	
	0					

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 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
<b>Committente:</b> ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<b>Revisioni</b>			<b>File:</b> 03315B01
	0			
<b>GEOTECNA studio associato</b> Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it				

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  $\kappa$  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:

$\gamma_w$  = peso dell'acqua 925.93 kg/m<sup>3</sup> - T= 140 °C

$\eta$  = viscosità dinamica dell'acqua 0.196 cpoise - T= 140 °C

$\kappa$  = grandezza caratteristica del solo mezzo poroso ( cm<sup>2</sup>); 1 Darcy corrisponde a circa 9,87·10E-9 cm<sup>2</sup>.

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 m<sup>2</sup> 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

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

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 flyschoidale di  $1 \text{ E-9 m/s}$ .

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  $1.3 \text{ E-14 m}^2$  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  $1 \text{ E-16 m}^2$  e  $5 \text{ E-15 m}^2$ , ossia, approssimativamente:  $4.6 \text{ E-7 m/s}$  e  $4.6 \text{ E-6 m/s}$ .

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 checked="" 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

Buttons: Reset Order, Clean Up, Advanced >>, OK, Cancel

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

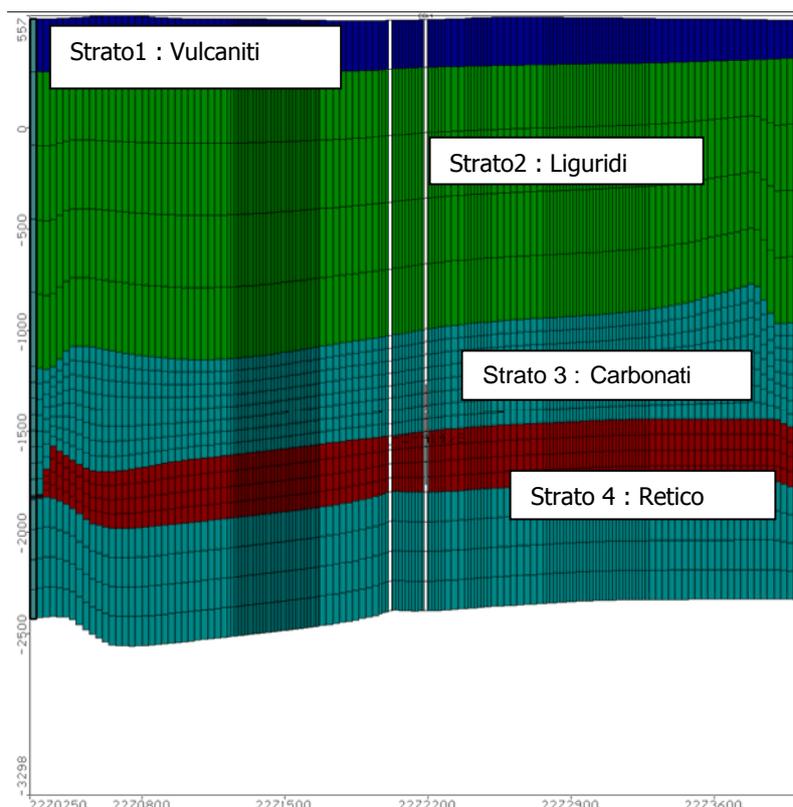
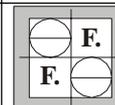


Figura 12- Sezione WSW-ENE (riga 150 modello ) passante per Alfina 14 e pozzo di reiniezione CG14b

### 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	Short 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

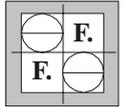
**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO  
DENOMINATO CASTEL GIORGIO**

**Committente:**  
ITW &LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

*Revisioni*

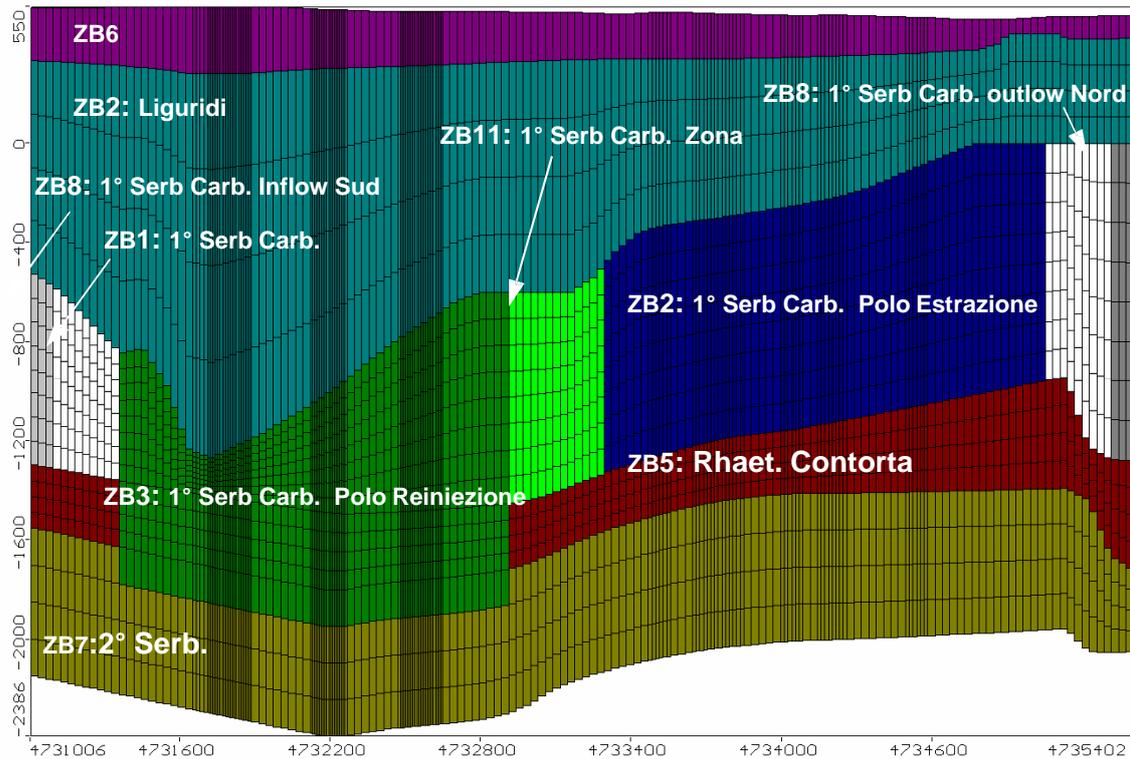
*File:*

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

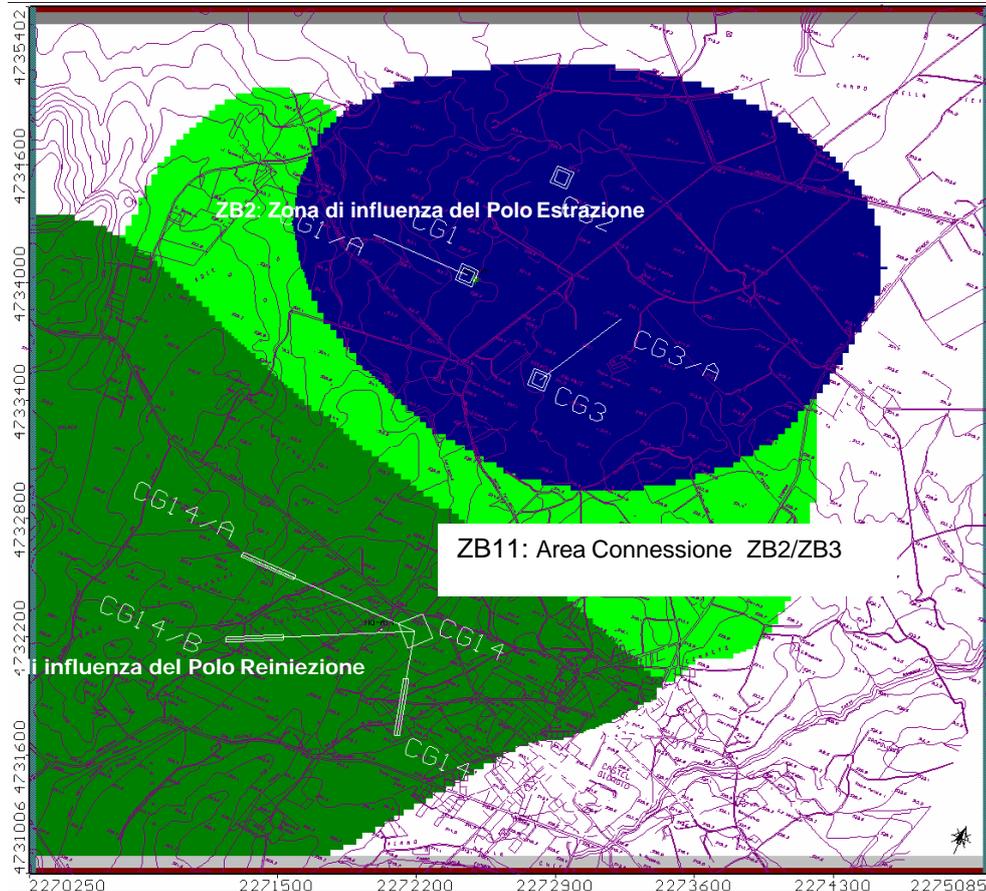


**0**

03315B01

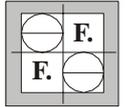


**Figura 13:** Distribuzione verticale delle Zone Budget



**Figura 14:** Distribuzione orizzontale delle Zone Budget nel serbatoio carbonatico

<b>REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO</b>					Pag 25 di 68	
<i>Committente:</i> ITW &LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>			<i>File:</i>	<b>GEOTECNA studio associato</b> Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it	
	<b>0</b>			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>
CG1	526	800	-274		210	58.3
		1200		-674		
	<i>m slm</i>	<i>m</i>	<i>m slm</i>		<i>t/h</i>	<i>l/s</i>
CG1A	526	800	-274		42	11.7
		880	-354	-354		
		960	-434	-434		
		1040	-514	-514		
		1120	-594	-594		
		1200		-674		
CG2	535	800	-265		210	58.3
		1200		-665		
CG3	540	800	-260		210	58.3
		1200		-660		
CG3A	540	800	-260		42	11.7
		880	-340	-340		
		960	-420	-420		
		1040	-500	-500		
		1120	-580	-580		
		1200		-660		

Tabella 5- Pozzi di estrazione

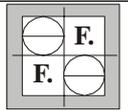
In Figura 15 si riporta la schematizzazione del pozzo verticale introdotta nel modello, con parte filtrante inserita da quota – 665 m a – 265 m slm.

**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

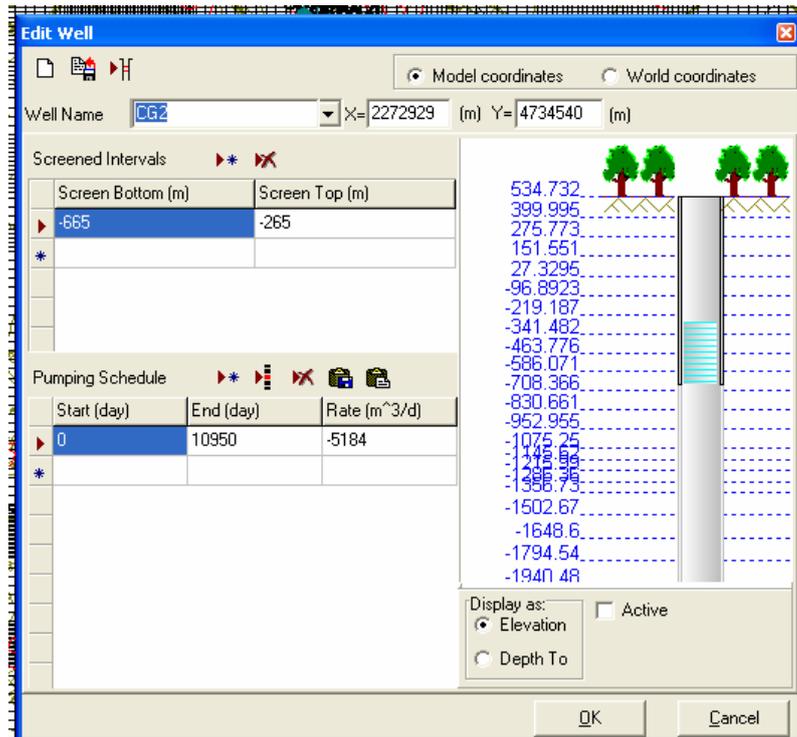


Figura 15 – Pozzo verticale CG2

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

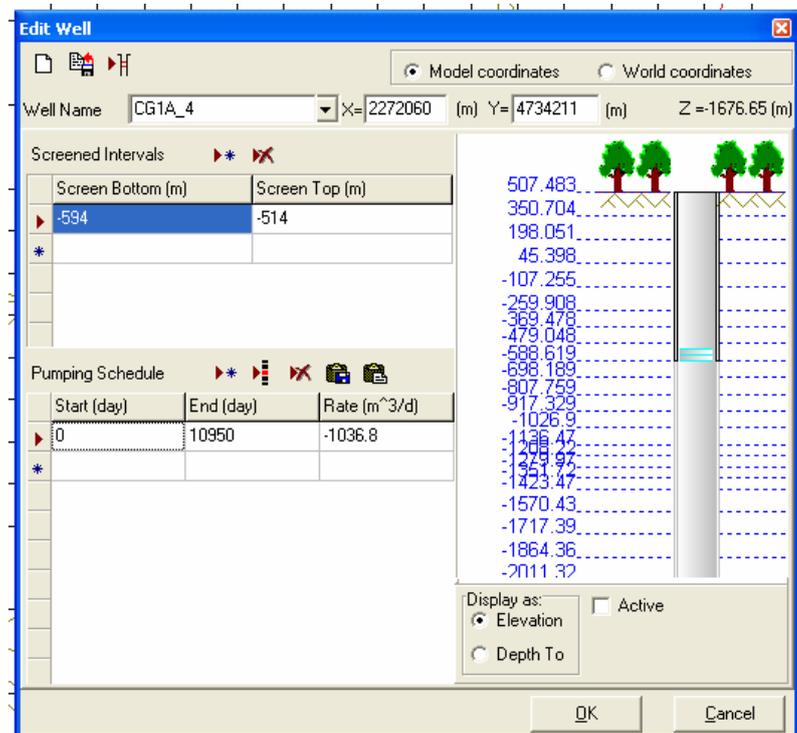


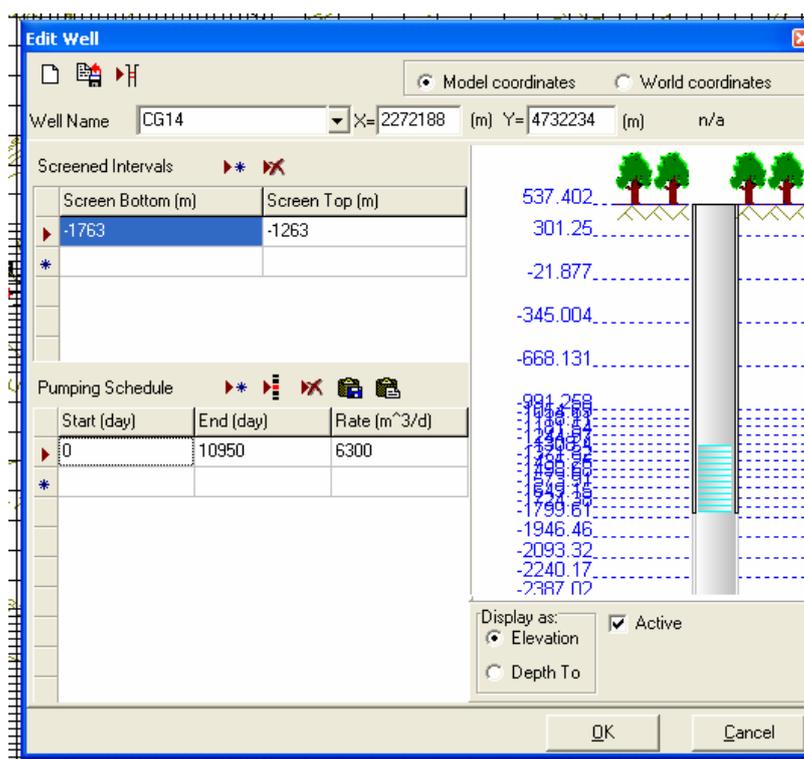
Figura 16 – Pozzo deviato CG14A\_4

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	<b>6300</b>
		2300		-1763			

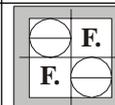
**Tabella 6** – Pozzi di reiniezione

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

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



## 6. FLUSSO DI RICARICA DALLA FRONTIERA NORD

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

#### 6.1.1. Complesso delle vulcaniti Vulsine

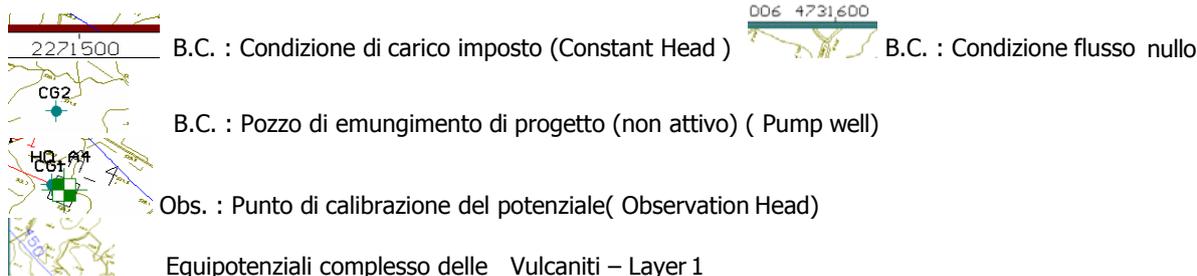
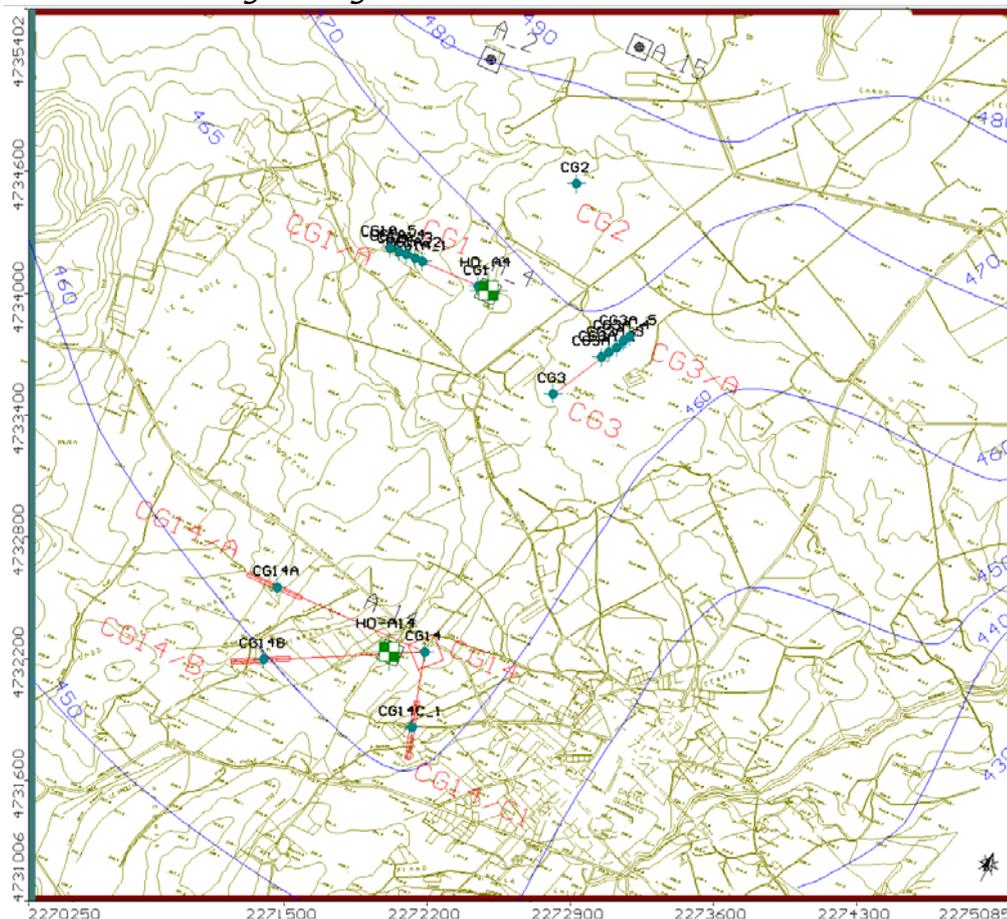
Per quanto attiene le condizioni di ricarica si è assunto, sulla base di precedenti studi, un valore della infiltrazione efficace di 230 mm/anno, distribuita sul Layer 1.

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*

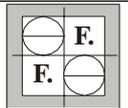
Constant Head uscita Sud : *da m. 455 slm a m. 430 slm*

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



**Figura 18** : Boundary Conditions del Complesso delle Vulcaniti

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



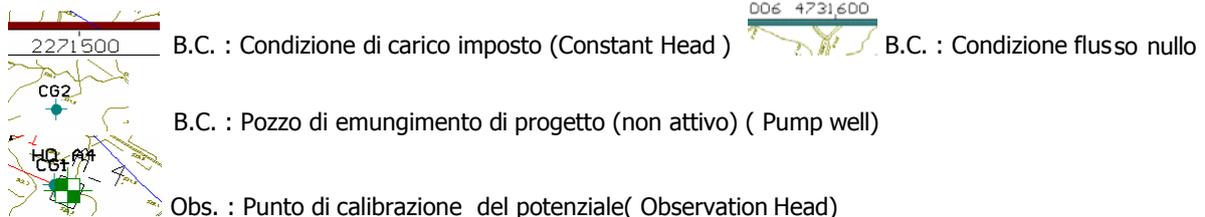
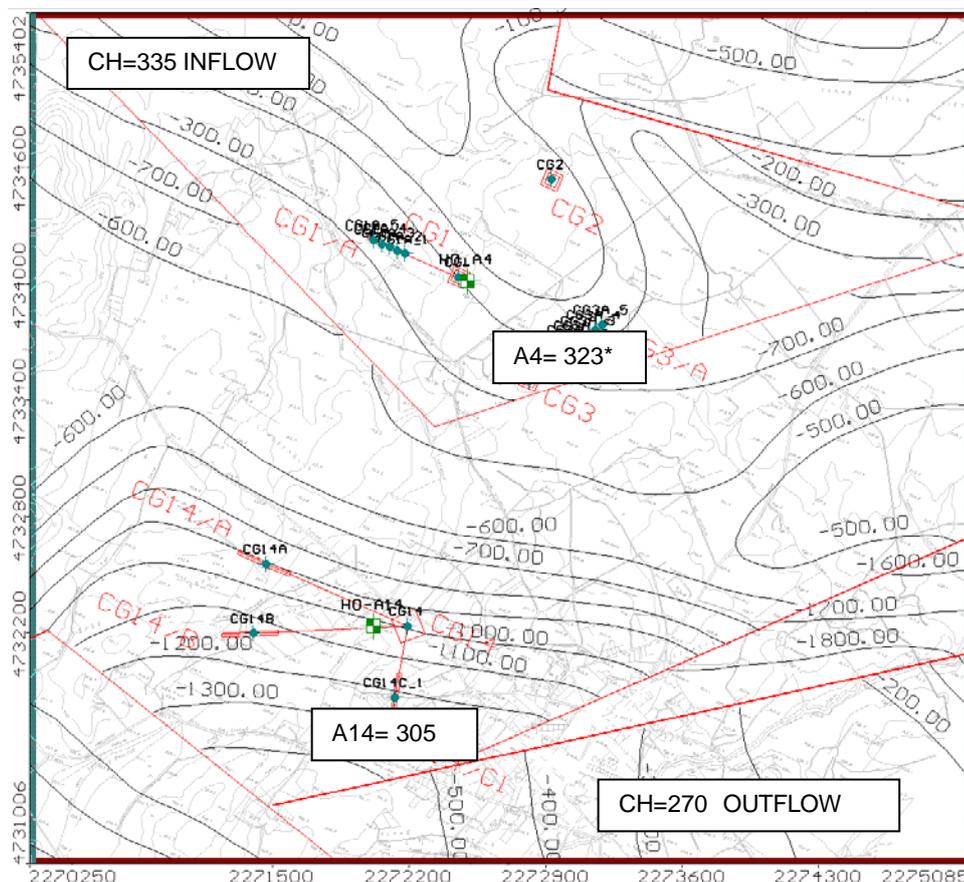
### 6.1.2. Complesso dei carbonati

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*

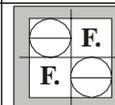
Inactive Flow : lungo i margini orientale ed occidentale : Cond. Flusso Nullo



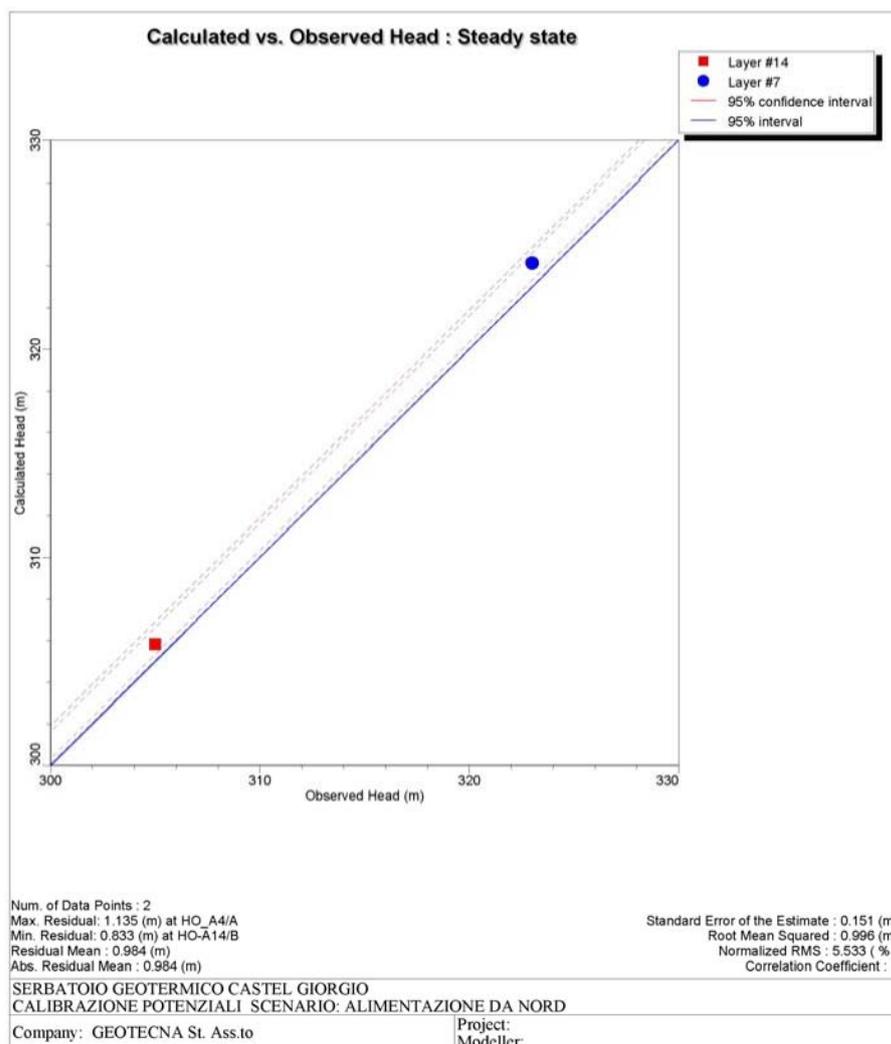
**Figura 19** – Boundary Conditions del serbatoio carbonatico superiore – Riferimento Layer6

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 .

<b>REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO</b>				Pag 30 di 68
<i>Committente:</i> ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	<b>GEOTECNA studio associato</b> Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	0		03315B01	



In Figura 20 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 20-** 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 21.

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

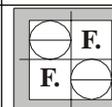
Pag  
31 di 68

**Committente:**  
ITW & LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

*Revisioni*

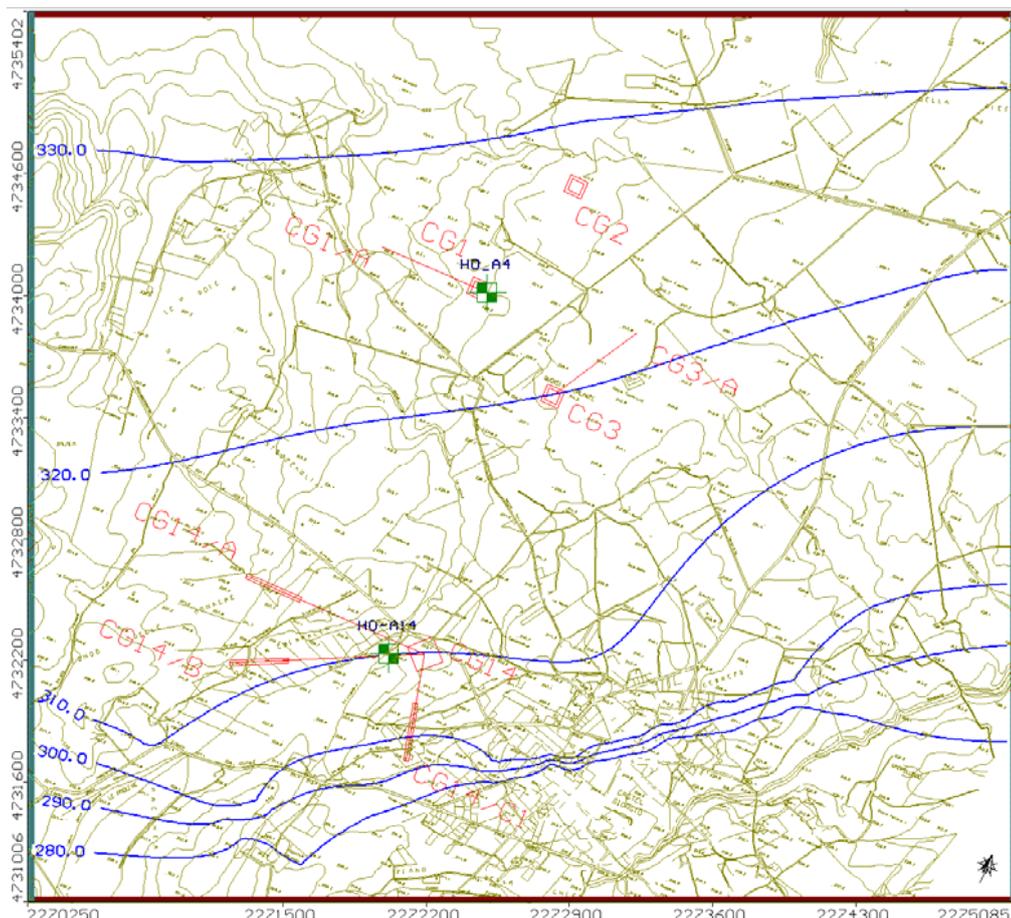
*File:*

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



**0**

03315B01



**Figura 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.

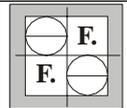
**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO  
DENOMINATO CASTEL GIORGIO**

**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 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 <sup>3</sup> /day	Storage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Constant Head = 2629.00 m <sup>3</sup> /day	Constant Head = 0.22 m <sup>3</sup> /day
Wells = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Wells = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Drains = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Drains = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Recharge = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Recharge = 0.00 m <sup>3</sup> /day
ET = 0.00 m <sup>3</sup> /day	ET = 0.00 m <sup>3</sup> /day
River Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	River Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Stream Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Stream Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
General-Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day	General-Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 1 to 9 = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Zone 9 to 1 = 2629.70 m <sup>3</sup> /day
Zone 4 to 9 = 0.67 m <sup>3</sup> /day	Zone 9 to 4 = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 5 to 9 = 0.32 m <sup>3</sup> /day	Zone 9 to 5 = 0.05 m <sup>3</sup> /day
<b>Total IN = 2630.00 m<sup>3</sup>/day</b>	<b>Total OUT = 2630.00 m<sup>3</sup>/day</b>

Zone9  
Difference  
IN - OUT = -1.6949E-5 m<sup>3</sup>/day  
Percent Discrepancy = 0%

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

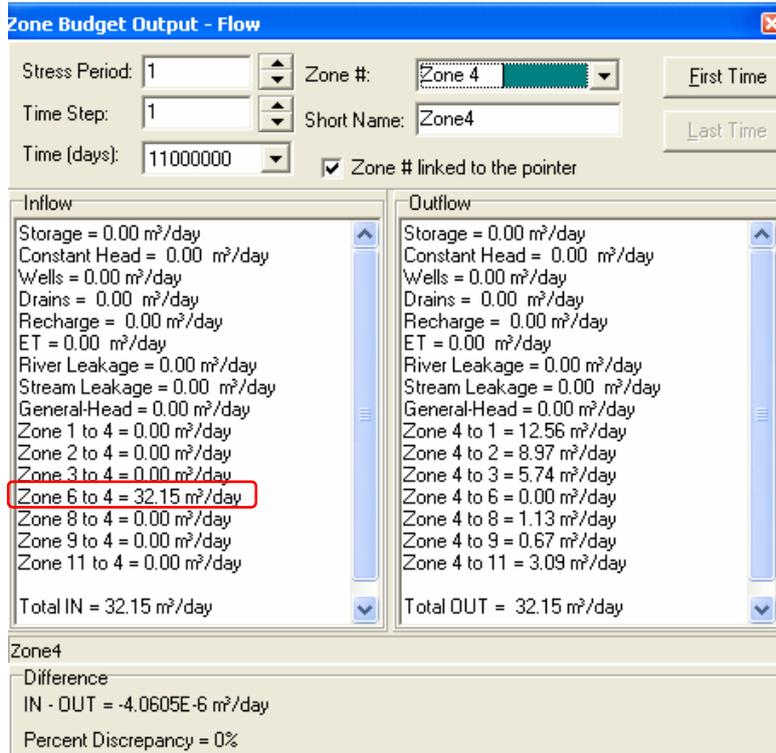
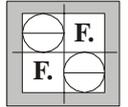
**Zone Budget Output - Flow**

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

Zone8  
Difference  
IN - OUT = -2.8421E-6 m<sup>3</sup>/day  
Percent Discrepancy = 0%

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



**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.

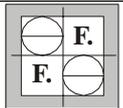
In Figura 22 sono riportate le equipotenziali calcolate dal modello per il layer 6.

**Committente:**  
ITW & LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

*Revisioni*

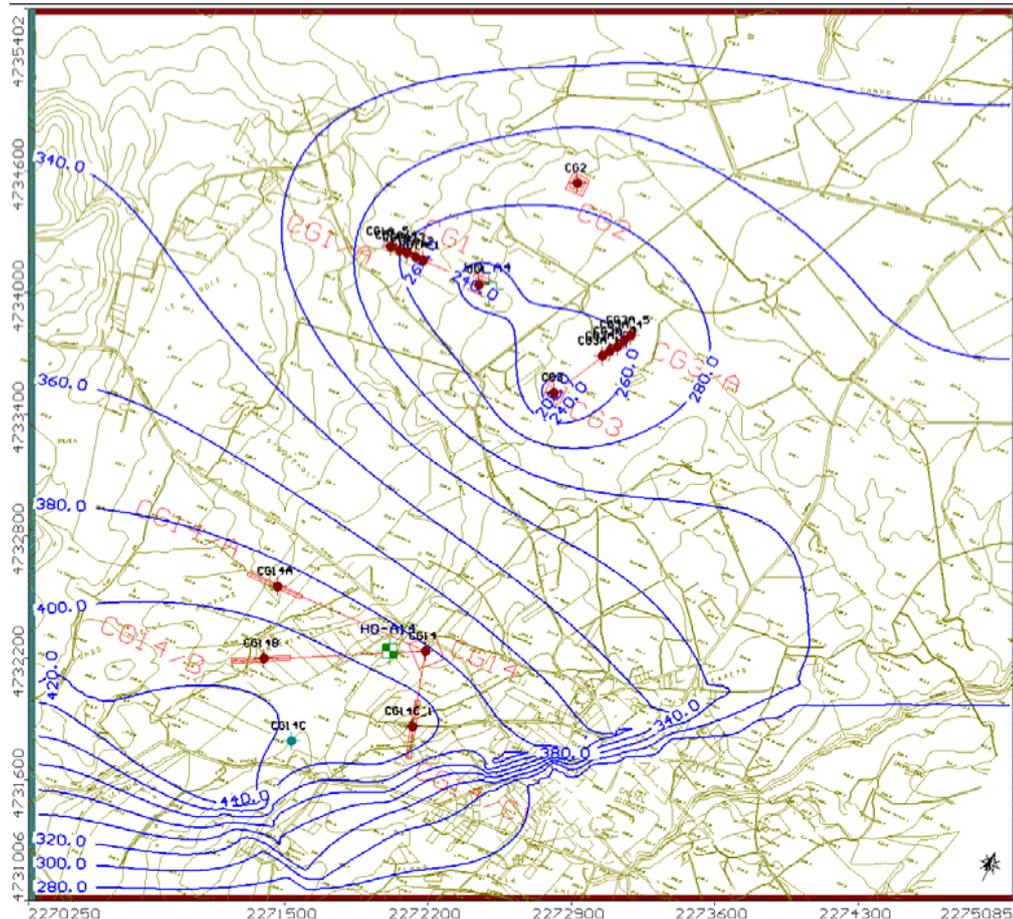
*File:*

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



**0**

03315B01



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. 400slm.

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.

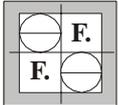
**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO  
DENOMINATO CASTEL GIORGIO**

**Committente:**  
ITW & LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

*Revisioni*

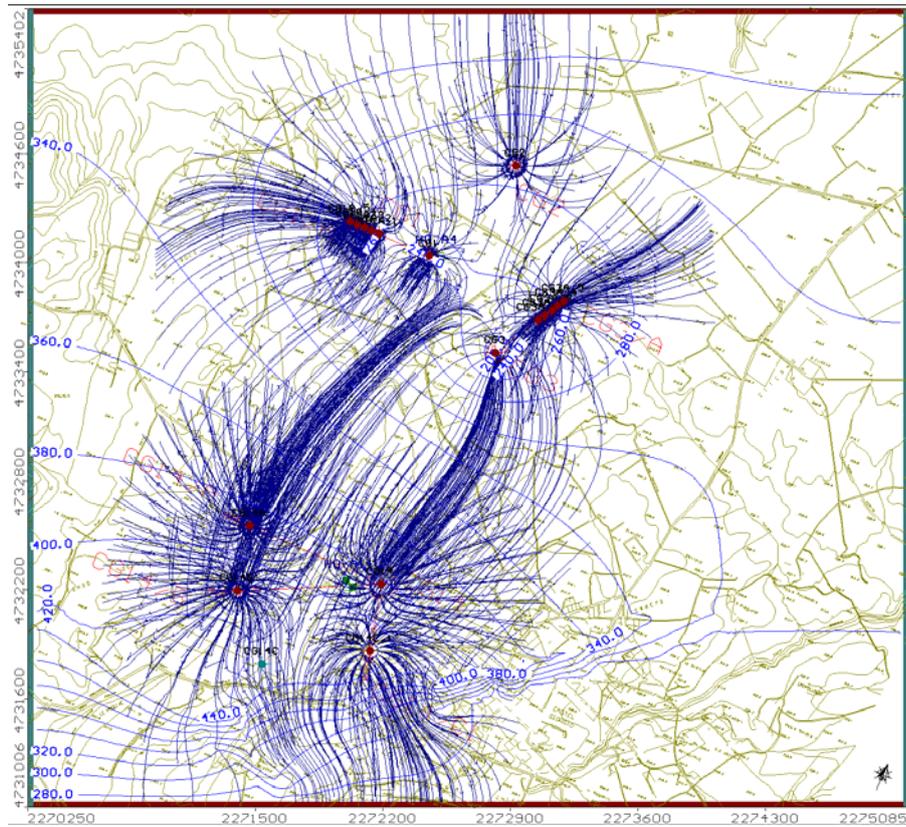
*File:*

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

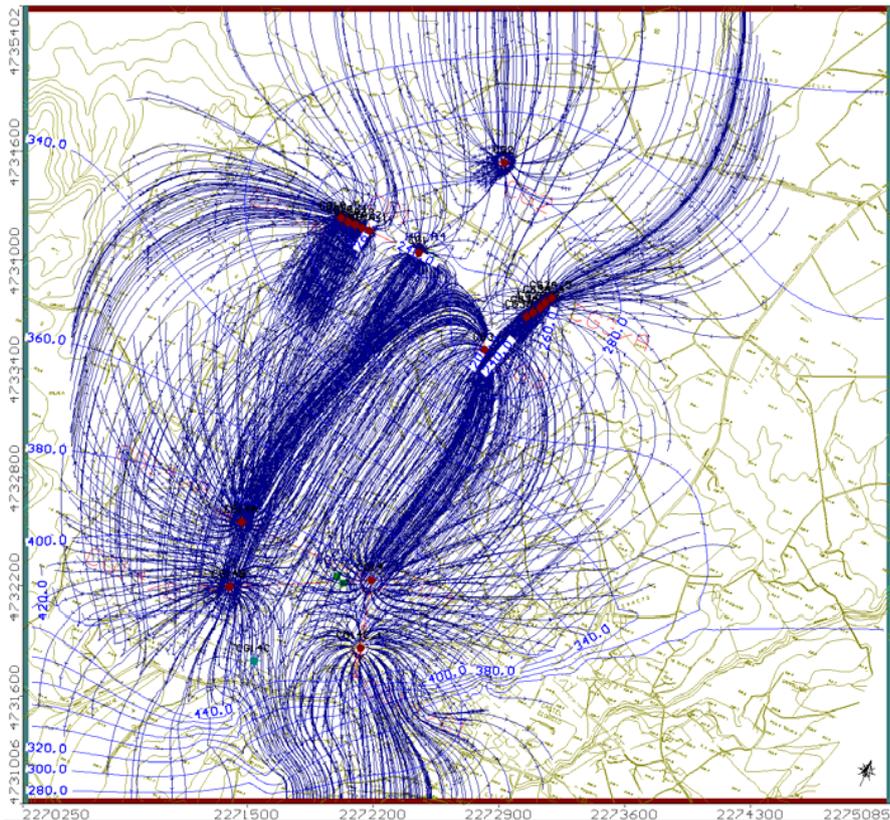


**0**

03315B01

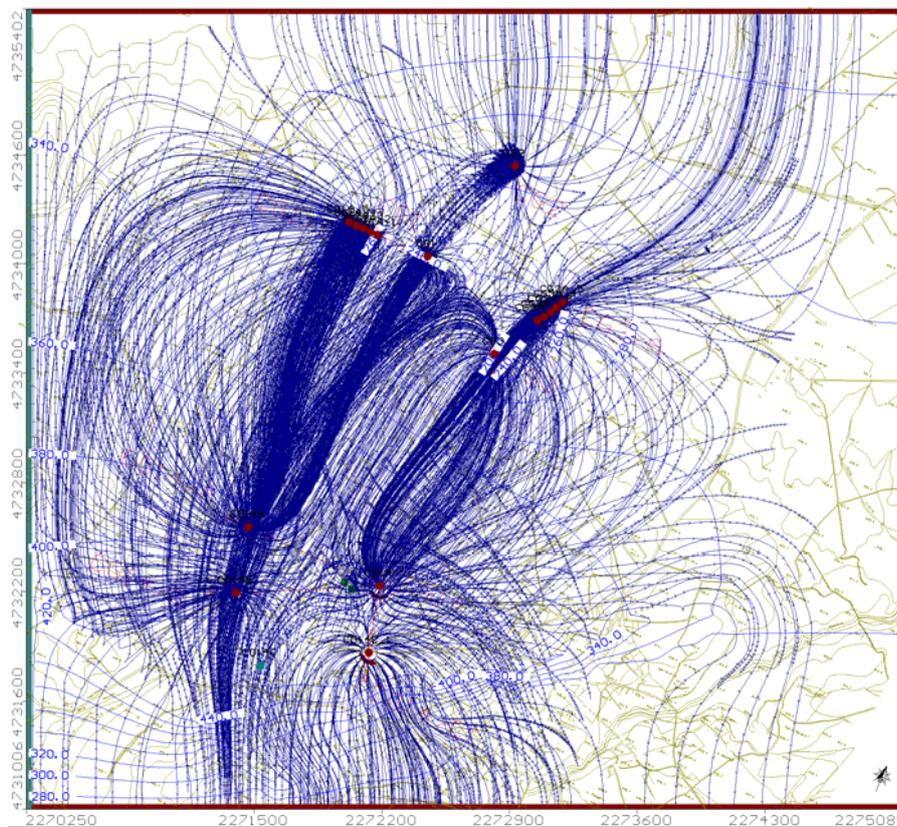
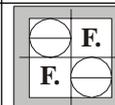


**Figura 23A** – Pathline a 730 giorni (2 anni) dalla entrata in esercizio



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

<b>REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO</b>				Pag 36 di 68
<b>Committente:</b> ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	<b>GEOTECNA studio associato</b> Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	<b>0</b>		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.

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

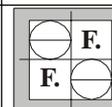
Pag  
37 di 68

**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 2    First Time

Time Step: 1    Short Name: Zone2    Last Time

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

Inflow	Outflow
Storage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Storage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Constant Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Constant Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Wells = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Wells = 25200.00 m <sup>3</sup> /day
Drains = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Drains = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Recharge = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Recharge = 0.00 m <sup>3</sup> /day
ET = 0.00 m <sup>3</sup> /day	ET = 0.00 m <sup>3</sup> /day
River Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	River Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Stream Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Stream Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
General-Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day	General-Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 1 to 2 = 9157.50 m <sup>3</sup> /day	Zone 2 to 1 = 136.41 m <sup>3</sup> /day
Zone 4 to 2 = 15.41 m <sup>3</sup> /day	Zone 2 to 4 = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 5 to 2 = 8.52 m <sup>3</sup> /day	Zone 2 to 5 = 25.63 m <sup>3</sup> /day
Zone 11 to 2 = 16457.00 m <sup>3</sup> /day	Zone 2 to 11 = 276.32 m <sup>3</sup> /day
<b>Total IN = 25638.00 m<sup>3</sup>/day</b>	<b>Total OUT = 25638.00 m<sup>3</sup>/day</b>

Zone2

Difference  
IN - OUT = -0.069478 m<sup>3</sup>/day  
Percent Discrepancy = 0%

**Tabella 7-** Bilancio relativo al polo di estrazione

**Zone Budget Output - Flow**

Stress Period: 1    Zone #: Zone 3    First Time

Time Step: 1    Short Name: Zone3    Last Time

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

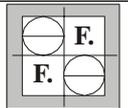
Inflow	Outflow
Storage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Storage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Constant Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Constant Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Wells = 25200.00 m <sup>3</sup> /day	Wells = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Drains = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Drains = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Recharge = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Recharge = 0.00 m <sup>3</sup> /day
ET = 0.00 m <sup>3</sup> /day	ET = 0.00 m <sup>3</sup> /day
River Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	River Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Stream Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Stream Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
General-Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day	General-Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 1 to 3 = 9.77 m <sup>3</sup> /day	Zone 3 to 1 = 6037.70 m <sup>3</sup> /day
Zone 4 to 3 = 2.09 m <sup>3</sup> /day	Zone 3 to 4 = 3.83 m <sup>3</sup> /day
Zone 5 to 3 = 4.27 m <sup>3</sup> /day	Zone 3 to 5 = 187.71 m <sup>3</sup> /day
Zone 7 to 3 = 157.38 m <sup>3</sup> /day	Zone 3 to 7 = 1362.30 m <sup>3</sup> /day
Zone 8 to 3 = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Zone 3 to 8 = 671.78 m <sup>3</sup> /day
Zone 11 to 3 = 10.39 m <sup>3</sup> /day	Zone 3 to 11 = 17120.00 m <sup>3</sup> /day
<b>Total IN = 25384.00 m<sup>3</sup>/day</b>	<b>Total OUT = 25384.00 m<sup>3</sup>/day</b>

Zone3

Difference  
IN - OUT = 0.2256 m<sup>3</sup>/day  
Percent Discrepancy = 0%

**Tabella 7A-** Bilancio relativo al polo di reiniezione

<b>REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO</b>				Pag 38 di 68
<b>Committente:</b> ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	<b>GEOTECNA studio associato</b> Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	<b>0</b>		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 <sup>3</sup> /day	Storage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Constant Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Constant Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Wells = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Wells = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Drains = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Drains = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Recharge = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Recharge = 0.00 m <sup>3</sup> /day
ET = 0.00 m <sup>3</sup> /day	ET = 0.00 m <sup>3</sup> /day
River Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	River Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Stream Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Stream Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
General-Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day	General-Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 1 to 11 = 1438.40 m <sup>3</sup> /day	Zone 11 to 1 = 2317.80 m <sup>3</sup> /day
Zone 2 to 11 = 276.32 m <sup>3</sup> /day	Zone 11 to 2 = 16457.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 3 to 11 = 17120.00 m <sup>3</sup> /day	Zone 11 to 3 = 10.39 m <sup>3</sup> /day
Zone 4 to 11 = 3.09 m <sup>3</sup> /day	Zone 11 to 4 = 0.01 m <sup>3</sup> /day
Zone 5 to 11 = 0.01 m <sup>3</sup> /day	Zone 11 to 5 = 53.60 m <sup>3</sup> /day
<b>Total IN = 18838.00 m<sup>3</sup>/day</b>	<b>Total OUT = 18838.00 m<sup>3</sup>/day</b>

Zone11

Difference  
IN - OUT = -0.067906 m<sup>3</sup>/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**

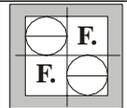
Pag  
39 di 68

**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 <sup>3</sup> /day	Storage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Constant Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Constant Head = 7465.10 m <sup>3</sup> /day
Wells = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Wells = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Drains = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Drains = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Recharge = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Recharge = 0.00 m <sup>3</sup> /day
ET = 0.00 m <sup>3</sup> /day	ET = 0.00 m <sup>3</sup> /day
River Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	River Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Stream Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Stream Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
General-Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day	General-Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 1 to 8 = 6792.40 m <sup>3</sup> /day	Zone 8 to 1 = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 3 to 8 = 671.78 m <sup>3</sup> /day	Zone 8 to 3 = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 4 to 8 = 1.54 m <sup>3</sup> /day	Zone 8 to 4 = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 5 to 8 = 1.05 m <sup>3</sup> /day	Zone 8 to 5 = 1.63 m <sup>3</sup> /day
<b>Total IN = 7466.80 m<sup>3</sup>/day</b>	<b>Total OUT = 7466.80 m<sup>3</sup>/day</b>

Zone8  
Difference  
IN - OUT = -0.023571 m<sup>3</sup>/day  
Percent Discrepancy = 0%

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

**Zone Budget Output - Flow**

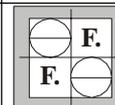
Stress Period: 1    Zone #: Zone 9    First Time  
Time Step: 1    Short Name: Zone9    Last Time  
Time (days): 11000000     Zone # linked to the pointer

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

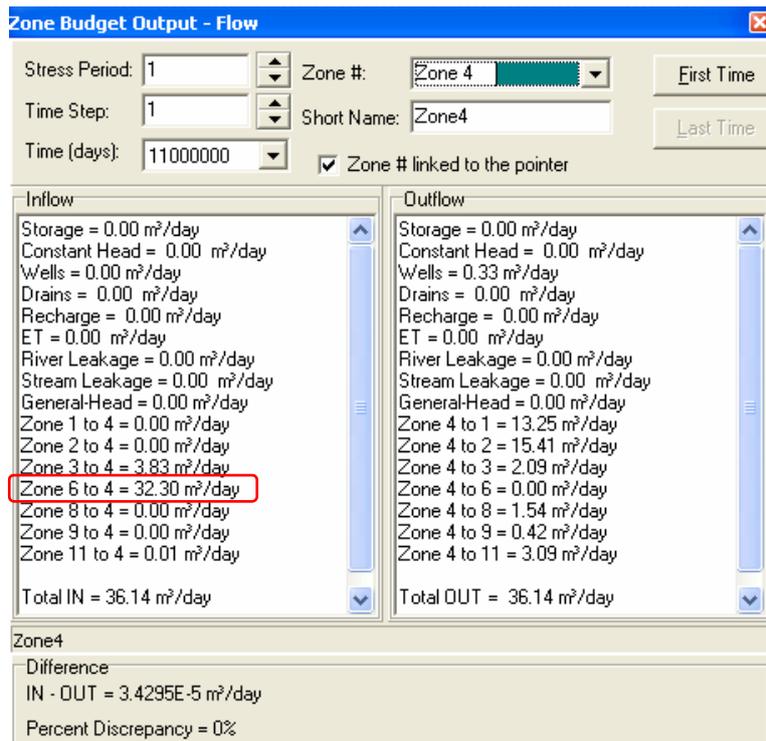
Zone9  
Difference  
IN - OUT = -0.067413 m<sup>3</sup>/day  
Percent Discrepancy = 0%

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

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



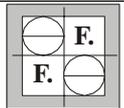
**Tabella 9:** Bilancio relativo agli scambi verticali con il complesso delle vulcaniti in condizioni di esercizio

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.

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

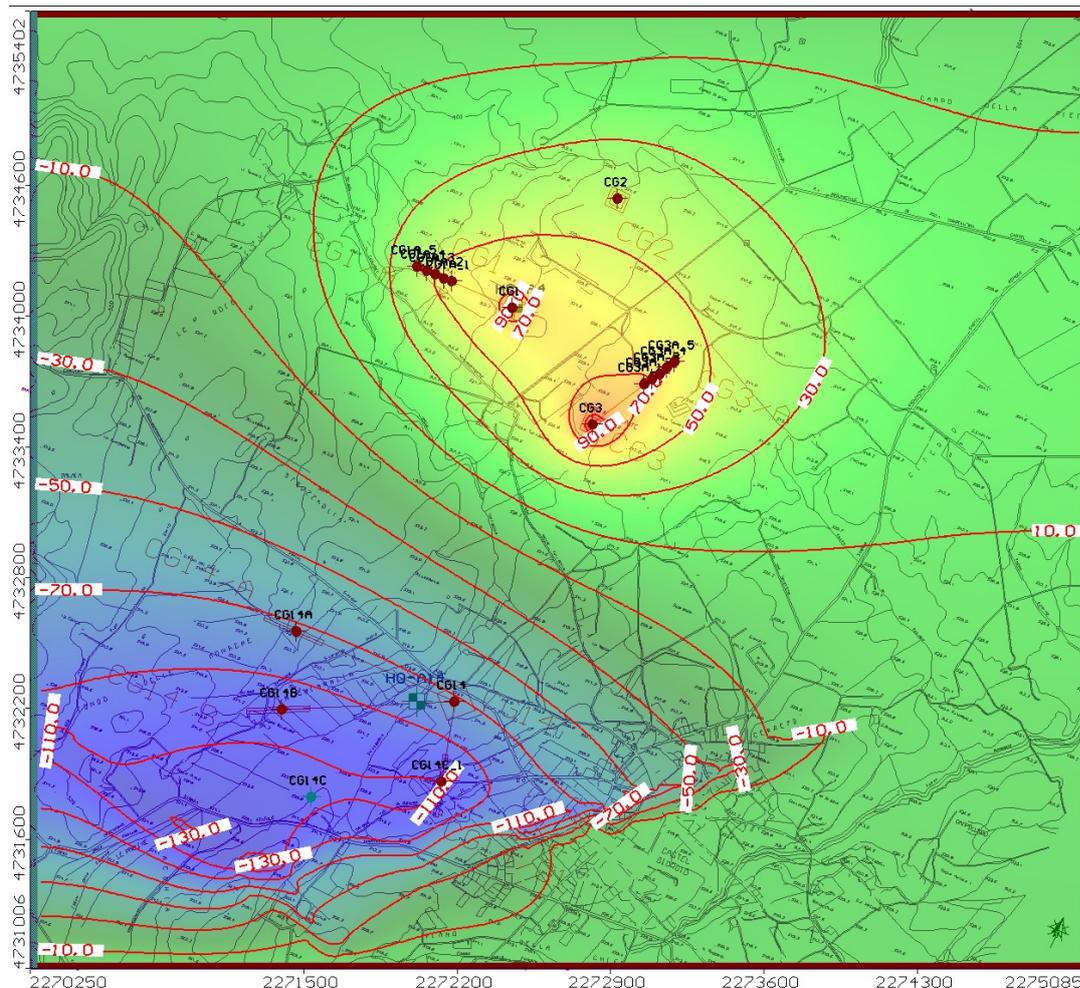


Figura 24 – Abbassamenti indotti in condizioni stazionarie

## 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:

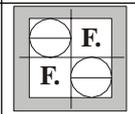
- periodo di emungimento/reiniezione: 30 anni;
- stasi post-emungimento per verifica delle condizioni di recupero: 30 anni;
- periodo complessivo di simulazione : 60 anni (21900) giorni;

**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**

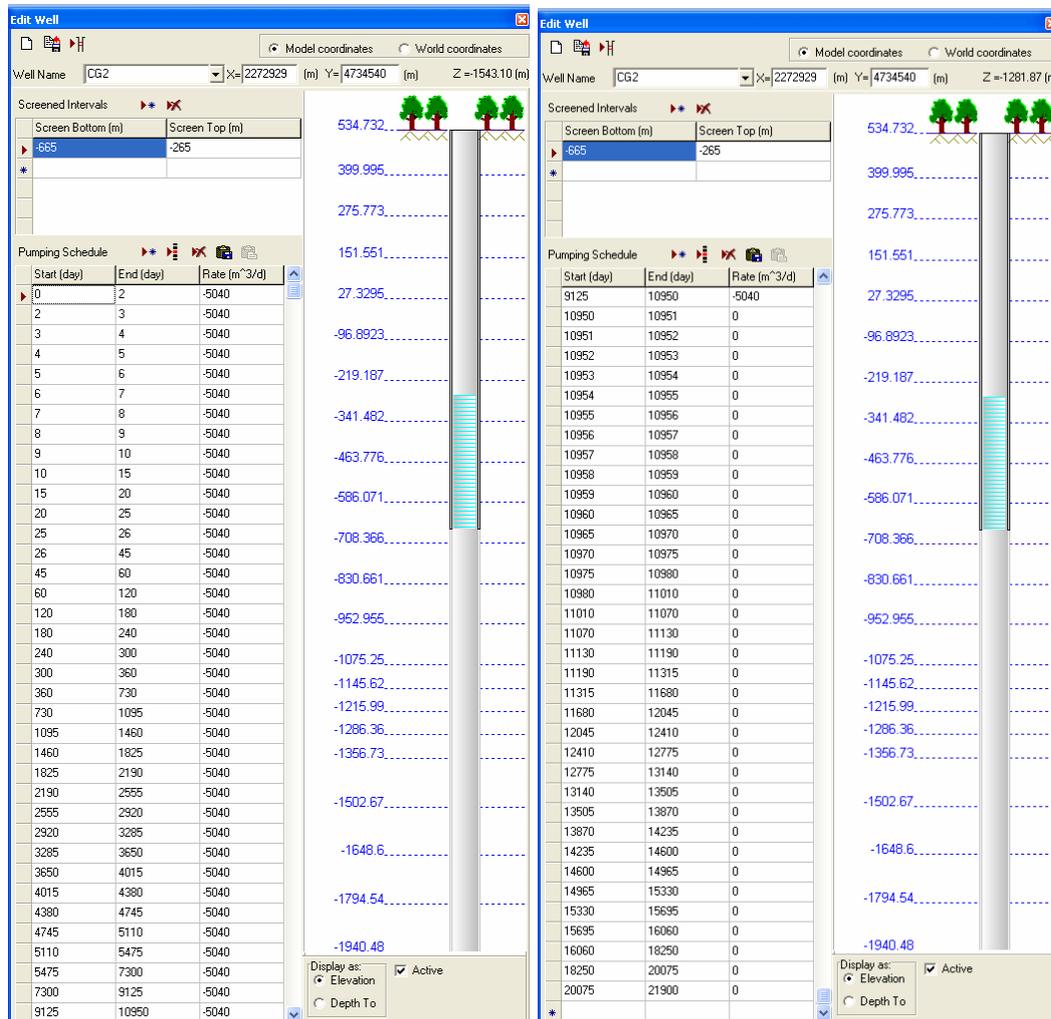
03315B01

- 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

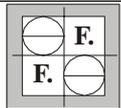
In Figura 26 si rappresenta l'andamento dei potenziali in corrispondenza dei pozzi di osservazione Alfina 4 e Alfina 14, in funzione del tempo ( serie temporale limitata a 15000 giorni).

**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

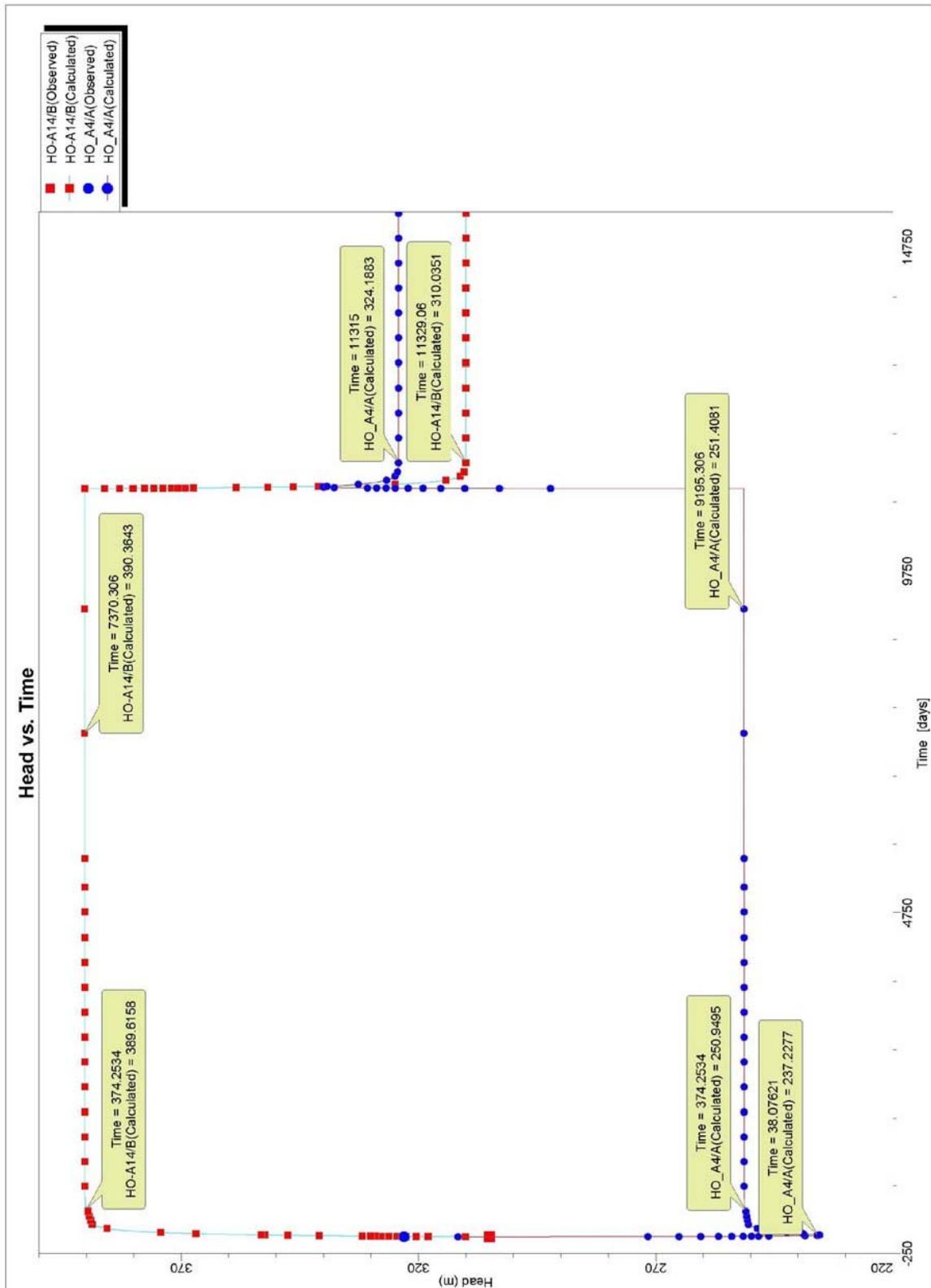
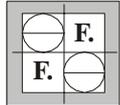


Figura 26- Andamento dei potenziali nel tempo in corrispondenza dei pozzi di osservazione A4 ed A14



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).

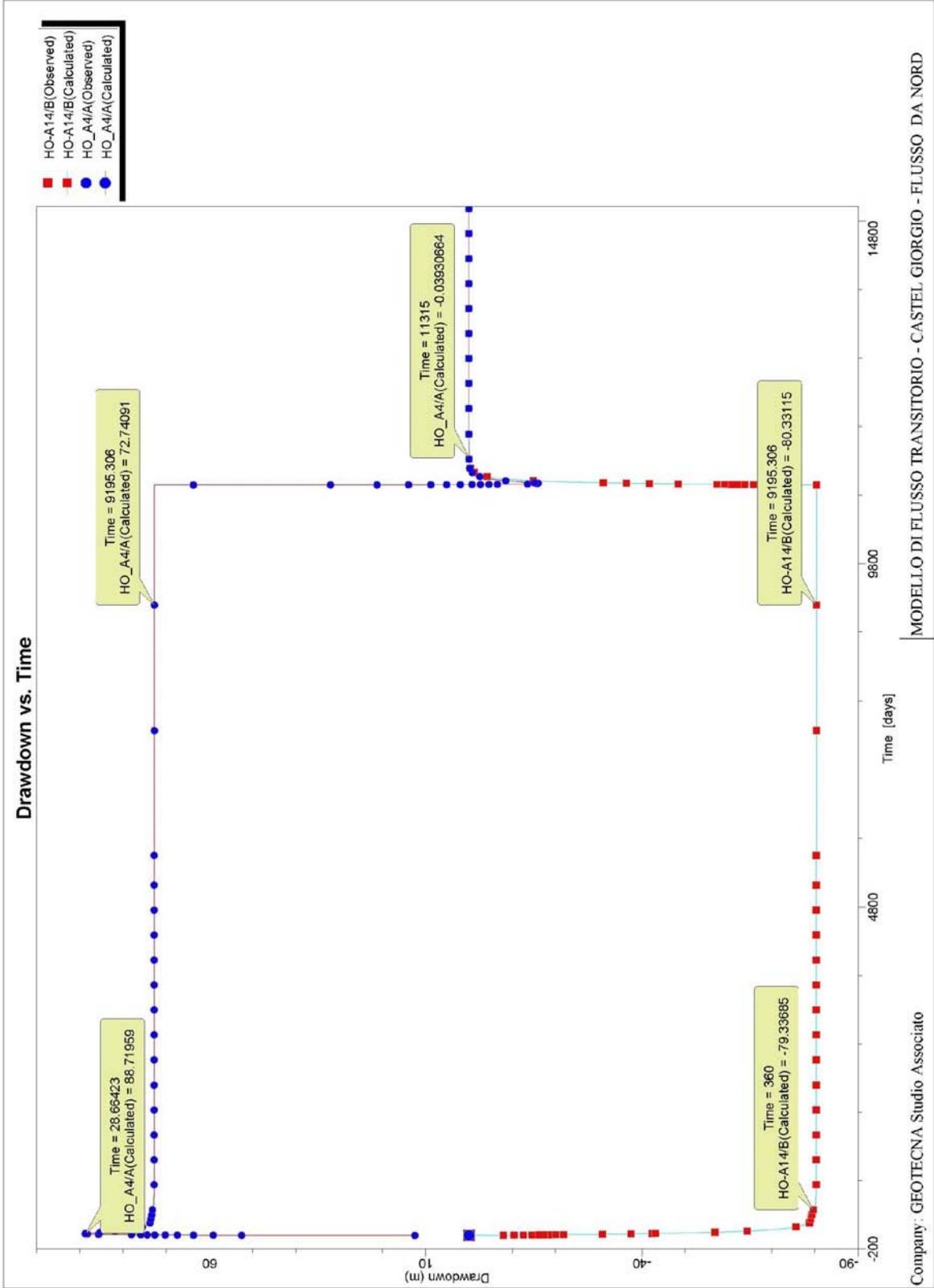
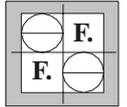


Figura 27- Andamento delle depressioni nel tempo in corrispondenza dei pozzi di osservazione A4 ed A14

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



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.

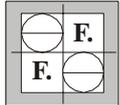
Il grafico evidenzia anche che il valore della massima depressione nel pozzo di osservazione Alfina 4, posto nell'ambito del polo di estrazione, si manifesta a 25-30 giorni dall'inizio della fase di esercizio, allorquando non si risentono ancora gli effetti indotti dalla reiniezione. In Figura 28 si 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).

**Committente:**  
ITW & LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

*Revisioni*

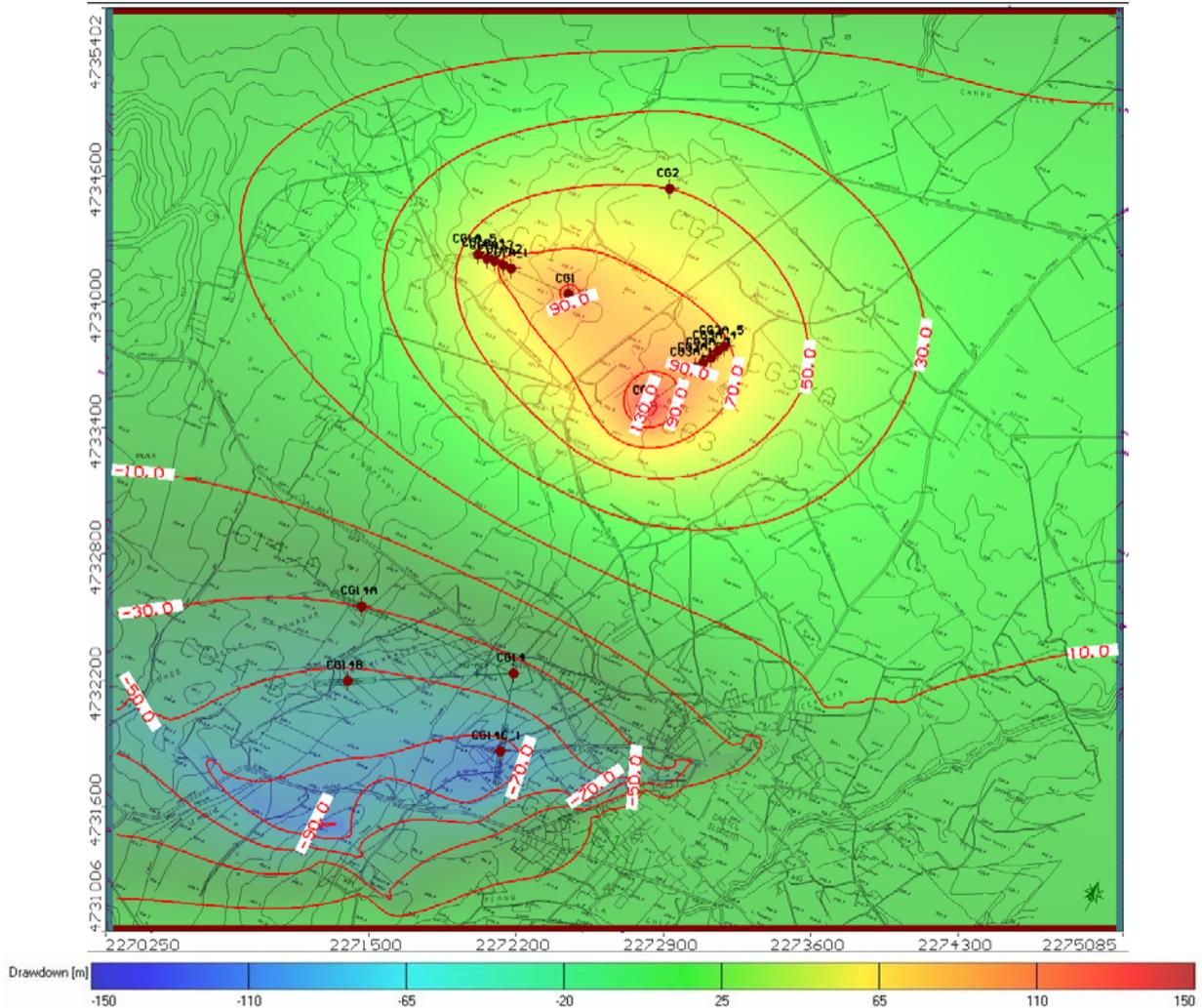
*File:*

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



**0**

03315B01



**Figura 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

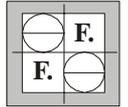
**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO  
DENOMINATO CASTEL GIORGIO**

**Committente:**  
ITW &LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

*Revisioni*

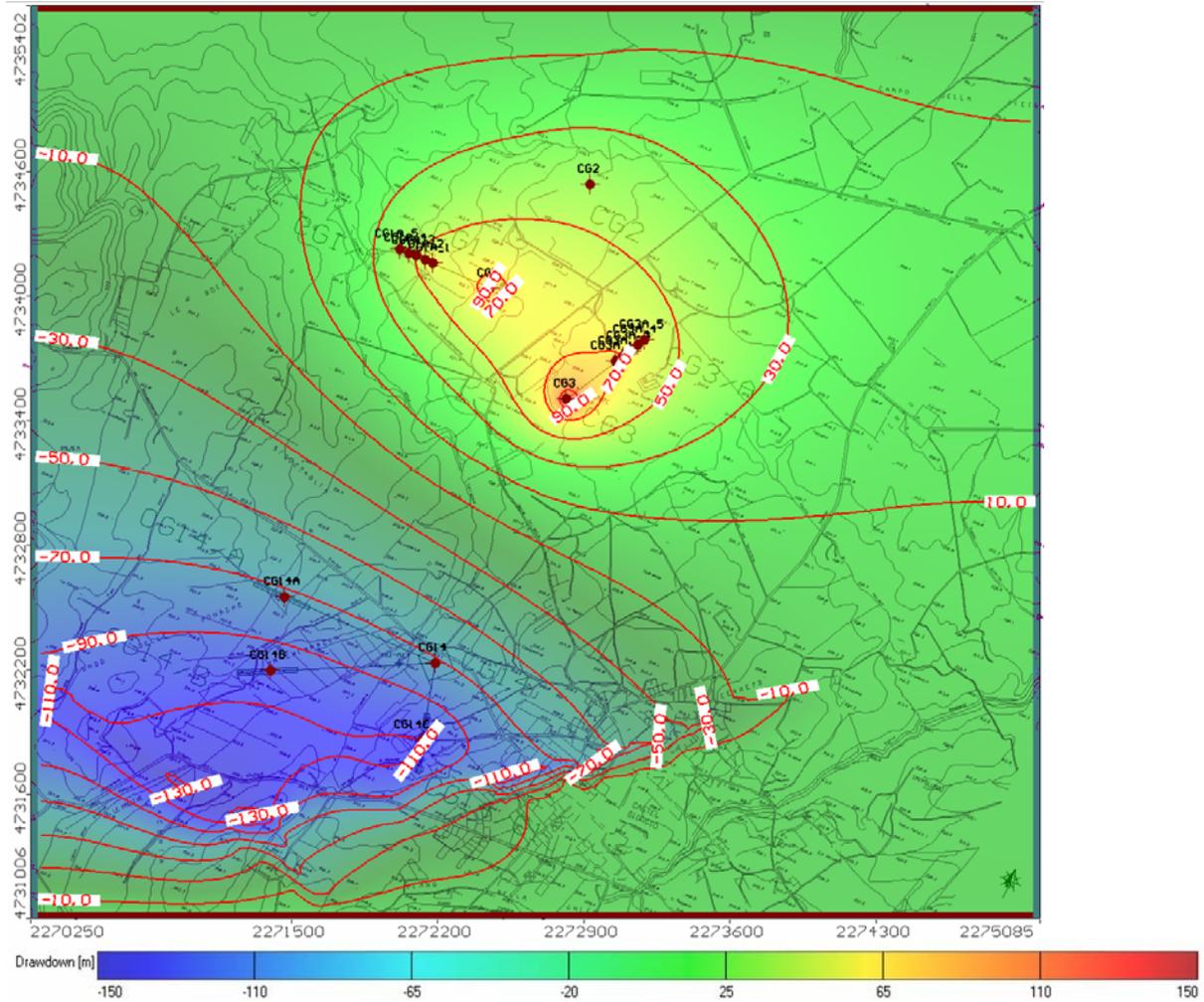
*File:*

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



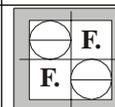
**0**

03315B01



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

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



## 7. FLUSSO DI RICARICA DALLA FRONTIERA SUD

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

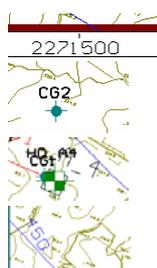
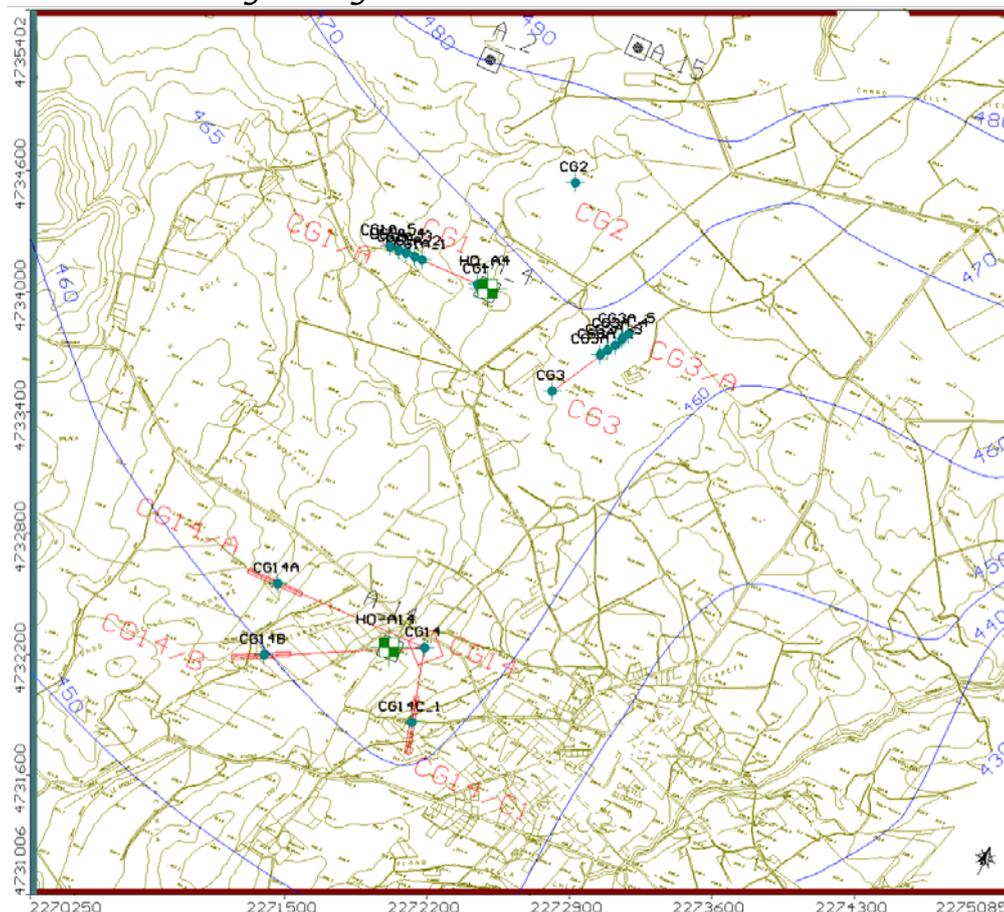
#### 7.1.1. Complesso delle vulcaniti Vulsine

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*



B.C. : Condizione di carico imposto (Constant Head )

B.C. : Condizione flusso nullo

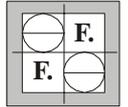
B.C. : Pozzo di emungimento di progetto (non attivo) ( Pump well)

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

Equipotenziali complesso delle Vulcaniti – Layer 1

**Figura 30** : Boundary Conditions del Complesso delle Vulcaniti

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



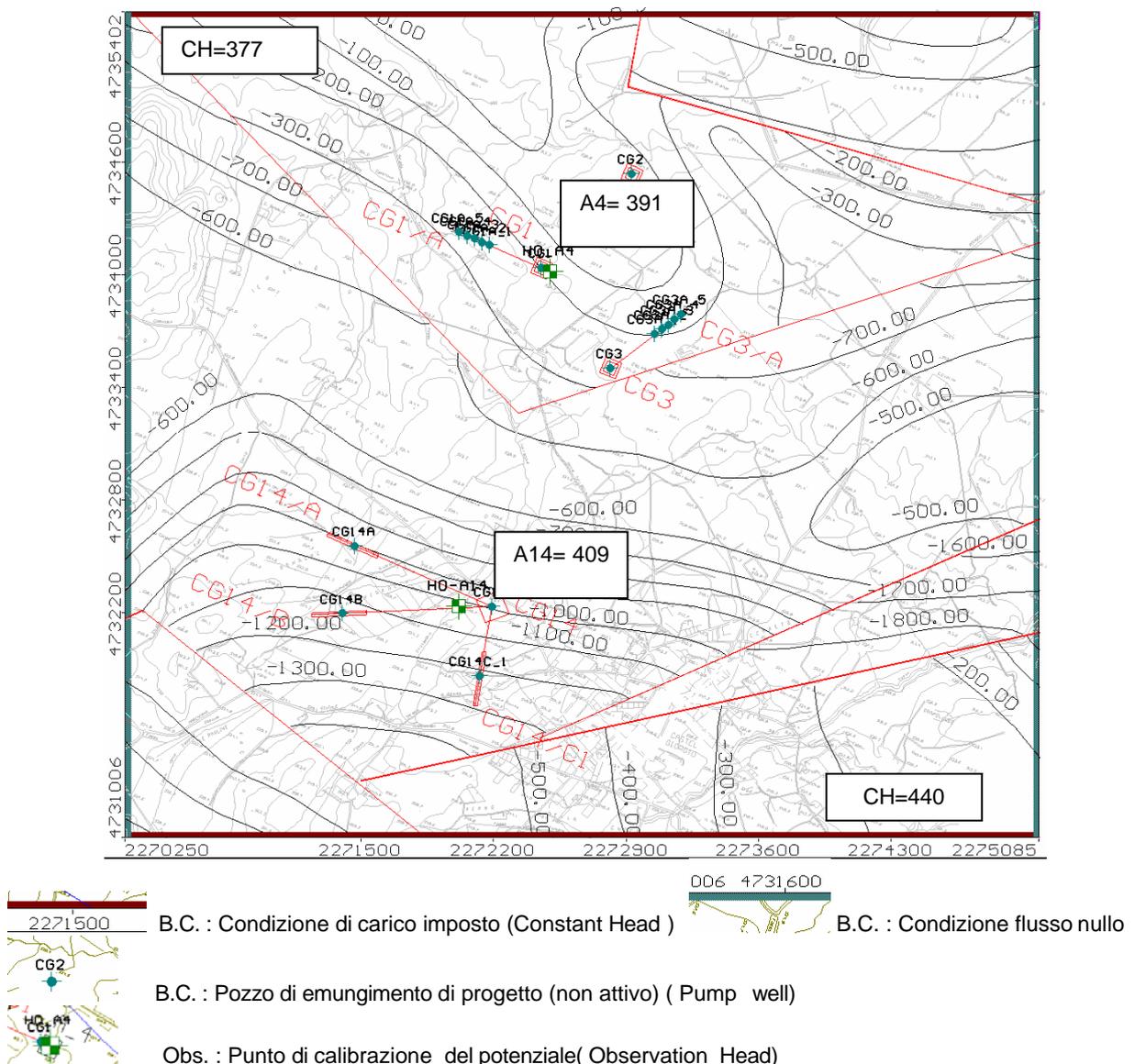
### 7.1.2. Complesso dei carbonati

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*

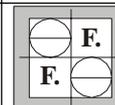
Constant Head uscita Nord : *potenziale imposto = m. 377 slm*

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



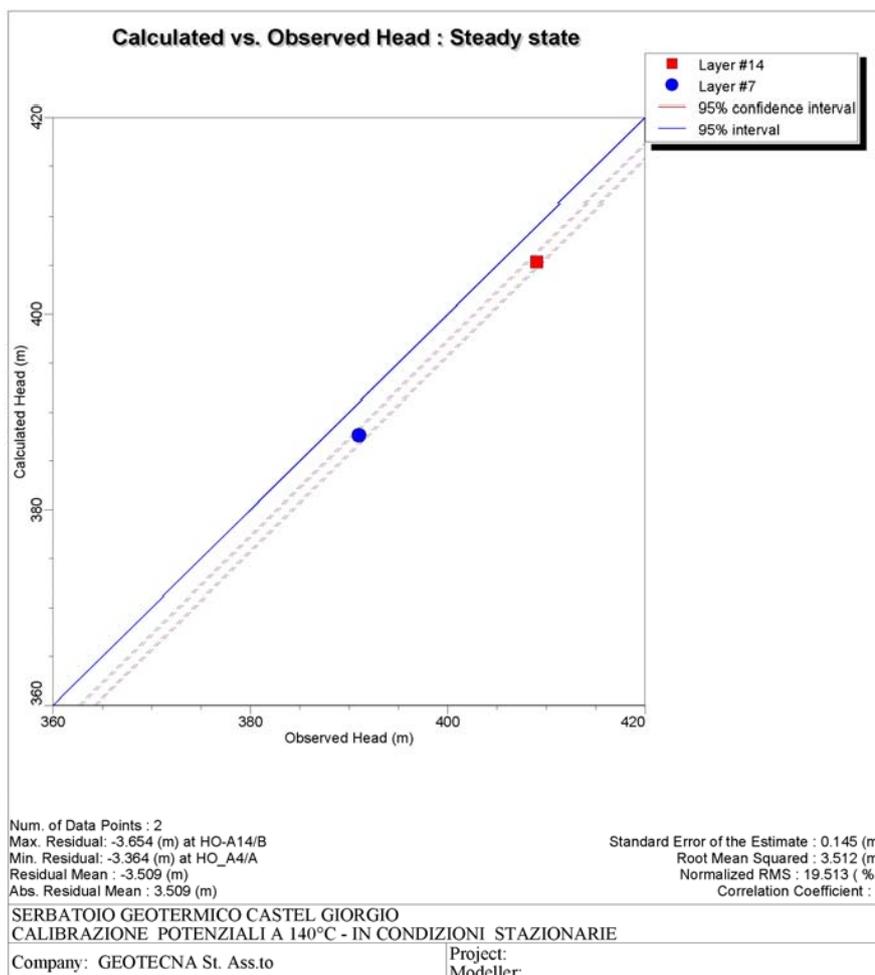
**Figura 31** – Boundary Conditions del serbatoio carbonatico superiore – Riferimento Layer 6

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

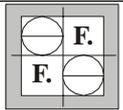
Pag  
51 di 68

**Committente:**  
ITW & LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

*Revisioni*

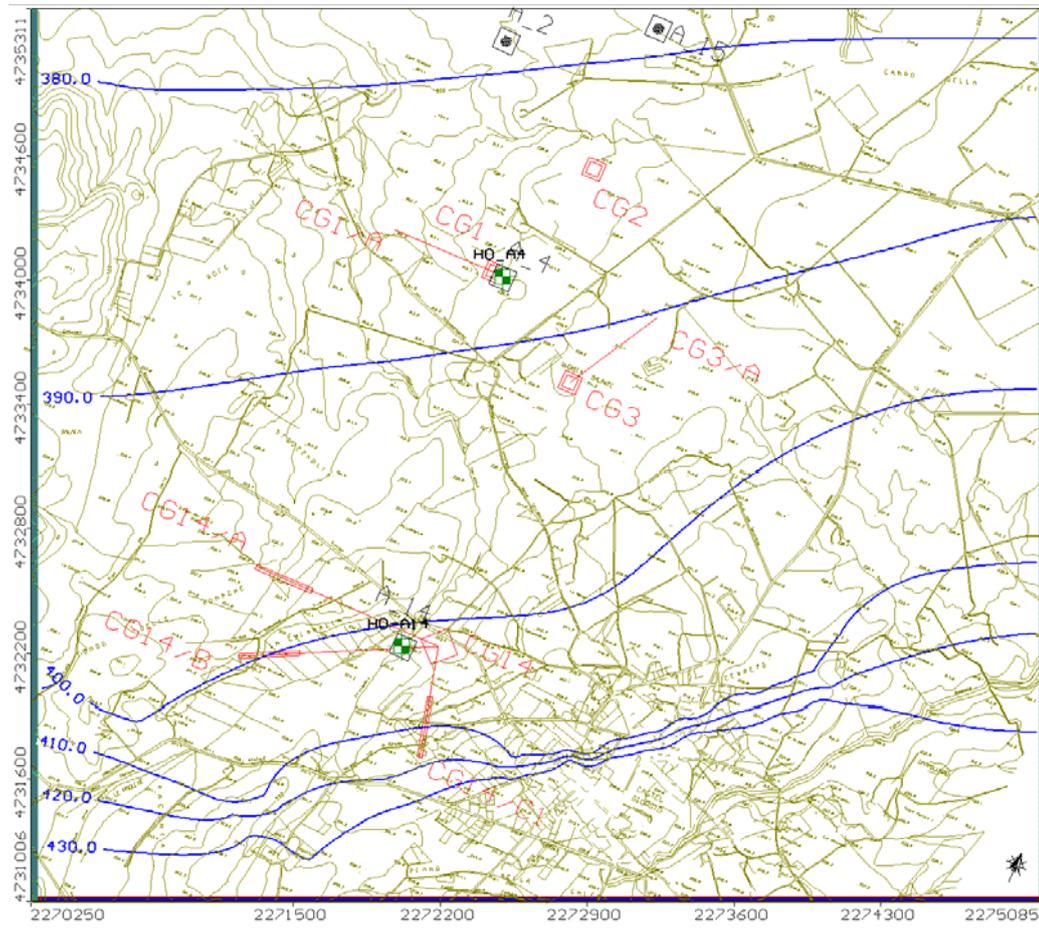
*File:*

**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

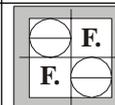


Equipotenziali , con quota in m. slm

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.

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



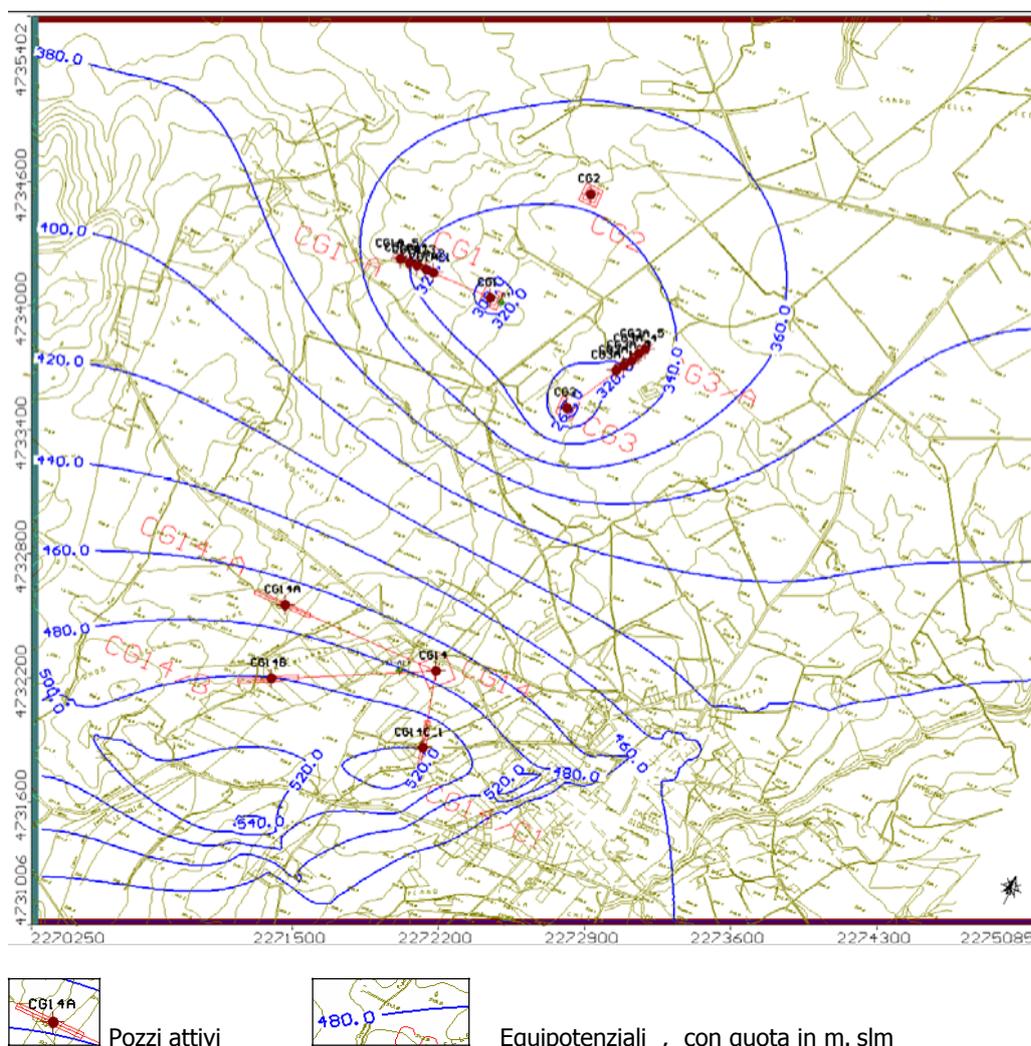
## 7.2. PREVISIONE DEGLI EFFETTI

### 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 imposta 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.

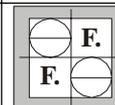
In Figura 34 sono riportate le equipotenziali del layer 6 in condizioni stazionarie.



**Figura 34** – Equipotenziali nell'ambito del 1° serbatoio carbonatico – Riferimento Layer 6

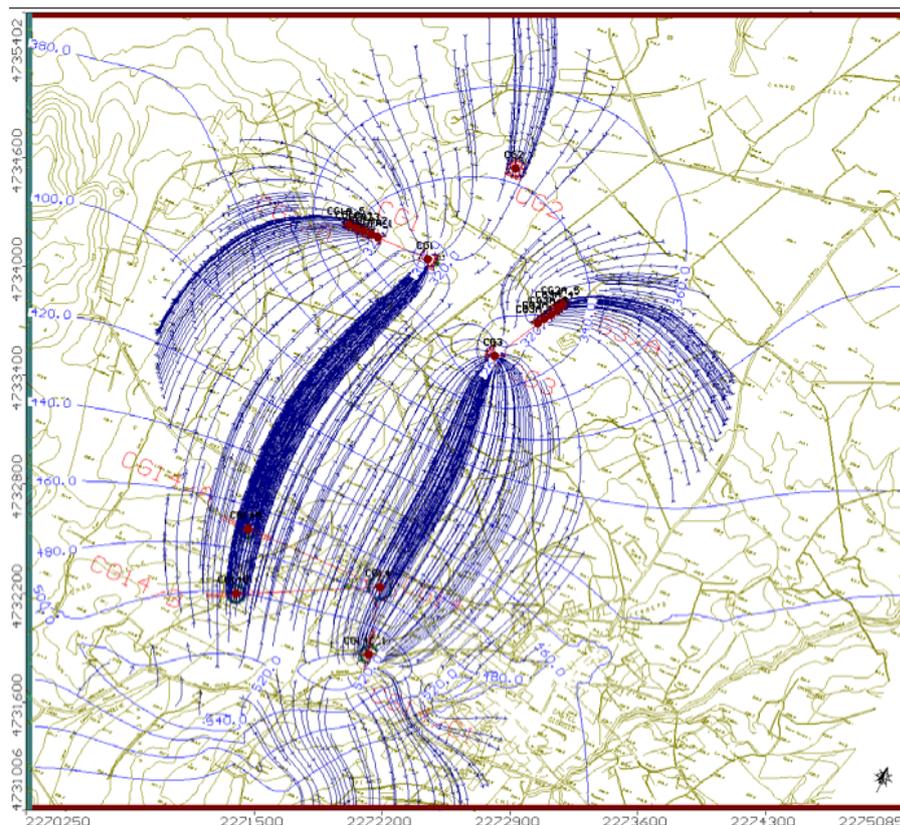
La morfologia piezometrica evidenzia una depressione centrata sul polo di produzione con inviluppo a quota 340 m slm e minimo in corrispondenza del pozzo CG1 fino a m. 260

<b>REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO</b>				Pag 53 di 68
<i>Committente:</i> ITW & LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	<b>GEOTECNA studio associato</b> Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	<b>0</b>		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. 500slm.

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.

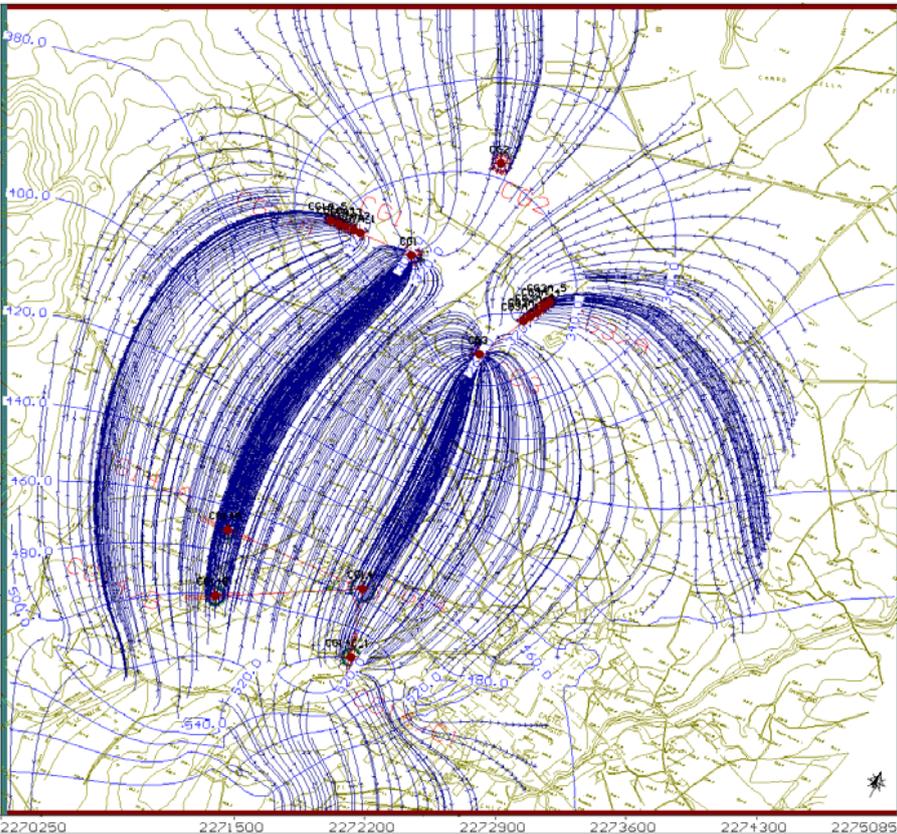
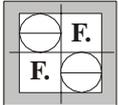
**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO  
DENOMINATO CASTEL GIORGIO**

**Committente:**  
ITW &LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

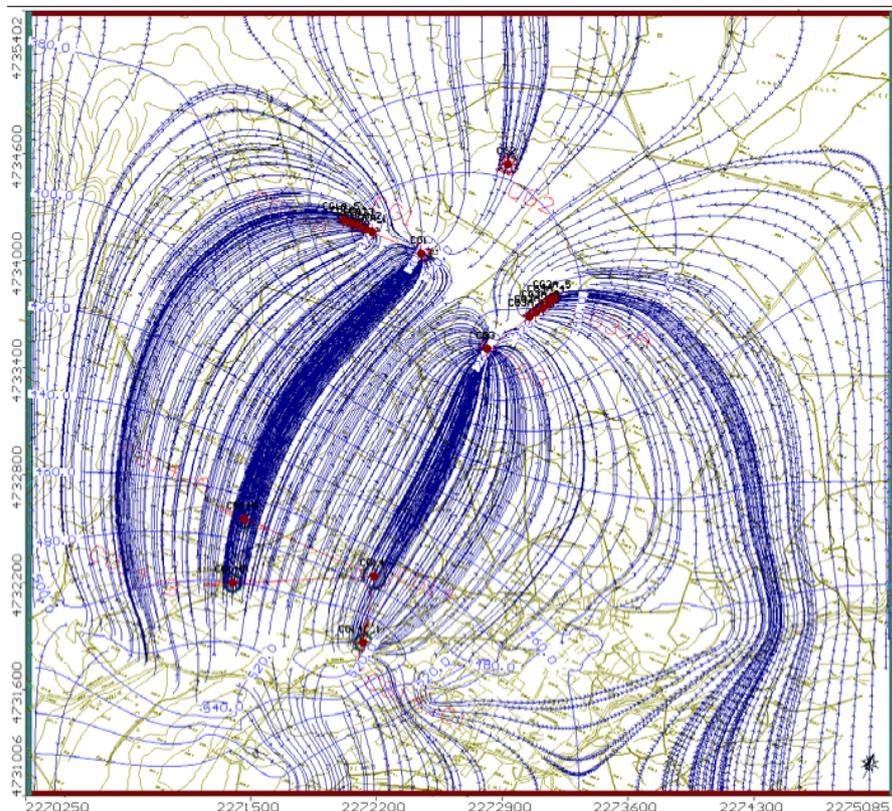
*Revisioni*

*File:*

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

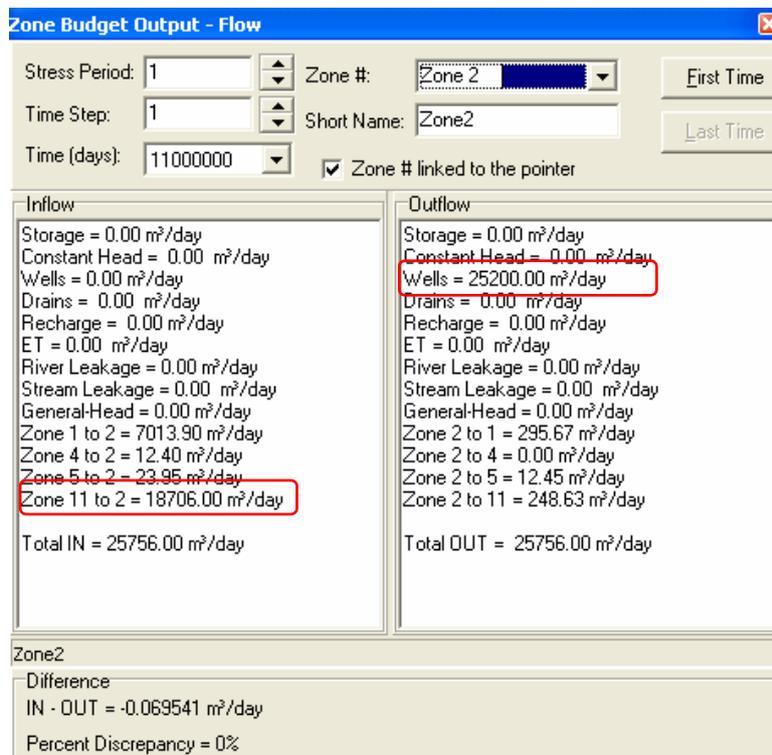


**Figura 35B** – Pathline a 1825 giorni ( 5 anni) dalla messa in esercizio del campo pozzi

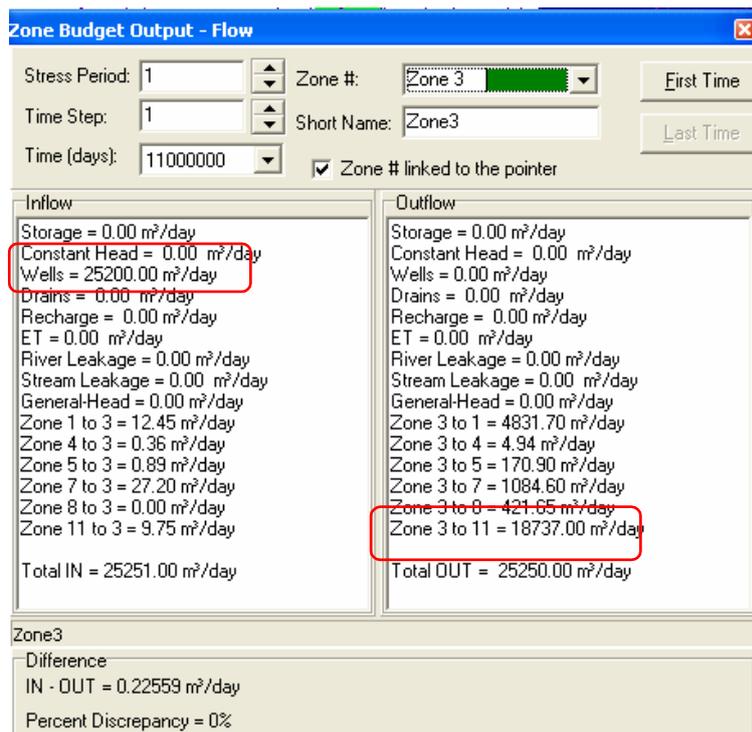


**Figura 35C** – Pathline a 10950 giorni ( 30 anni) dalla messa in esercizio del campo pozzi

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.



**Tabella 10-** Bilancio relativo al polo di estrazione



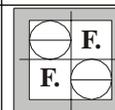
**Tabella 10A-** Bilancio relativo al polo di reiniezione

**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 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 <sup>3</sup> /day	Storage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Constant Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Constant Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Wells = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Wells = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Drains = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Drains = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Recharge = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Recharge = 0.00 m <sup>3</sup> /day
ET = 0.00 m <sup>3</sup> /day	ET = 0.00 m <sup>3</sup> /day
River Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	River Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Stream Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Stream Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
General-Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day	General-Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 1 to 11 = 1595.50 m <sup>3</sup> /day	Zone 11 to 1 = 1836.30 m <sup>3</sup> /day
Zone 2 to 11 = 248.63 m <sup>3</sup> /day	Zone 11 to 2 = 18706.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 3 to 11 = 18737.00 m <sup>3</sup> /day	Zone 11 to 3 = 8.75 m <sup>3</sup> /day
Zone 4 to 11 = 2.13 m <sup>3</sup> /day	Zone 11 to 4 = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 5 to 11 = 0.19 m <sup>3</sup> /day	Zone 11 to 5 = 31.09 m <sup>3</sup> /day
<b>Total IN = 20583.00 m<sup>3</sup>/day</b>	<b>Total OUT = 20583.00 m<sup>3</sup>/day</b>

Zone11  
Difference  
IN - OUT = -0.067873 m<sup>3</sup>/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**

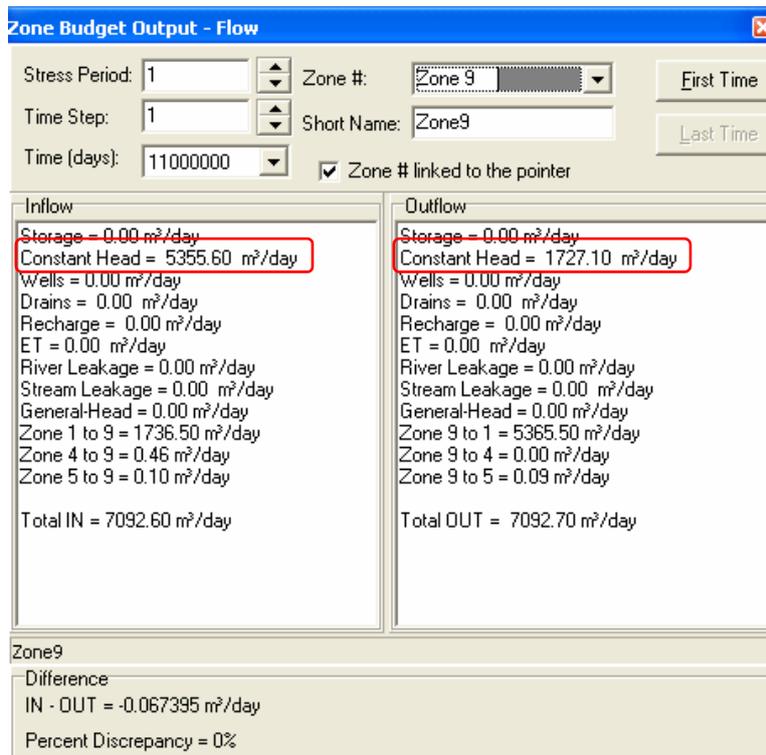
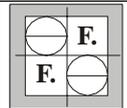
Stress Period: 1      Zone #: Zone 8      First Time  
Time Step: 1      Short Name: Zone8      Last Time  
Time (days): 11000000       Zone # linked to the pointer

Inflow	Outflow
Storage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Storage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Constant Head = 1403.30 m <sup>3</sup> /day	Constant Head = 3856.60 m <sup>3</sup> /day
Wells = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Wells = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Drains = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Drains = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Recharge = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Recharge = 0.00 m <sup>3</sup> /day
ET = 0.00 m <sup>3</sup> /day	ET = 0.00 m <sup>3</sup> /day
River Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	River Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Stream Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day	Stream Leakage = 0.00 m <sup>3</sup> /day
General-Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day	General-Head = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 1 to 8 = 3437.80 m <sup>3</sup> /day	Zone 8 to 1 = 1405.90 m <sup>3</sup> /day
Zone 3 to 8 = 421.65 m <sup>3</sup> /day	Zone 8 to 3 = 0.00 m <sup>3</sup> /day
Zone 4 to 8 = 0.19 m <sup>3</sup> /day	Zone 8 to 4 = 0.05 m <sup>3</sup> /day
Zone 5 to 8 = 0.77 m <sup>3</sup> /day	Zone 8 to 5 = 1.19 m <sup>3</sup> /day
<b>Total IN = 5263.70 m<sup>3</sup>/day</b>	<b>Total OUT = 5263.80 m<sup>3</sup>/day</b>

Zone8  
Difference  
IN - OUT = -0.023582 m<sup>3</sup>/day  
Percent Discrepancy = 0%

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

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



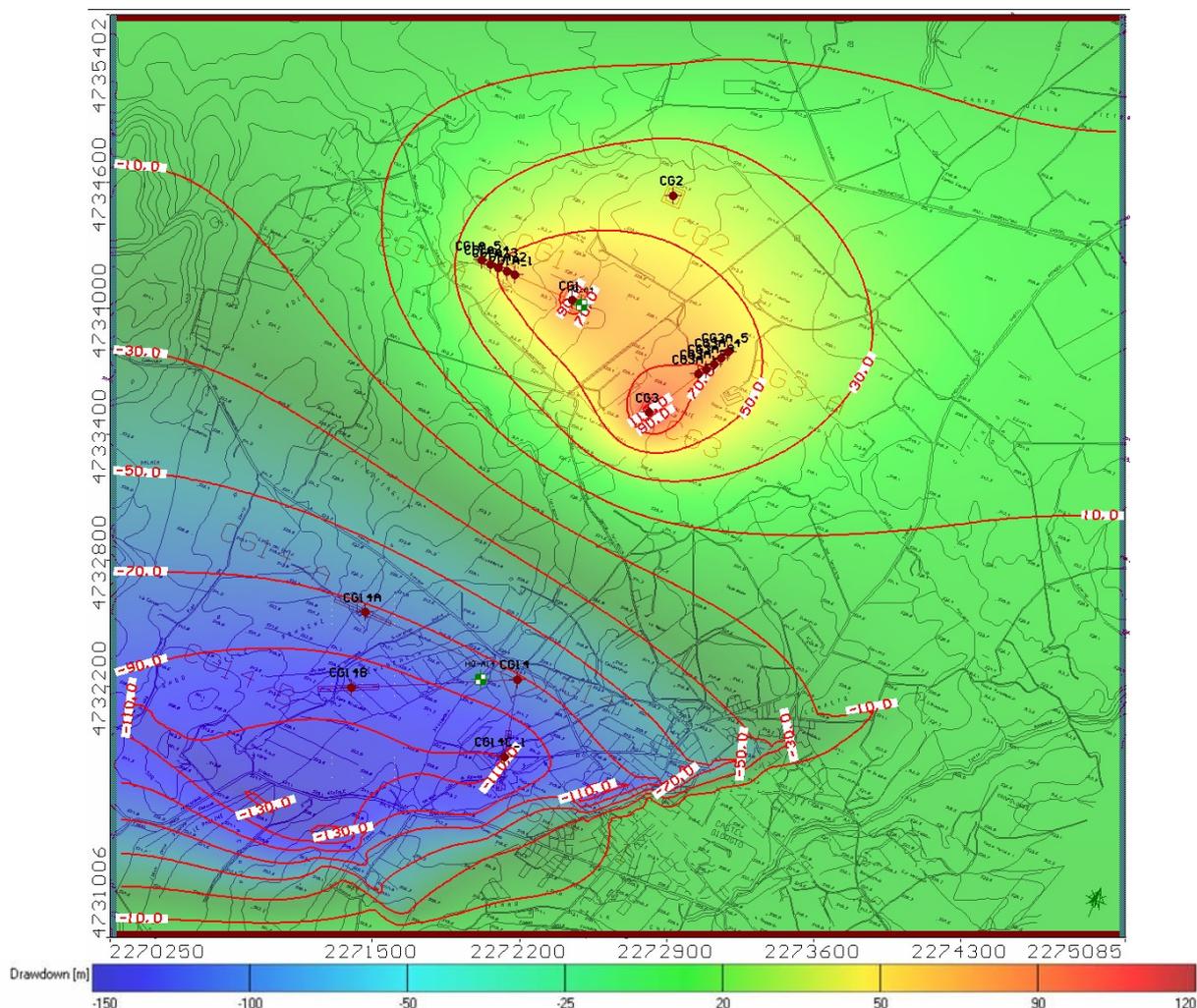
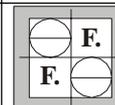
**Tabella 11A:** Condizione al limite Nord (C.H Nord)

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.

<b>REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO DENOMINATO CASTEL GIORGIO</b>				Pag 58 di 68
<b>Committente:</b> ITW &LKW GEOTERMIA ITALIA SpA	<i>Revisioni</i>		<i>File:</i>	<b>GEOTECNA studio associato</b> Viale Venere, 57 – 05018 Orvieto (TR) tel +39 0763 344669 e.mail geotecna.studioassociato@virgilio.it
	<b>0</b>		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);

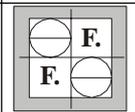
<i>Relazione</i>	<i>Commessa :</i>	03315	<i>Data:</i>	Giugno 2015
------------------	-------------------	-------	--------------	-------------

**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

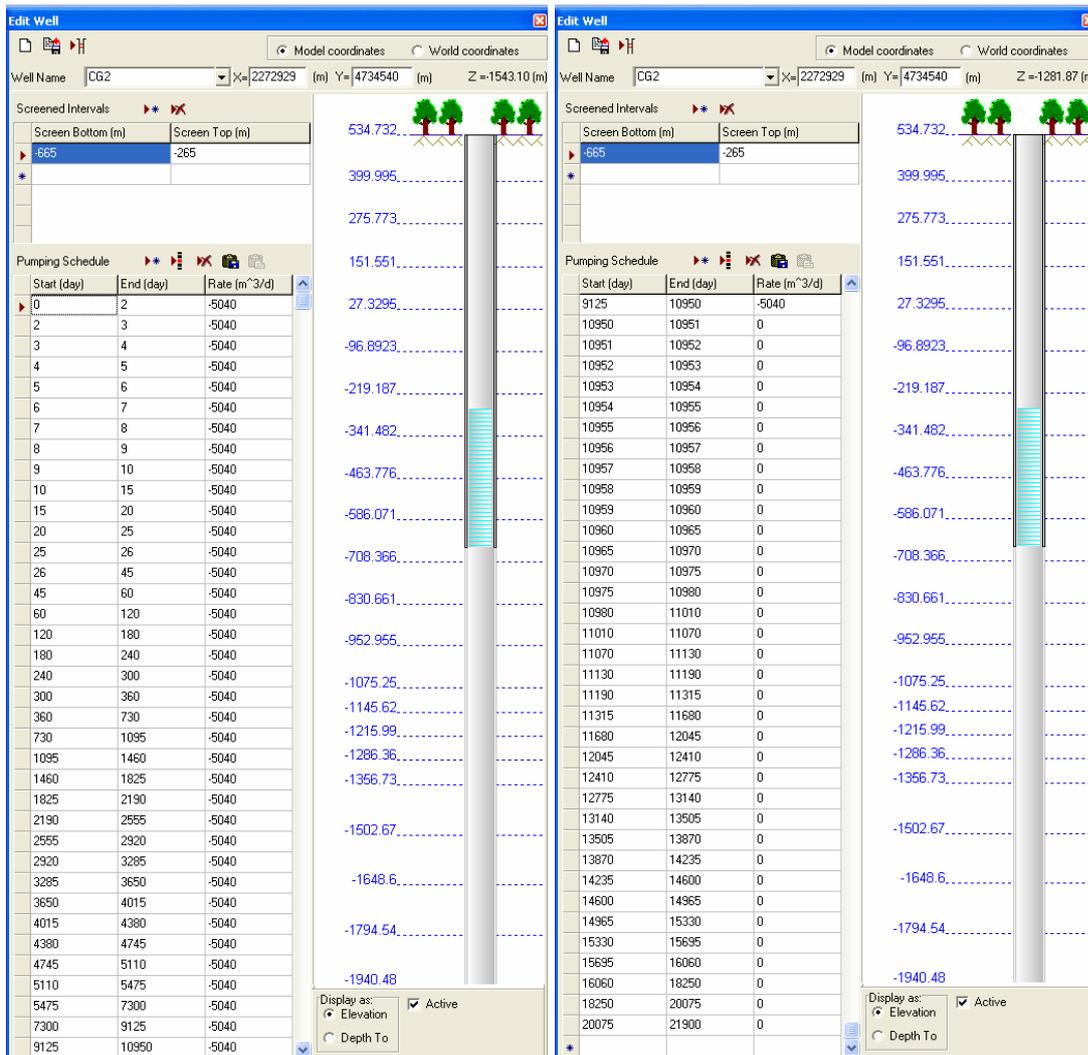


**0**

03315B01

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 .

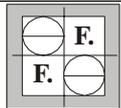
In Figura 39 si rappresenta l'andamento degli abbassamenti sempre in corrispondenza dei pozzi di osservazione Alfina 4 e Alfina 14, in funzione del tempo ( serie temporale limitata a 15000 giorni).

**Committente:**  
ITW &LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

*Revisioni*

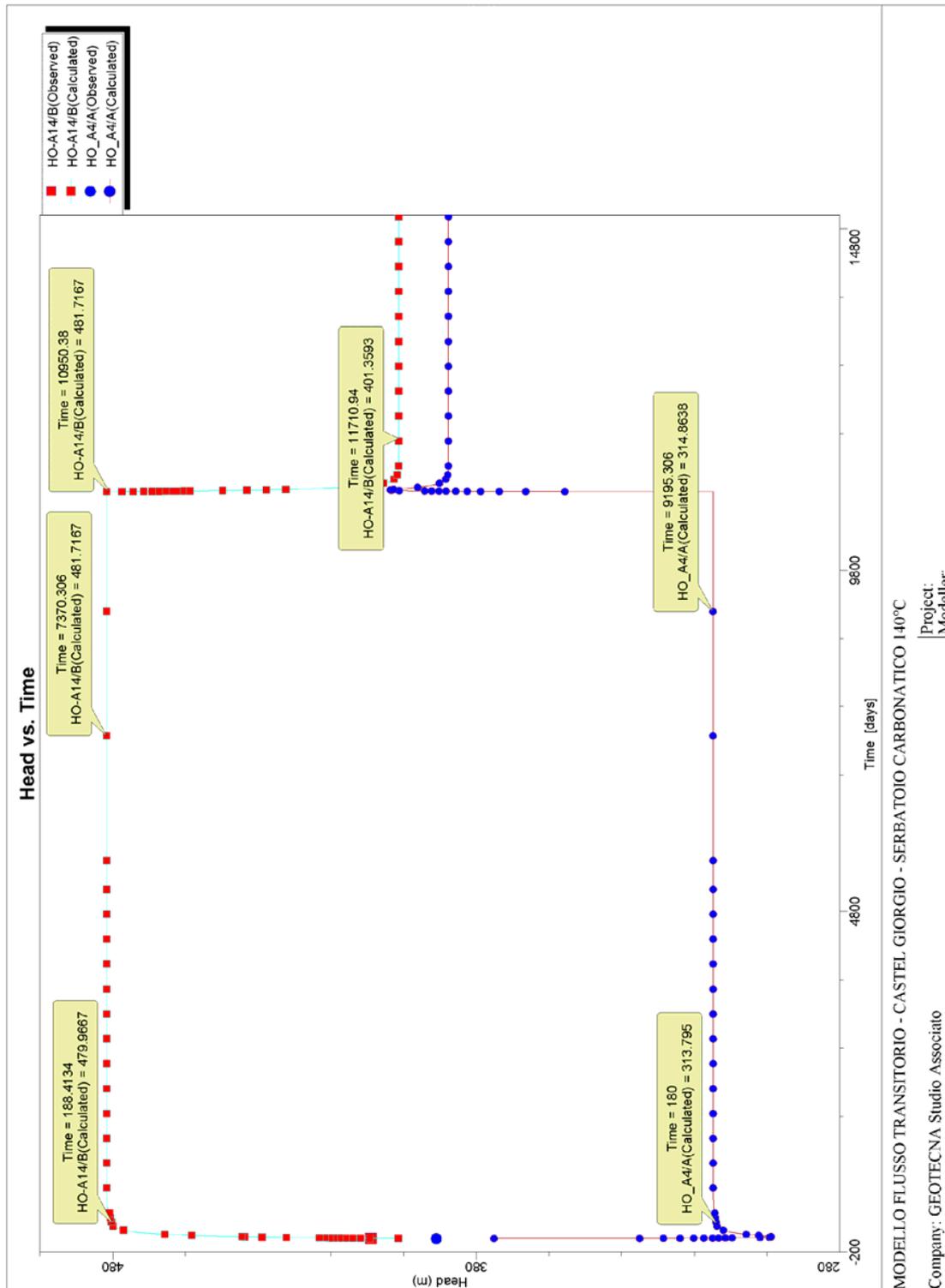
*File:*

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



<b>0</b>					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.



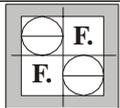
**Figura 38-** Potenziali in corrispondenza dei pozzi di osservazione

**Committente:**  
ITW &LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

*Revisioni*

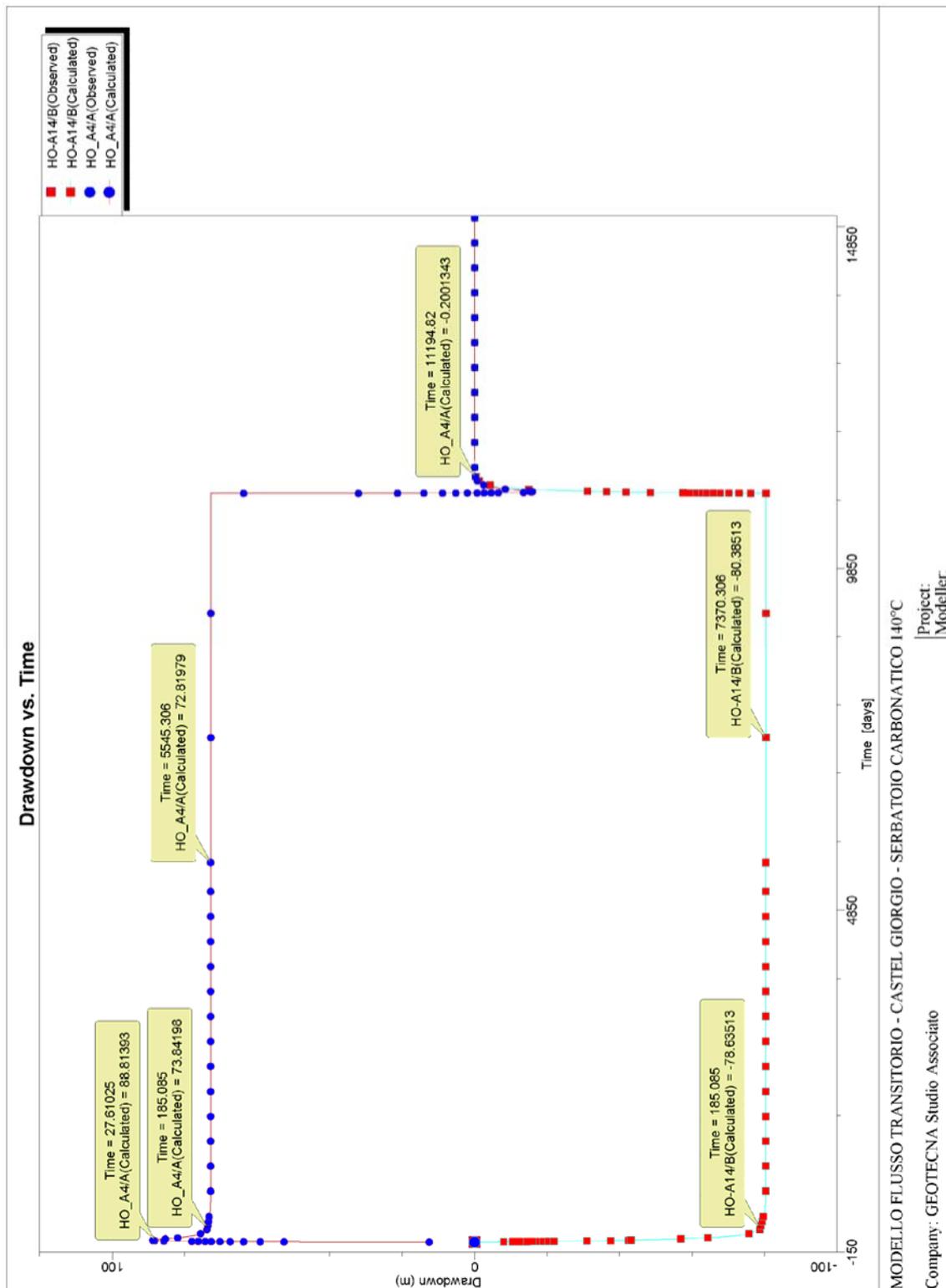
*File:*

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



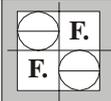
**0**

03315B01



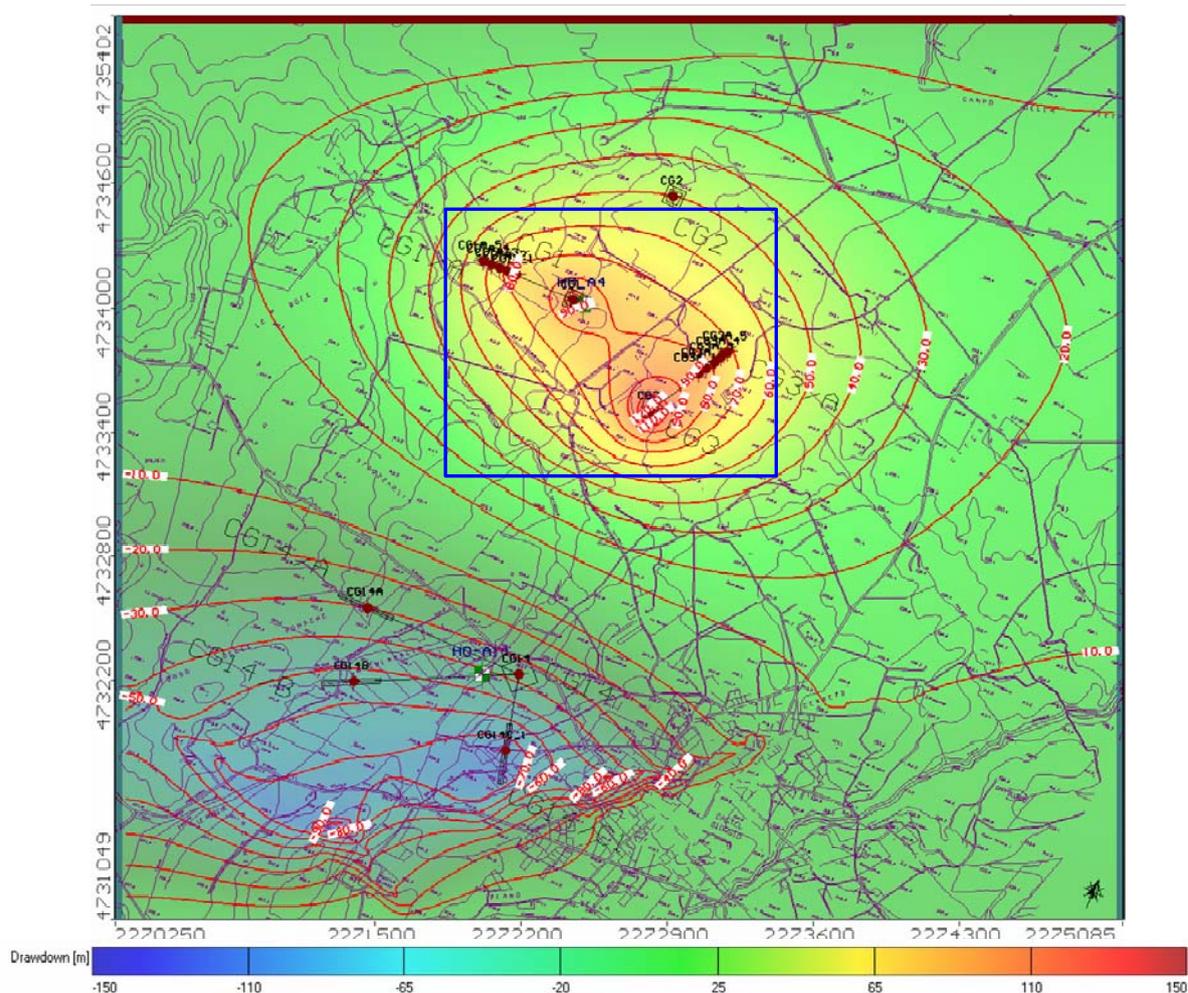
**Figura 39-** Variazioni in corrispondenza dei pozzi di osservazione

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

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

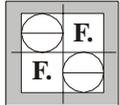
**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO  
DENOMINATO CASTEL GIORGIO**

**Committente:**  
ITW & LKW  
GEOTERMIA ITALIA  
SpA

*Revisioni*

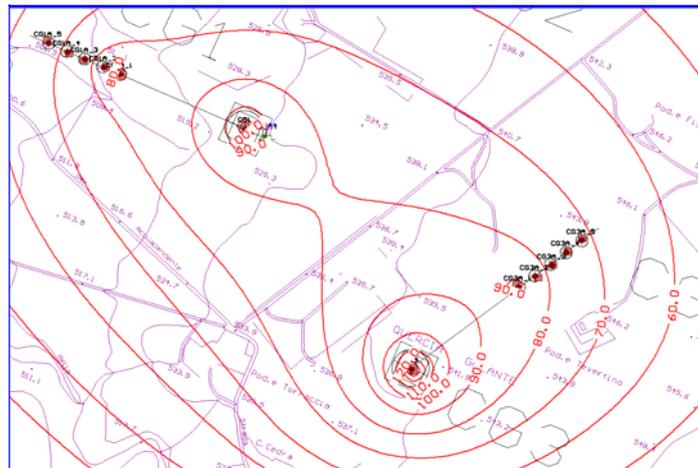
*File:*

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



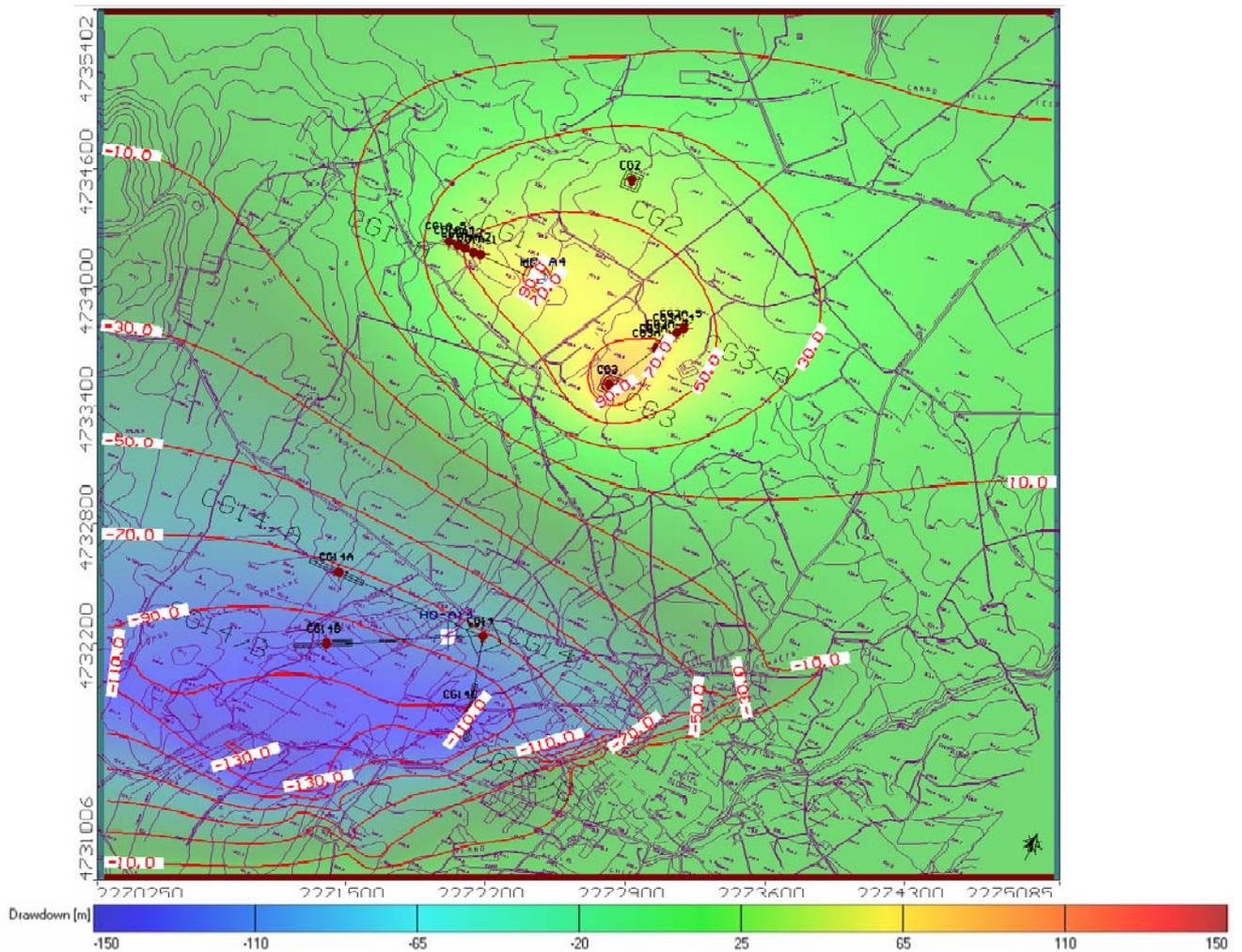
**0**

03315B01



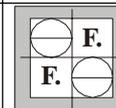
**Figura 40** : Particolare drawdown a 30 giorni dall’inizio dell’esercizio in corrispondenza del pozzo CG3

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

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



## 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 comparti. 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

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

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.

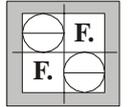
La simulazione condotta con il modello improntato sul flusso di ricarica dalla frontiera nord, ha valutato una portata naturale in ingresso al serbatoio carbonatico interessato dai prelievi, di 2629 mc/d , ossia 30 l/s circa e scambi verticali fra l'acquifero delle vulcaniti e quello sottostante delle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

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



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, allorché 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

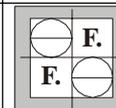
Relativamente all'analisi modellistica dello scenario relativo al serbatoio geotermico, con fluido a temperatura di 140°C, gli aspetti presi specificatamente a riferimento sono quelli relativi alle ripercussioni indotte, nell'ambito del medesimo serbatoio, dal ciclo di estrazione e reiniezione del fluido 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

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

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

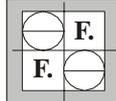


idrodinamiche delle rocce serbatoio assunto, di raggiungimento del fluido reiniettato verso il polo estrattivo, che risulta di circa 1 anno.

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.

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

## 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 northerm 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)