



**[ID VIP 2777] IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO
"MONTENERO"**

Integrazioni Volontarie

Preparato per:
GESTO Italia S.r.l.

Settembre 2016

Codice Progetto:
P16_BUR_012

Revisione: 0

STEAM
Sistemi Energetici Ambientali
Ponte a Piglieri, 8
I – 56127 Pisa
Telefono +39 050 9711664
Fax +39 050 3136505
Email : info@steam-group.net



STEAM

GESTO Italia S.r.l.

**[ID VIP 2777] IMPIANTO PILOTA
GEOTERMICO "MONTENERO"**

Integrazioni Volontarie

Dott. Ing. RICCARDO CORSI
ALBO -DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI PISA N. 0869



Ing. Riccardo Corsi
Project Director

Progetto	Rev.	Preparato da	Rivisto da	Approvato da	Data
P16_BUR_012	0	PB, GB	GB	RC	07/09/2016

INDICE

<i>1</i>	<i>INTRODUZIONE</i>	<i>1</i>
<i>2</i>	<i>QUESITI E RISPOSTE</i>	<i>2</i>

1

INTRODUZIONE

Con il presente documento la Società Gesto Italia, a seguito della riunione dell'8 settembre 2016 convocata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), fornisce precisazioni e risposte ai quesiti discussi in tale sede, in merito al Progetto per Impianto Geotermico Pilota denominato "Montenero".

Nello specifico i quesiti riguardano l'Allegato 1 – "Aggiornamento Inquadramento Geologico, Modello Geotermico e Modellazione Numerica del Serbatoio" - alle integrazioni depositate dalla scrivente in data 26/08/2015 al MATTM.

Per completezza si allega al presente documento la "Documentazione Tecnica per il Riconoscimento del Carattere Nazionale della Risorsa Geotermica" trasmessa da codesta Società al Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE) in data 26/07/2016.



PROGETTO	TITOLO	REV.	Pagina
P16_BUR_012	GESTO ITALIA SRL: [ID VIP 2777] IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO MONTENERO INTEGRAZIONI VOLONTARIE	0	1

2 **QUESITI E RISPOSTE**

2.1 **Primo Quesito - Validare il modello, dimostrare cioè che lo stato imperturbato ottenuto facendo girare il modello per 50 milioni di anni riproduce le distribuzioni di temperatura e pressione che si misurano nei pozzi (ad esempio quanto riportato in figura 2.5b e 2.5c)**

Risposta

Il modello utilizzato per la simulazione degli effetti della produzione e reiniezione dei previsti pozzi di Montenero è il TOUGH2 che permette il calcolo degli scambi di massa e di calore dovuti al flusso tridimensionale di miscele multifase (gas e liquidi) di varie specie chimiche all'interno di un mezzo poroso di permeabilità assegnata. Il modello necessita la definizione di un modello geologico concettuale inclusivo delle condizioni al contorno del dominio di calcolo.

Il modello concettuale è stato predisposto elaborando i dati geologici, stratigrafici, tettonici e idrogeologici noti e disponibili in letteratura che indicano come il sottosuolo dell'area nella quale ricade il permesso di ricerca Montenero sia caratterizzata dalla presenza di un assetto termico, idrogeologico e strutturale in continuità con quello dei campi in coltivazione del M. Amiata (Bagnore e Piancastagnaio) situati, come il PR "Montenero" all'interno della stessa grande anomalia geotermica amiatina descritta dalla distribuzione del flusso di calore geotermico (150 mW/m²).

In particolare, l'assetto tettonico, strutturale, stratigrafico, idrogeologico e termico del campo di Bagnore trova una naturale prosecuzione verso Nord-Ovest, nell'area di Montenero consentendo, sulla base di quanto già descritto nella documentazione già prodotta, di estrapolarne le caratteristiche termiche e strutturali. Il contiguo campo geotermico di Bagnore dista 10 km dall'area indiziata per la perforazione dei pozzi profondi del presente progetto sperimentale di Montenero. Anche in termini di flusso di calore gli studi eseguiti da Baldi et al., (1994¹) evidenziano che l'area di Montenero è caratterizzata da valori relativamente elevati, tra 200 e 150 mW/m².

In questa zona è presente lo stesso continuo acquifero profondo di importanza regionale ospitato nelle rocce carbonatiche Mesozoiche della Falda Toscana

¹ Baldi P., Bellani S., Ceccarelli A., Fiordelisi A., Squarci P., Taffi L., (1994). Correlazioni tra le Anomalie Termiche ed altri Elementi Geofisici e Strutturali della Toscana Meridionale. Studi Geologici Camerti, 1994, Vol. speciale 1, pp. 139-149;



PROGETTO	TITOLO	REV.	Pagina
P16_BUR_012	GESTO ITALIA SRL: [ID VIP 2777] IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO MONTENERO INTEGRAZIONI VOLONTARIE	0	2

sepolte sotto una coltre di rocce a bassa permeabilità rappresentata dai flysch argillitici Liguri.

Tale acquifero carbonatico in continuità con il campo geotermico di Bagnore, è costituito dalle formazioni prevalentemente calcaree mesozoiche e dalle evaporiti triassiche della Formazione di Burano.

Facendo riferimento al modello geologico illustrato in *Figura 2.1a* è stato pertanto ricostruito l'assetto termico strutturale profondo.

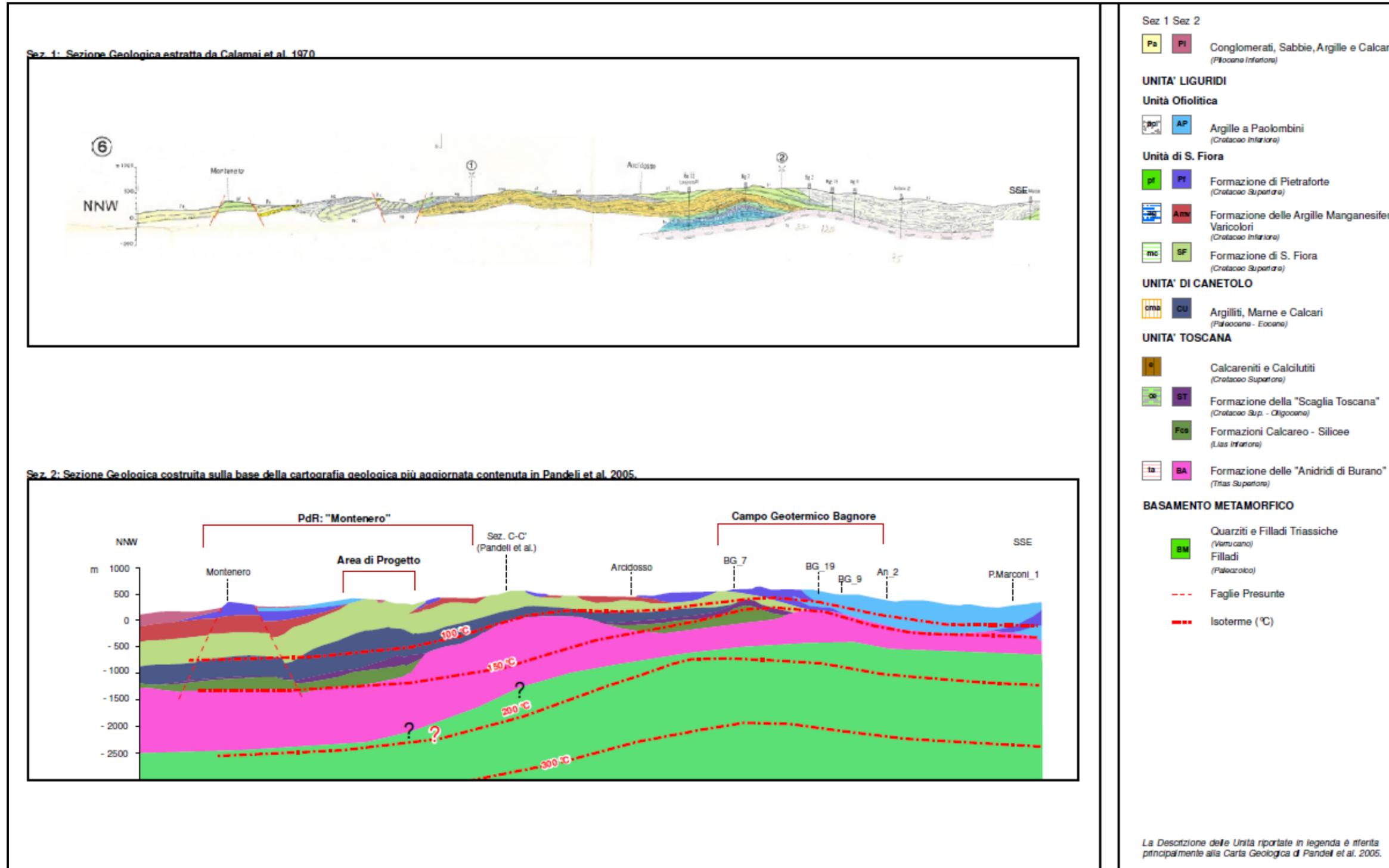
Nella sezione 2 di *Figura 2.1a* viene rappresentata la continuità della Falda Toscana in accordo con le ricostruzioni locali derivanti dalle interpretazioni dei profili sismici CROP 18B e CROP 03 posizionati rispettivamente a Sud e a Nord dell'area di studio (Brogi, 2004a, b, c; Brogi et al., 2005²), passanti nei pozzi geotermici occidentali dell'area del M. Amiata.

² Brogi A., (2004a). Assetto Geologico del Nucleo di Falda Toscana affiorante nel Settore Occidentale del Monte Amiata (Appennino Settentrionale): Strutture pre- e Sin-Collisionali Relitte Preservate durante lo Sviluppo della Tettonica Distensiva Post-Collisionale. Boll. Soc. Geol. It. 123, pp.443-461;
Brogi A., (2004b). Seismic Reflection and Borehole Logs as Tools for Tectonic and Stratigraphic Investigations: New Geological Data for the Tuscan Nappe exposed in the Northeastern Monte Amiata (Northern Apennines Italy). Boll. Soc. Geol. It. 123, pp.189-199;
Brogi A., (2004c). Miocene Low-Angle Normal Detachments and Upper Crust Megaboudinage in the Mt Amiata Geothermal Area (Northern Apennines Italy) - Geodinamica Acta 17, pp.375-387;
Brogi A., (2005). Contractional Structures as Relicts of the Northern Apennines Collisional Stage Recorded in the Tuscan Nappe of the Mt Amiata Geothermal Area (Italy) - Boll Soc Geol It Sepe 4, pp.53-65.



PROGETTO	TITOLO	REV.	Pagina
P16_BUR_012	GESTO ITALIA SRL: [ID VIP 2777] IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO MONTENERO INTEGRAZIONI VOLONTARIE	0	3

Figura 2.1a Sezione Termico - Stratigrafica



Da quanto sopra, e meglio esposto in Allegato 1 al documento - ID:2777 Risposte alle richieste di integrazioni, agosto 2015 - è stata effettuata una modellazione le cui *condizioni al contorno* possono essere descritte come segue.

Il sistema sottostante l'area del permesso di ricerca può quindi essere schematizzato con una copertura impermeabile, da un serbatoio geotermico in continuità con quelli di Bagnore e Pian Castagnaio sovrastante il basamento metamorfico che, qualora fratturato potrebbe ospitare un secondo serbatoio (di fatto sfruttato nei campi di Bagnore e Piancastagnaio).

Il tetto del primo serbatoio geotermico, nell'area prevista per la realizzazione dell'impianto pilota "Montenero", è situato ad una profondità di circa 1.300 m dal piano campagna; tale serbatoio presenta una temperatura di circa 140 °C ed una pressione idrostatica con livello piezometrico a circa +230 m sul livello del mare, come risulta dalle misurazioni delle pressioni e dei livelli di ambedue i campi di Bagnore e Piancastagnaio distanti tra loro circa 10 km (*si veda Barelli et al 2010³*).

Per il primo serbatoio geotermico di Montenero (è stato stimato uno spessore di circa 1.000 – 1.200 m, come risulta dalla interpretazione dei dati di Barelli et al. (2010) e dalla ricostruzione stratigrafica di cui alla sezione2 della *Figura 2.1a*.

Al di sotto del serbatoio si situa il basamento metamorfico caratterizzato bassa permeabilità, con un gradiente geotermico simile a quello superficiale, sufficiente a permettere un incremento della temperatura fino a circa 300 °C alla base del volume considerato (*Tabella 2.1a*).

Tabella 2.1a *Descrizione dell'Assetto Tettonico Stratigrafico e Termico dell'Area del Permesso di Ricerca "Montenero"*

da – a (m da p.c.)	Stratigrafia	Spessore (m)	T (°C) alla base
0 – 1.300	Flysch ligure	1.300	130 – 140 °C
1.300 – 2.500	Falda Toscana	1.200	130 -140 °C (temperatura tetto 1° serbatoio)
2.500 - ?	Basamento Metamorfico	?	300 °C a circa 3.500 m (2° serbatoio)

Dalle considerazioni di cui sopra, è stato realizzato un modello geologico tridimensionale della zona del PR, schematizzato da una sequenza di tre strati rappresentanti rispettivamente un "cap" impermeabile (formazioni rocciose di copertura), il reservoir vero e proprio ed un basamento sottostante (*Figura 2.1b*).

³ Barelli A., Ceccarelli A., Dini I. Fiordelisi A., Giorgi N., Lovari F., Romagnoli P., 2010. A review of the Monte Amiata Geothermal System (Italy). Proceedings World Geothermal Congress. Bali, Indonesia, 25-29 Aprile 2010

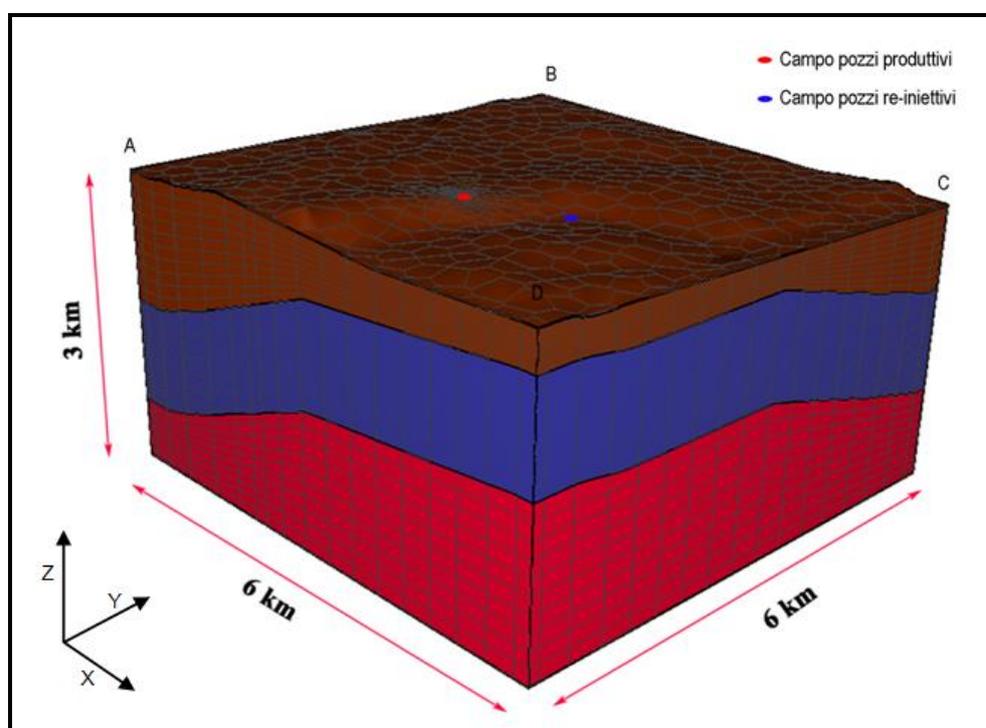
Per i tre layers geologici in cui è stato suddiviso il volume considerato, sono stati assunti valori di permeabilità, pari rispettivamente a $5 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$ (flysch), $5 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$ (serbatoio) e $5 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$ (basamento). Questi sono valori tipici delle formazioni suddette come risulta da Enel, 2009⁴.

E' stata quindi imposta una porosità del 10% per la copertura impermeabile, del 2% per il reservoir e del 1.5% per il basamento in analogia con quanto riportato in Enel, 2009.

La conducibilità termica della matrice rocciosa in ogni strato è stata considerata rispettivamente pari a 2.3, 5 e $3.25 \text{ Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$. La densità della matrice rocciosa è stata assunta pari rispettivamente a 2.400, 2.700 e 2.650 kg/m^3 . Il calore specifico è stato considerato $1.000 \text{ Jkg}^{-1}\text{C}^{-1}$.

Per continuità dell'assetto idrogeologico e termico-strutturale, i valori di tali parametri sono del tutto simili a quelli utilizzati da Enel per la modellazione della contigua area geotermica di Bagnore (Enel, 2009).

Figura 2.1b *Modello tridimensionale di riferimento utilizzato durante le simulazioni numeriche. Il dominio considerato consta di un prisma di $6 \text{ km} * 6 \text{ km} * 3 \text{ km}$. La topografia, il top del Reservoir e del Bedrock sono stati impostati alle opportune quote del Volume.*



⁴ Enel, (2009). Acquiferi del Monte Amiata e Coltivazione Geotermica. Integrazioni Riassetto di Piancastagnaio.

Come condizioni al contorno, oltre alla pressione in equilibrio con il livello idrostatico costante a + 230 m, è stata assunta la temperatura al tetto del Serbatoio Geotermico di 130 °C ed alla base di 155 °C.

L'insieme di tale modello geologico strutturale e termico e dei parametri considerati hanno costituito i dati di input inseriti all'interno del codice di calcolo Tough2, capace di restituire un modello numerico del volume considerato.⁵

Con le condizioni al contorno sopra descritte e considerate, il modello è stato fatto girare per 100 milioni di anni fino ad arrivare a stabilizzazione ed ha restituito la distribuzione di pressione (livello piezometrico a +230 m) e temperature di riferimento per l'area di Montenero in stato stazionario come risulta dai dati dei campi geotermici di Bagnore e Piancastagnaio che si presentano in continuità termica e strutturale con l'area in oggetto.

2.2

SECONDO QUESITO - Chiarire meglio di quanto fatto nell'appendice (le figure 5.2.c 5.2e non sono leggibili, le didascalie delle figure dovrebbero quantomeno contenere quello che si rappresenta in ascisse ed ordinate) i risultati ottenuti magari dei grafici che riportano l'andamento in funzione del tempo delle variazioni di temperatura e pressione causata da produzione e reiniezione.

Risposta

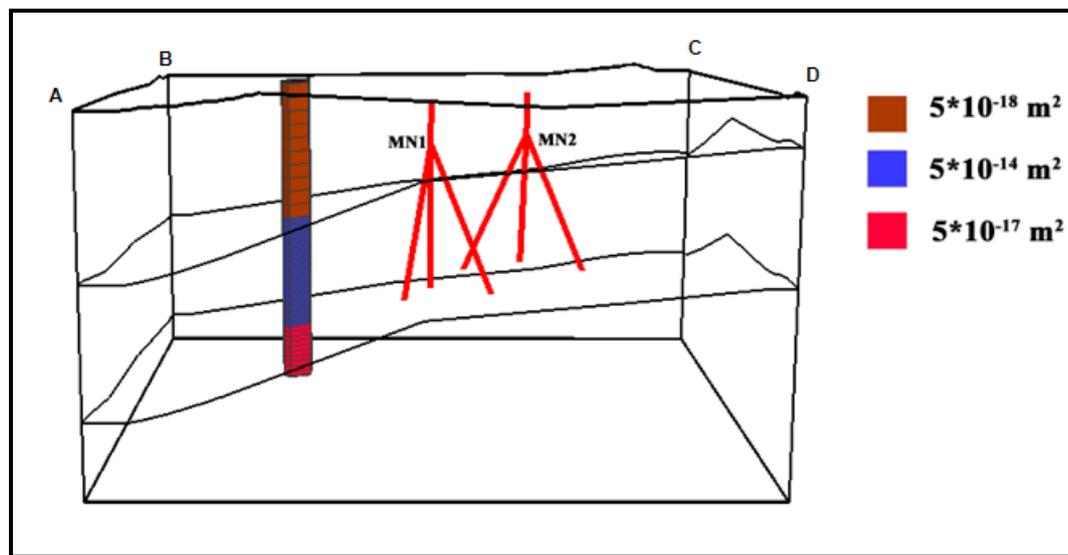
Continuando la descrizione della metodologia adottata e partendo dallo stato stazionario, sono stati introdotti nel modello i pozzi di produzione e re-iniezione previsti nel progetto pilota Montenero, per valutare la sostenibilità di coltivazione del campo mediante re-iniezione totale del fluido.

La configurazione dei pozzi è riportata nella *Figura 5.1b* e la simulazione tiene conto della loro traiettoria. I pozzi di emungimento interesseranno il reservoir (casing finestrato) tra 1.300 m e 1.800 m di profondità rispetto al livello del mare; i pozzi di reiniezione avranno lo stesso range di profondità di re-immissione dei fluidi all'interno del medesimo serbatoio. La temperatura di emungimento è pari a 140 °C mentre quella di re-iniezione, come da progetto, è stata imposta pari a circa 70 °C.

⁵ TOUGH2 permette il calcolo degli scambi di massa e di calore dovuti al flusso tridimensionale di miscele multifase (gas e liquidi) di varie specie chimiche all'interno di un mezzo poroso di permeabilità assegnata, assumendo l'equilibrio locale tra fluidi e matrice rocciosa. Le equazioni di conservazione della massa e dell'energia, che descrivono le condizioni termodinamiche del sistema, vengono discretizzate nella loro forma integrale, in uno schema detto metodo delle differenze finite integrali (Edwards, 1972). Le soluzioni consistono in un insieme di valori di due variabili termodinamiche indipendenti (nel nostro caso pressione P e temperatura T) che definiscono univocamente lo stato del sistema. Queste variabili vengono stimate, in funzione del tempo, nei centri delle celle in cui il volume discretizzato è stato suddiviso.

Le portate di prelievo imposte sono state di 230 t/h per ciascun pozzo di prelievo e di 230 t/h per il pozzo di re-iniezione. Il tempo di coltivazione simulato è di 100 anni, che rappresenta il tempo in cui il sistema tende a giungere ad un nuovo stato di equilibrio.

Figura 5.1b Profilo di permeabilità caratteristico del modello considerato e geometria dei pozzi)



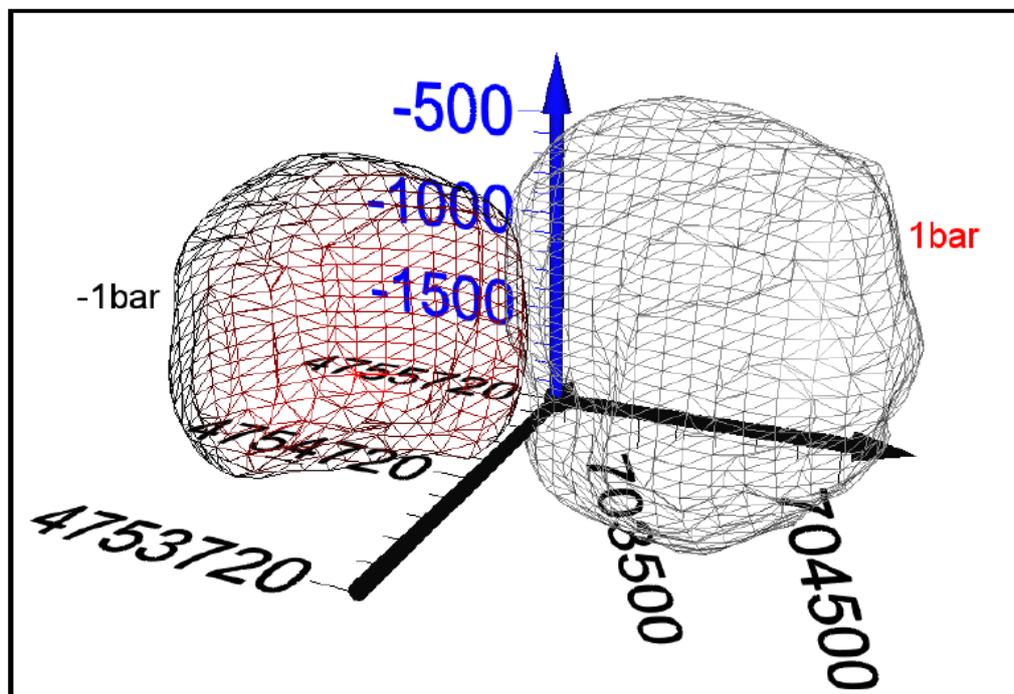
Entrando nel merito del secondo quesito del presente paragrafo, si riportano le figure dell'Allegato 1 di cui si richiede una più chiara spiegazione.

In Figura 5.2c sono stati individuati due volumi principali, all'interno dei quali si verificano le variazioni negative e positive uguali o superiori (in valore assoluto) a -1 bar e +1 bar rispettivamente.

Tale valore di +/- 1bar rappresenta la variazione limite di pressione che si verifica all'interno di volumi (quello relativo al dominio dei pozzi di emungimento e di re-iniezione rispettivamente) che non interferiscono fra di loro.

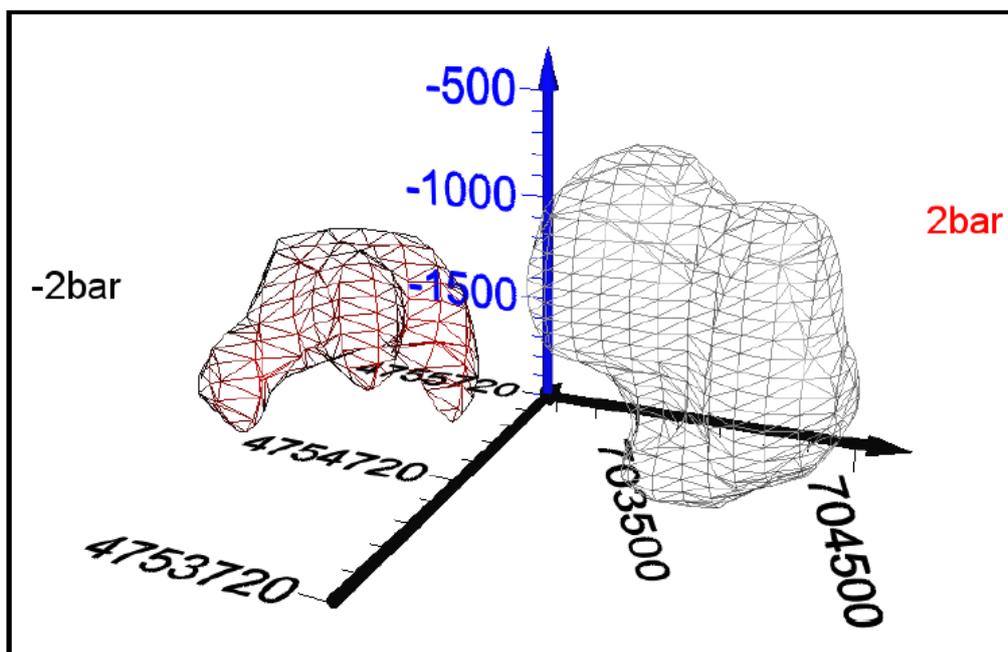
I volumi relativi a variazioni di $\pm 1\text{bar}$ sono pari a: $3.7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ per variazioni di +1 bar nella zona di re-iniezione; $1.09 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ per variazioni di -1 bar nella zona di produzione.

Figura 5.2c Isosuperfici delle variazioni di pressione generate dal campo pozzi di prelievo e re-iniezione per un periodo di sfruttamento delle risorse di cinquanta anni, relative a +1 bar e -1 bar.



In Figura 5.2d si riportano i volumi che contengono variazioni di pressione pari a +/- 2bar, da cui si evince la loro completa indipendenza (non interferenza).

Figura 5.2d Isosuperfici delle variazioni di pressione generate dal campo pozzi di prelievo e re-iniezione per un periodo di sfruttamento delle risorse di cinquanta anni, relative a +2 bar ed a -2 bar.



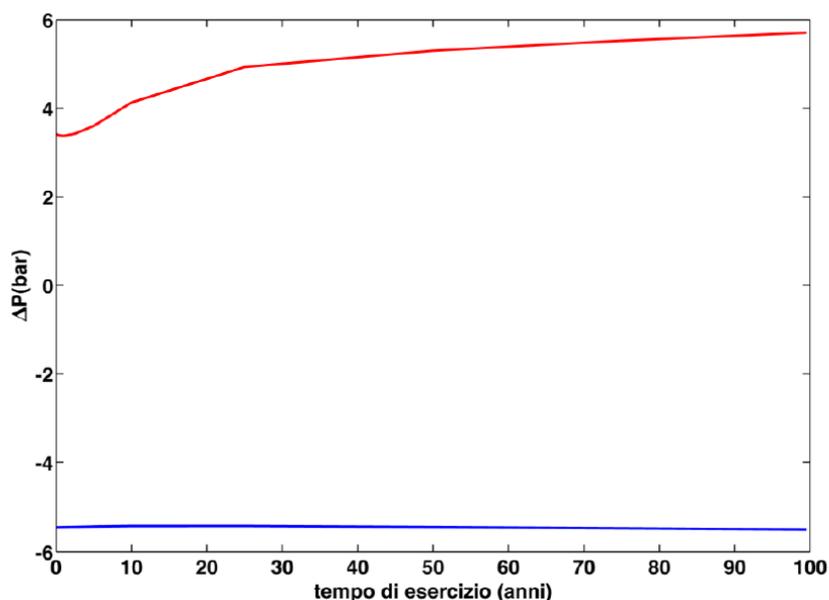
I numeri sull'asse verticale, di entrambe le figure sopra riportate, rappresentano la profondità in metri, quelli sui due assi orizzontali sono le coordinate del sistema di riferimento UTM (esprese in m).

Dalla figura 5.2c, usando la scala verticale, si può facilmente evincere che i raggi medi dei due volumi (che sono quasi sferici) sono pari a circa 800 m per la zona di reiniezione (+1bar) e di circa 700 m per la zona di emungimento (-1bar).

La seguente Figura 5.2e, invece, mostra l'evoluzione nel tempo, durante i 100 anni di esercizio simulati, delle variazioni di pressione nelle celle interessate (superficie 500 m² altezza circa 200 m) dalle traiettorie dei pozzi, sia di produzione che di re-immissione, che corrispondono alle zone di massima variazione.

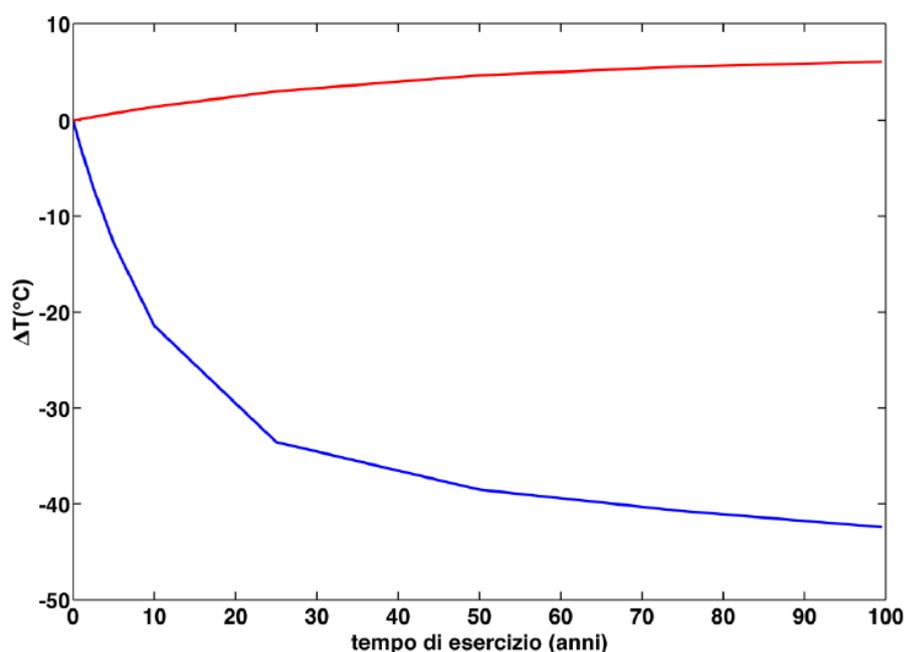
Le variazioni massime, pari a circa 5 bar avvengono in sostanza soltanto, all'interno della cella che comprende il pozzo e quindi interessando volumi compresi in un raggio non superiore a 25 m dall'asse del pozzo.

Figura 5.2e Simulazione dopo 100 anni dell'andamento della variazione di pressione al fondo della zona dei pozzi di emungimento (blu) e di reiniezione (rosso).



In Figura 5.2g si mostra, infine, l'evoluzione nel tempo, durante i 100 anni di esercizio simulati, delle variazioni di Temperatura nelle zone delle immediate pareti dei pozzi, sia di produzione che di reimmissione, che corrispondono alle zone di massima variazione. Si nota una diminuzione massima di temperatura dell'ordine dei 50 °C in corrispondenza dei pozzi di reiniezione.

Figura 5.2g Simulazione dell'andamento della temperatura assoluta al fondo della zona di emungimento (rosso) e di reiniezione dei condensati (blu)



I valori riportati si riferiscono esattamente a quelli calcolati dal modello nelle celle interessate dalle traiettorie dei pozzi, dove sono attese le massime variazioni di P e T. In sostanza gli effetti di variazione ΔP e ΔT diminuiscono allontanandosi dall'asse dei pozzi, e hanno scarsissima interazione già a distanze dall'asse pozzo di circa 700-800 m.

2.3

TERZO QUESITO - Infine è richiesta una ricerca finalizzata a chiarire le modalità di ricarica del serbatoio geotermico e la direzione dei flussi sotterranei.

Risposta

Premesso che, come risulta dalla letteratura specializzata⁶ e come dettagliato nel nostro documento di risposta alle richieste di integrazioni, non sono ipotizzabili collegamenti tra la falda superficiale e il serbatoio geotermico del Monte Amiata di cui il permesso di ricerca Montenero è in continuità, nel seguito si argomenterà come la produzione e reiniezione di fluido geotermico nell'area di Progetto, non abbia effetti su una potenziale falda superficiale.

⁶ Università di Siena (2008), Studio geostrutturale, idrogeologico e geochimico ambientale dell'area amiatina; Barazzuoli P., Bertini G., Brogi A., Capezzuoli E., Conticelli S., Doveri M., Ellero A., Gianelli G., La Felice S., Liotta D., Marroni M., Manzella A., Meccheri M., Montanari D., Pandeli E., Principe C., Ruggeri G., Sbrana A., Vaselli O. and Vezzoli L., 2015. COMMENT on: Borgia A, Mazzoldi A., Brunori C.A., Allocca C., Delcroix C., Micheli C., Vercellino A., Grieco G., 2014. Volcanic spreading forcing and feedback in geothermal reservoir development, Amiata Volcano, Italia. J. Volc. Geoth. Res. 284,16-31. Journal of Vulcanology and Geothermal Research 303 (2015), 1-6.

Tale concetto è stato ribadito dal Tribunale Amministrativo Regionale per la Toscana, con la sentenza del 2014 n 107, richiamata anche nell'ordinanza del 17 aprile 2015 n 269, la quale, riportando la sequenza dei lavori, contributi, relazioni che hanno interessato l'argomento, giudica infondato l'asserito collegamento idraulico ipotizzato dai ricorrenti tra il bacino acquifero del Monte Amiata e la falda geotermica.

Essendo le argomentazioni del TAR valide per le coltivazioni dei campi geotermici amiatini, presenti a poche centinaia di metri dall'edificio vulcanico, a maggior ragione, le asserite interferenze possono essere ragionevolmente escluse per la coltivazione geotermica del presente progetto Montenero, la quale verrà effettuata a distanza di oltre 4 km dai più vicini ed esigui affioramenti delle rocce vulcaniche.

Per quanto riguarda la possibile ricarica del serbatoio geotermico, esclusa la possibilità di interferenza con l'acquifero superficiale del Monte Amiata, le uniche zone di potenziale ricarica sono situate a più di 12 km di distanza dai limiti del Permesso di Ricerca come si evince dalla Carta Geologica della Toscana dove sono visibile le aree di affioramento delle formazioni riferibili al potenziale serbatoio (Falda Toscana).

Tale collocazione della ricarica fa sì che possa essere esclusa qualunque interazione tra la potenziale ricarica e l'esercizio dell'impianto geotermico in progetto.

Infatti, dalla modellazione eseguita con il codice Tough 2, è stato riscontrato che gli effetti, indotti dall'esercizio dell'impianto, si esauriscono ad una distanza minore di 2 km dai pozzi in progetto, non andando quindi ad interessare le potenziali aree di ricarica del sistema.

Abbiamo calcolato, inoltre, la quantità di fluidi che migrano dalla zona di alta pressione (re-iniezione) alla zona di bassa pressione (emungimento); sono state infatti calcolate le medie dei vettori che attraversano la sezione passante tra il dominio della zona di re-iniezione e il dominio della zona di emungimento e avente direzione perpendicolare alle linee di flusso (*Figura 2.3a*).

Ciò ha consentito di ottenere un valore medio di portata tra i due domini dell'ordine di $2,36 \cdot 10^{-4}$ kg/(s·m²) pari a circa 7.400 kg/(anno·m²).

Considerando quindi la sezione, sopra descritta, come una superficie circolare con raggio di 500 m, si ottiene che per tale sezione passa una portata annua di fluido pari a circa 660 t/h, cioè il 94 % di quella di progetto (700 t/h).

Per quanto riguarda la direzione dei flussi (*Figura 2.3a*), derivanti dall'esercizio dell'impianto, è stato possibile osservare che i pozzi di emungimento (MN1) richiamano quasi totalmente (94 %) acqua derivante dalla reiniezione (MN2), solo modesti volumi di fluido (max 10 % della portata totale) vengono richiamati da zone del serbatoio geotermico circostante (laterale e più profonde).

Considerando inoltre, come esposto precedentemente, che le potenziali infiltrazioni superficiali sono situate a più di 12 km di distanza dai limiti del Permesso di Ricerca in oggetto si può dedurre la notevole estensione areale del Serbatoio Geotermico che fa risultare irrilevanti i “volumi” interessati dall’esercizio dell’impianto.

Per quanto sopra esposto si possono escludere interferenze percepibili, derivanti dall’esercizio dei pozzi in progetto, con le potenziali aree di ricarica del serbatoio geotermico interessato.



Figura 2.3a *Linee di Flusso (Da polo di Reiniezione MN2 a polo di produzione MN1)*

