

RGT - RETE GEOTERMICA TOSCANA s.r.l.

VIA ERNESTO ROSSI N°9 - 52100, AREZZO

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

PEC: retegeotermicatoscana@pec.it

Impianto Geotermico Pilota Castelnuovo



00	26/06/2018	Emissione	Rete Geotermica Toscana	Rete Geotermica Toscana	Rete Geotermica Toscana
REV.	DATA	OGGETTO	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

RGT - RETE GEOTERMICA TOSCANA S.r.l.

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

TITOLO: **INTEGRAZIONE VOLONTARIA**
"Chiarimenti sulla modellazione numerica del serbatoio geotermico"

NOTE:

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

C	A	S	0	2	D	E	G	E	R	1	1	4
ARGOMENTO	PROGETTO	LIVELLO	AREA	TIPO	PROGRESSIVO							

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

FOGLIO: 1/10

FORMATO: A4

PREMESSA

Con il presente documento la Società RGT-Rete Geotermica Italiana S.r.l. fornisce precisazioni a quanto già riportato nel documento CAS.02.DE.GR.R.058 - RELAZIONE GEOLOGICO-MINERARIA, finalizzate ad una più dettagliata descrizione delle modalità con le quali è stato ricostruito il modello numerico del serbatoio geotermico del progetto Castelnuovo.

DESCRIZIONE DEL PROGETTO

La società RGT-Rete Geotermica Italiana S.r.l. intende realizzare, nel territorio comunale di Castelnuovo Val di Cecina in provincia di Pisa, all'interno dell'area di Permesso di Ricerca Castelnuovo in accordo con il D.Lgs. n. 28 del 03/03/2011, l'Impianto Geotermico Pilota denominato “Castelnuovo” per la produzione di calore ed energia elettrica utilizzando il **ciclo ORC** (Organic Rankine Cycle). L'impianto prevede di reiniettare i fluidi geotermici utilizzati nelle formazioni di provenienza senza emissioni in atmosfera.

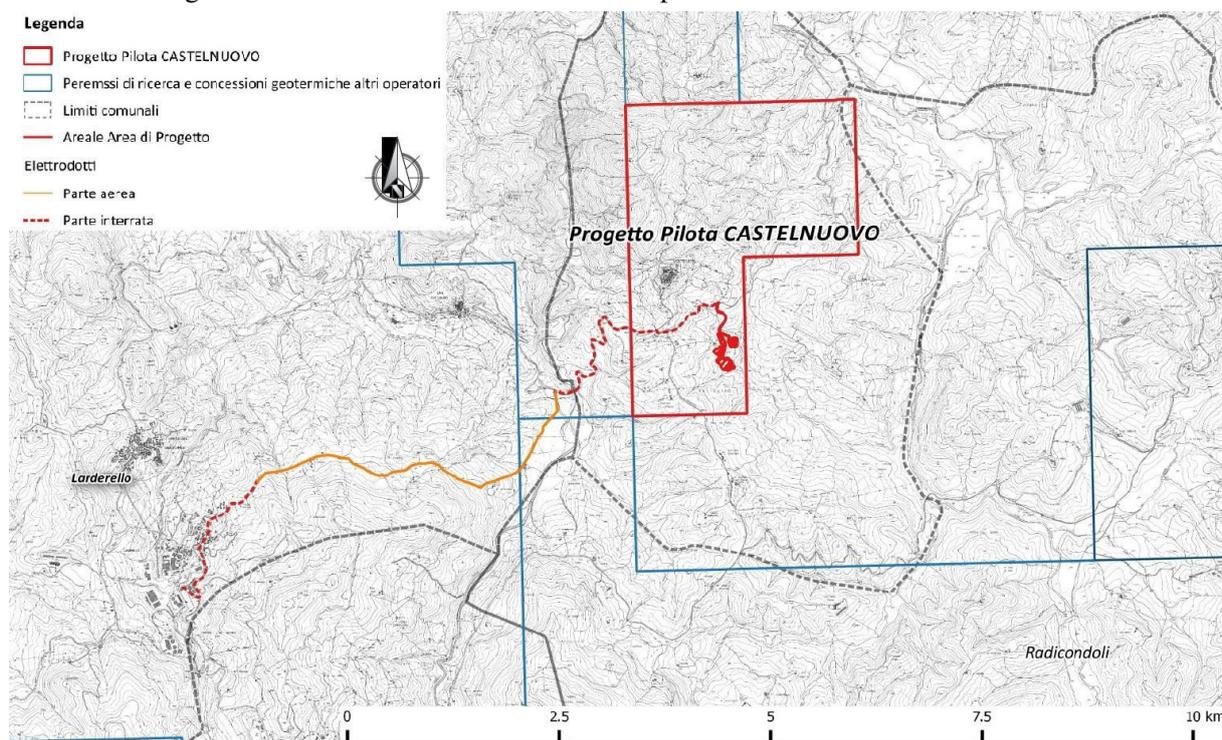


Figura 1: Localizzazione dell'Impianto pilota e delle opere connesse. In rosso il perimetro del permesso di ricerca Castelnuovo all'interno del quale sono posizionate le opere del progetto. In rosso tratteggiato la linea MT interrata e in arancio la linea MT in aereo che collega la centrale alla cabina di consegna “Larderello 2” (tavola Corografia generale stato di progetto su CTR10k)

DESCRIZIONE GEOLOGICA DEL SERBATOIO GEOTERMICO

Al capitolo 2 della Relazione Generale CAS.02.DE.GE.R.001, viene presentata una descrizione dell'area del Permesso di Ricerca “Castelnuovo” e delle caratteristiche del sistema geotermico che intende coltivare. Da qui si evince che:

- Il Permesso di Ricerca “Castelnuovo” è adiacente al Permesso di ricerca di risorse geotermiche “Mensano” (del quale è titolare la Soc. Magma Energy Italia, che è anche socio della Rete Geotermica Toscana) ed è situato in prossimità delle Concessioni di Coltivazione di risorse geotermiche “Larderello” e “Travale” di Enel Green Power, nelle quali sono state realizzate varie centrali geotermoelettriche. Tra queste, la centrale “Sesta”, in esercizio da oltre un decennio ed ubicata a pochi chilometri di distanza dal progetto “Castelnuovo”

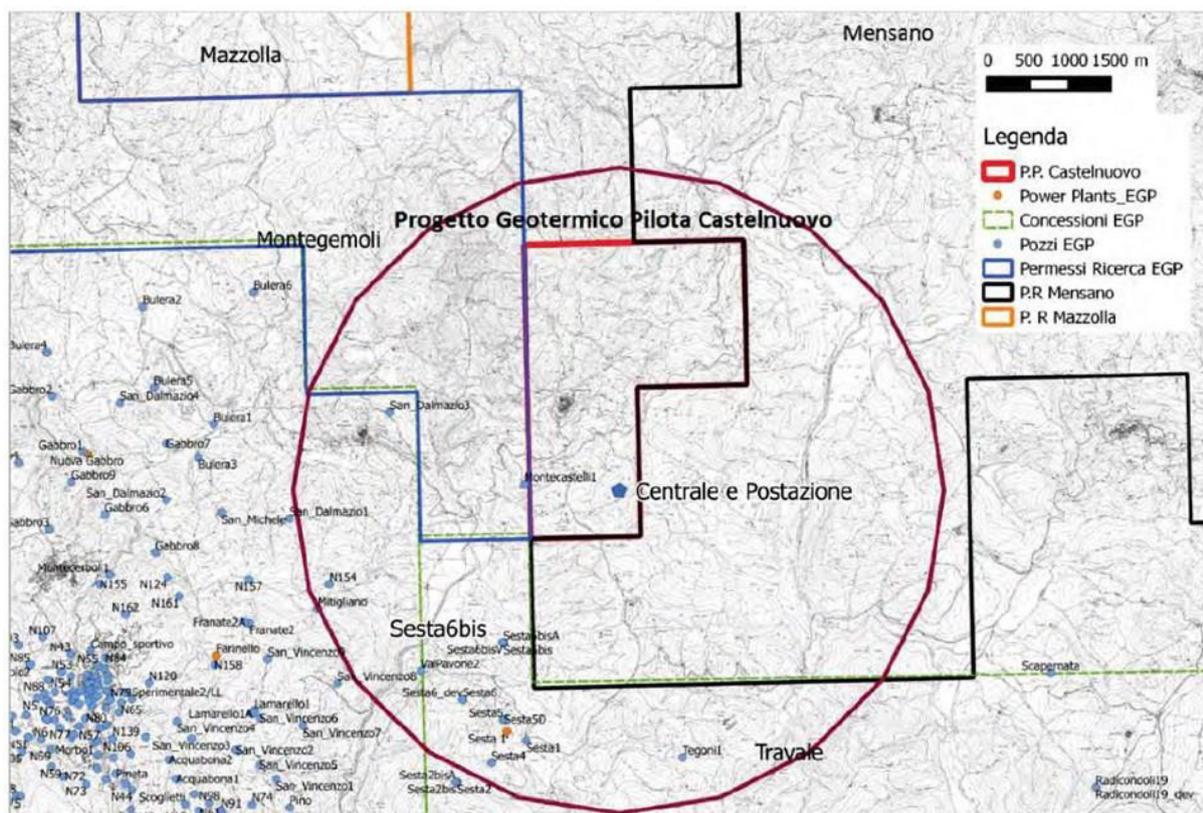


Figura 2: Centrali e pozzi Enel Green Power nel raggio di 4 km, concessioni e permessi confinanti (figura già riportata a pagina 13 del documento CAS.02.DE.GE.R.076.01 - Approfondimenti Relativi all'Abbattimento delle Emissioni Aeriformi)

- Il sistema geotermico di “Larderello-Travale” è uno dei pochi sistemi a vapore dominante al mondo ed è caratterizzato da un assetto termico idrogeologico e strutturale analogo a quello delle concessioni geotermiche di Enel Green Power che è rappresentato in Figura 3.

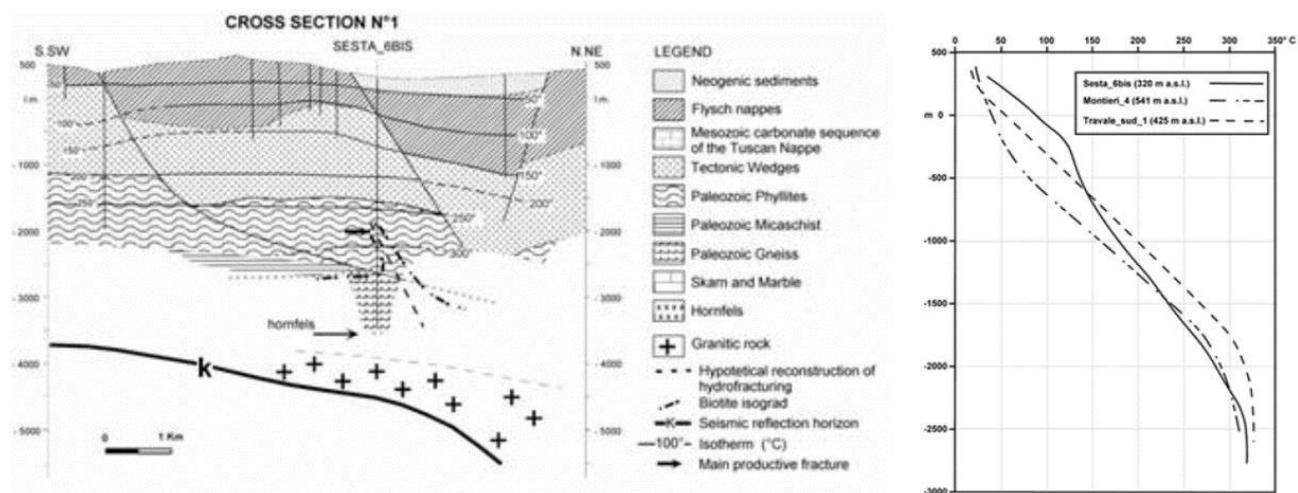


Figura 3: A sinistra: (da Barelli et al. 2000) Sezione geologico-strutturale con relativa legenda stratigrafica del pozzo Sesta_6bis e distribuzione delle isoterme e a destra: profili termici dei pozzi produttivi Sesta_6bis, Montieri_4 e Travale sud_1 (da Barelli et al. 2000) utilizzati per la ricostruzione della temperatura nel permesso “Castelnuovo”

- Sulla base dei numerosi dati pubblicati, relativi a prospezioni geofisiche e pozzi realizzati in passato, ed ai dati di prospezioni geologiche e geofisiche recentemente acquisiti nell’adiacente Permesso di ricerca

“Mensano”, è stato possibile ricostruire il modello geologico del progetto “Castelnuovo”, rappresentato in Figura 4 da cui si deduce la presenza di due serbatoi:

- “primo serbatoio” costituito da rocce evaporitiche mesozoiche con temperatura prossima ai 200° e pressione di 10 bar
- “serbatoio profondo” presente all’interno del complesso di rocce metamorfico-cristalline di età paleozoica, nel quale circolano fluidi con pressione fino a 60-70 bar e temperatura di circa 300° a 3.000 m di profondità. Nel fluido sono contenuti anche gas, in percentuale variabile tra il 5 e il 10%, tra i quali prevale la CO₂ (98%) e H₂S (1,5%).

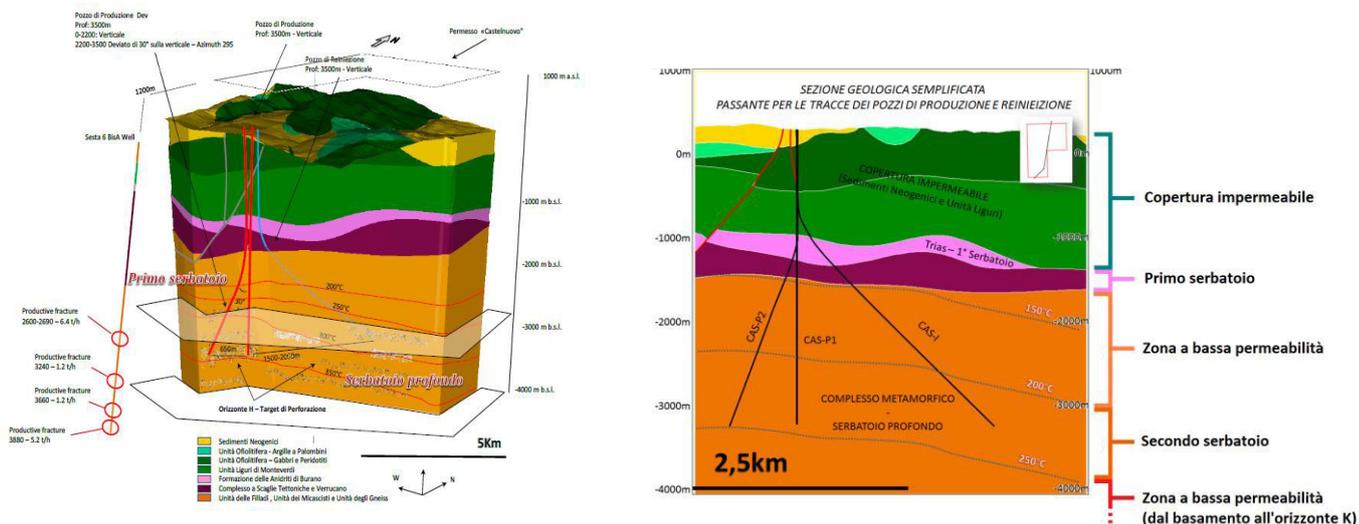


Figura 4: Modello geologico del permesso pilota “Castelnuovo”, ricostruito sulla base di tutti dati geologici e geofisici, inclusa la sismica a riflessione e i dati di pozzo.

- Per la ricostruzione della distribuzione di temperatura all’interno del sistema geotermico “Castelnuovo”, sono stati utilizzati i dati presenti nell’inventario delle Risorse Geotermiche della Toscana (1987) e in particolare le misure effettuate nei pozzi limitrofi Montecastelli 1, Sesta_6bis, Sesta_6_bisA, Montieri_4 e Travale sud_1
- In Tabella 1 sono riportate le caratteristiche del sistema geotermico “Castelnuovo”:

da - a (dal p.c.)	Stratigrafia	Spessore (m)	T (°C)	Unità geotermica	Permeabilità [m2]	Densità [kg/m3]	Porosità [%]	Cond. Term. [W/m°C]
0-150	Neogene	150		Copertura impermeabile	1,00E-18	2400	0 - 15	2
150-650	Complesso Ofiolitifero	500						
650-1100	Unità di Monte Verdi	450						
1100-1550	Anidriti di Burano	450	150°C	1° Serbatoio	5,00E-14	2700	2	6
1550-1750	Verrucano e Complesso a scaglie tettoniche	200	150°C-200°C (tetto-base)	Zona a bassa permeabilità	1E-18	2650	3	3
1750-3500	Complesso Metamorfico	1750	300°C (a 3.000 metri)	2° Serbatoio	5E-16	2650	3	2,7
3500-5000	Complesso metamorfico fino all'orizzonte K	1500	350°C-400°C	Zona a bassa permeabilità	1E-18	2650	3	3

Tabella 1: Caratteristiche geologiche e petrofisiche utilizzate per la modellizzazione del serbatoio geotermico

MODELLIZZAZIONE NUMERICA DEL SERBATOIO GEOTERMICO

La modellazione è stata eseguita nelle seguenti fasi:

A) Realizzazione del modello del serbatoio nello stato in cui si trova oggi, prima della coltivazione del campo geotermico (stato imperturbato)

Come descritto nei documenti (CAS.02.DE.GE.R.076 pag. 21-29 e CAS.02.DE.GR.R.058 pag. 30) per la realizzazione del modello:

- 1) E' stato assunto un volume di 865 km³ (Figura 5) definito da:
 - un'area 123,5 km² (9,5 X 13 km) all'interno della quale è compresa:
 - l'area di 7,52 km² del Permesso di ricerca di "Castelnuovo"
 - i pozzi geotermici Sesta_6bis, Sesta_6bisA, Montecastelli_1, rappresentativi del sistema geotermico di "Larderello-Travale"
 - uno spessore di 7000 metri, suddiviso in 18 strati di vario spessore. Ogni strato del modello è suddiviso a sua volta in 28x21 celle. La suddivisione è stata realizzata in modo tale da avere una discretizzazione più dettagliata del serbatoio principale e della zona di produzione, dove le celle hanno dimensioni di 200m x 200m x 300m.
- 2) il volume è stato discretizzato in una griglia di base di 21.168 celle, dual-porosity, con dimensioni delle celle decrescenti verso l'area del progetto (Figura 5).

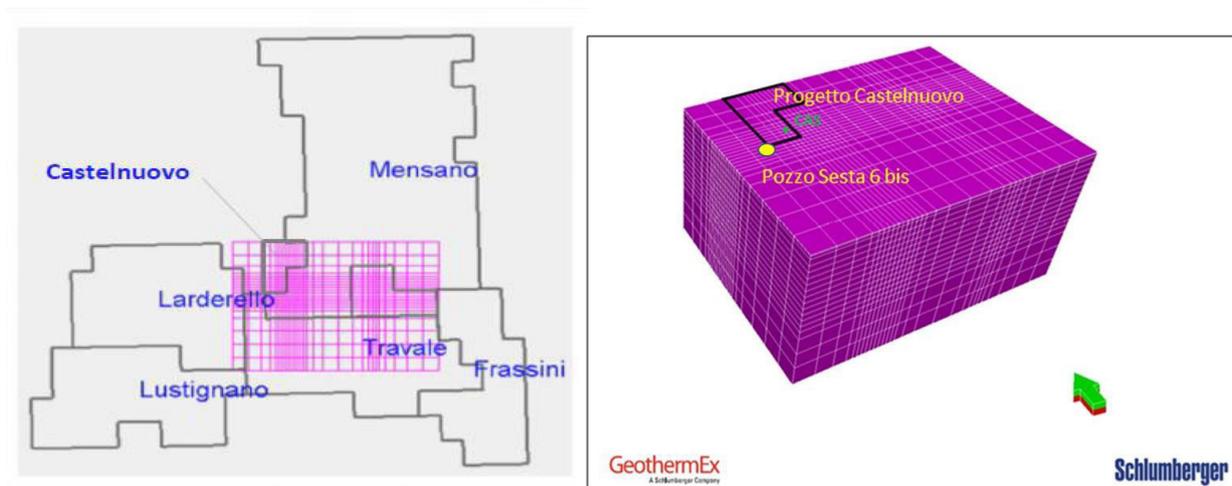


Figura 5: Ubicazione e vista 3D della griglia "dual-porosity" di simulazione

Le celle sono state così distribuite:

- piano orizzontale (X) direzione Ovest-Est: 28 celle con discretizzazione più dettagliata in prossimità dei pozzi;
- piano orizzontale (Y) direzione Sud-Nord: 21 celle con discretizzazione più dettagliata in prossimità dei pozzi;
- direzione verticale (Z) discretizzata in 18 strati di spessore (1 da 50 m, 1 da 150 m, 12 da 300 m, 1 da 400 m, 2 da 800 m, 1 da 1.000 m)

Sulla base del modello geologico riportato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, il volume del modello può essere suddiviso come segue:

- Copertura impermeabile (comprendenti le Argille del Complesso Neogenico ed il Complesso Flyschoidi Ligure),
- Serbatoio geotermico superficiale (Complesso delle Anidriti di Burano)
- Zona a bassa permeabilità (Complesso delle scaglie tettoniche)
- Serbatoio geotermico profondo con fratture (Complesso metamorfico)
- Zona a bassa permeabilità (Complesso metamorfico in prossimità del marker sismico K)

In Fig.6 è rappresentata la morfologia delle celle utilizzate per la modellazione numerica delle varie unità geologiche.

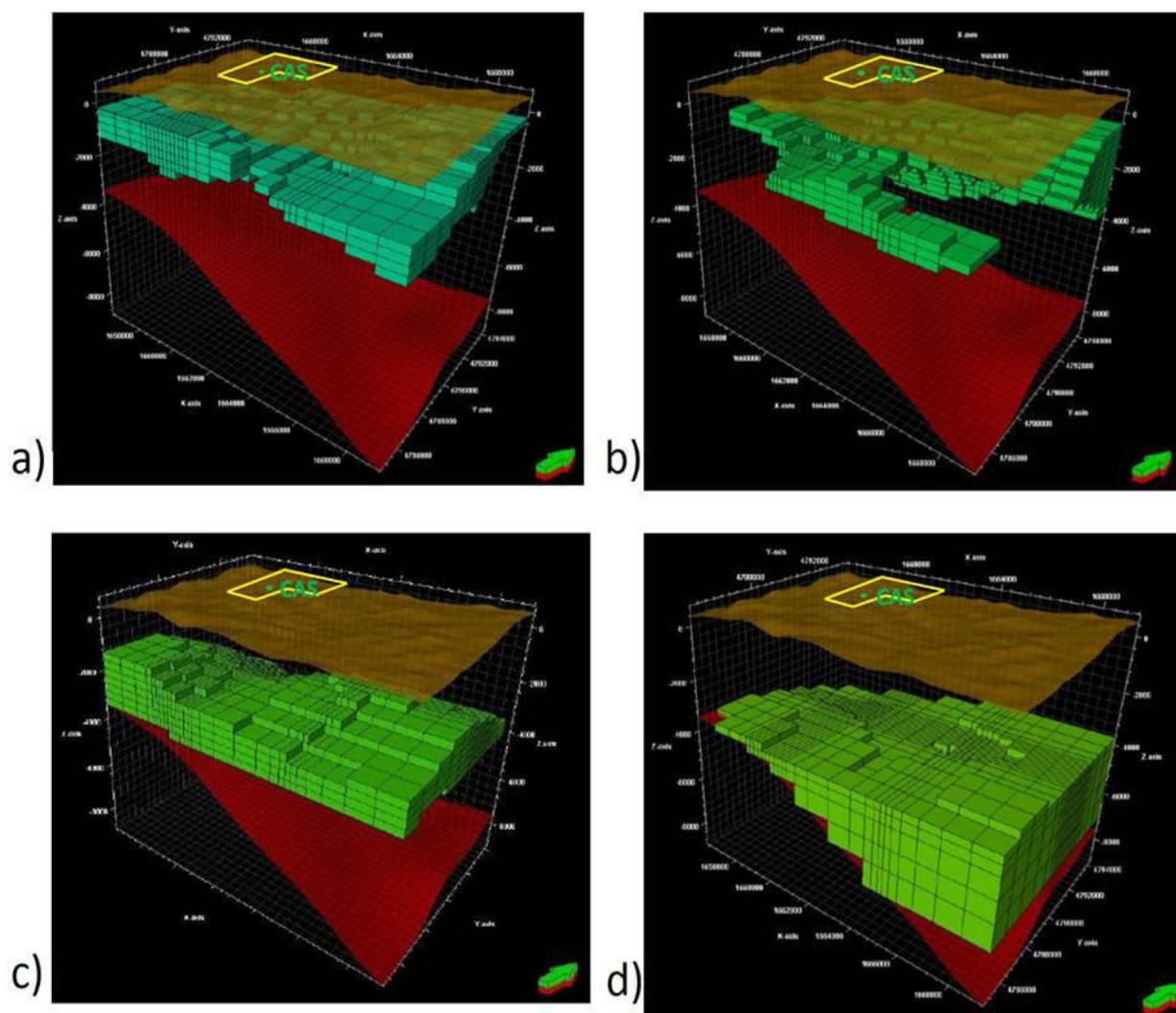


Figura 6: Morfologia dei blocchi all'interno della griglia di simulazione dei vari complessi geologici a) il serbatoio superficiale, b) il complesso delle scaglie tettoniche (a bassa permeabilità), c) il serbatoio geotermico profondo, d) la formazione metamorfica più profonda (bassa permeabilità). La superficie in rosso, che rappresenta la base del modello, è il tetto del marker sismico "K" compreso tra -4000 e -7000 m s.l.m.

3) Come condizioni al contorno per la modellazione numerica sono state assunte:

- temperatura di 350 °C alla base del serbatoio, coincidente con il tetto del marker sismico K;
- temperatura in superficie pari a 15°C;
- gradiente di pressione pari a 0.03 bar/ m¹;

4) Per il calcolo sono stati utilizzati i codici Tetrad® e Tough2®, che permettono di stimare gli scambi di massa e di calore di miscele di gas e liquidi di varie specie chimiche che si muovono all'interno di un mezzo poroso di permeabilità assegnata;

¹ Questo dato è dedotto dalla pubblicazione Romagnoli et al 2010, assumendo la presenza di un fluido bifase nel serbatoio profondo.

5) Tenendo fisse le condizioni al contorno sopra riportate sono stati utilizzati i codici Tetrad® e Tough2®, per determinare lo stato stazionario che si raggiunge dopo 200.000 anni, periodo oltre il quale ulteriori iterazioni nella simulazione numerica non portano cambiamenti nella distribuzione della temperatura e della pressione all'interno del serbatoio.

I valori di temperatura a -2000 m s.l.m. e -3000 m s.l.m. sono in accordo con quelli riportati nel Data Base del CNR (Figura 7) e con quelli misurati nel pozzo geotermico Sesta 6 Bis (Figura 8).

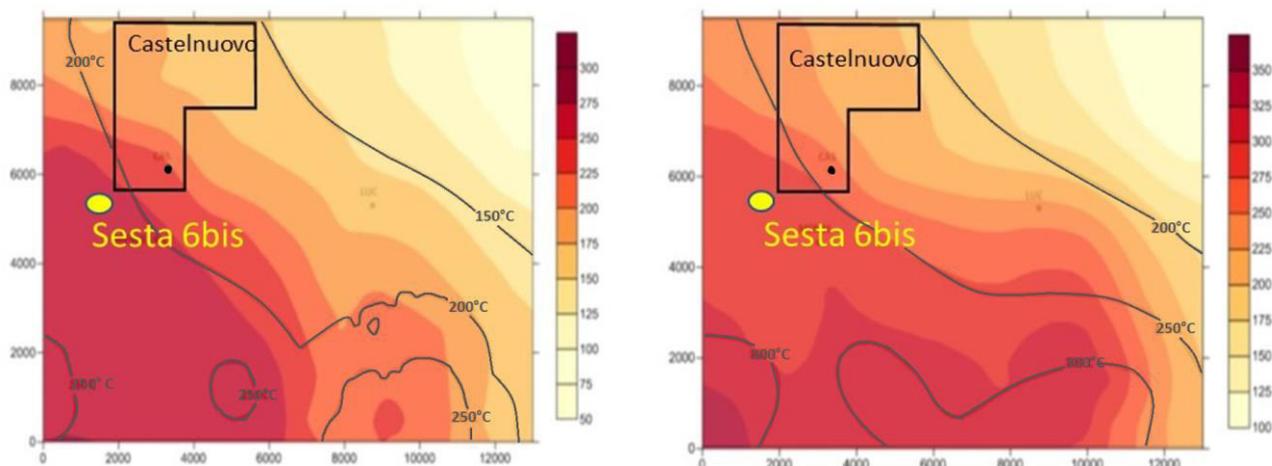


Figura 7: Confronto tra le isoterme ricostruite sulla base dei dati dei pozzi esistenti e dalle prospezioni geotermometriche (linee in grigio) e la distribuzione di temperatura ottenuta dalle simulazioni (aree riempite a colori) a -2000 m m.s.l. (a sinistra) e a -3000 m s.l.m. (a destra).

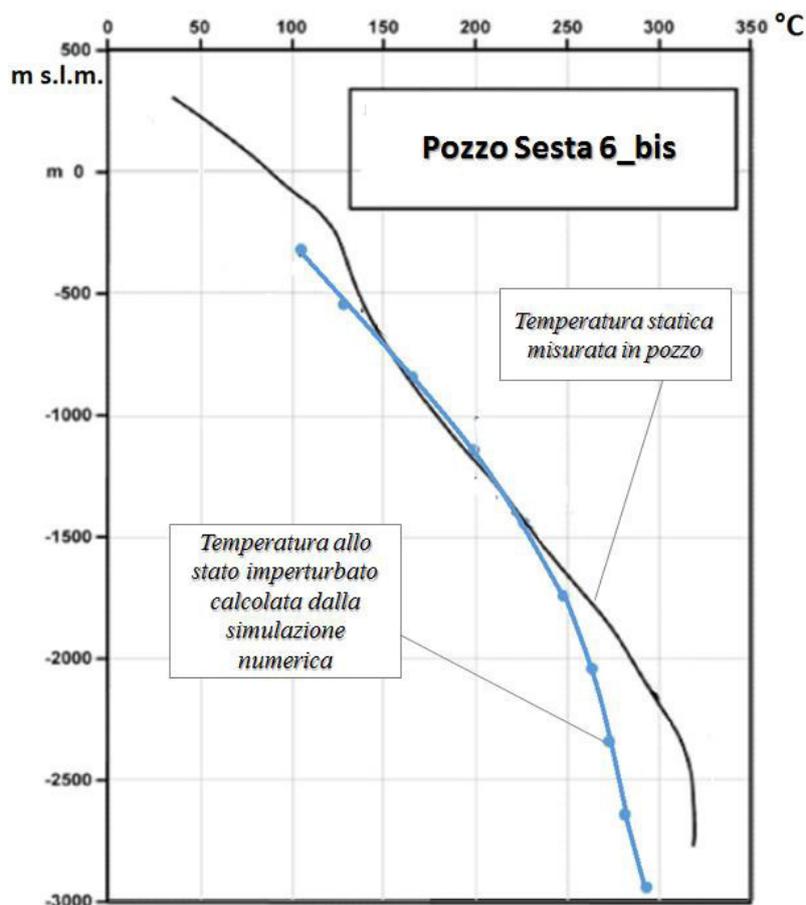


Figura 8: Confronto tra il profilo di temperatura statica misurata (linea nera) e quella ottenuta dalla simulazione dello stato imperturbato (linea blu) nel pozzo Sesta 6 bis

Sulla base dei risultati sopra descritti si può quindi concludere che la struttura geologica del sistema geotermico assunta è corretta e quindi il modello è validato e può essere usato per prevedere quello che avverrà durante la fase di coltivazione del serbatoio.

Per quanto riguarda la pressione si osserva che i valori calcolati con la modellazione numerica sono in accordo con i valori pubblicati in letteratura (Figura 9).

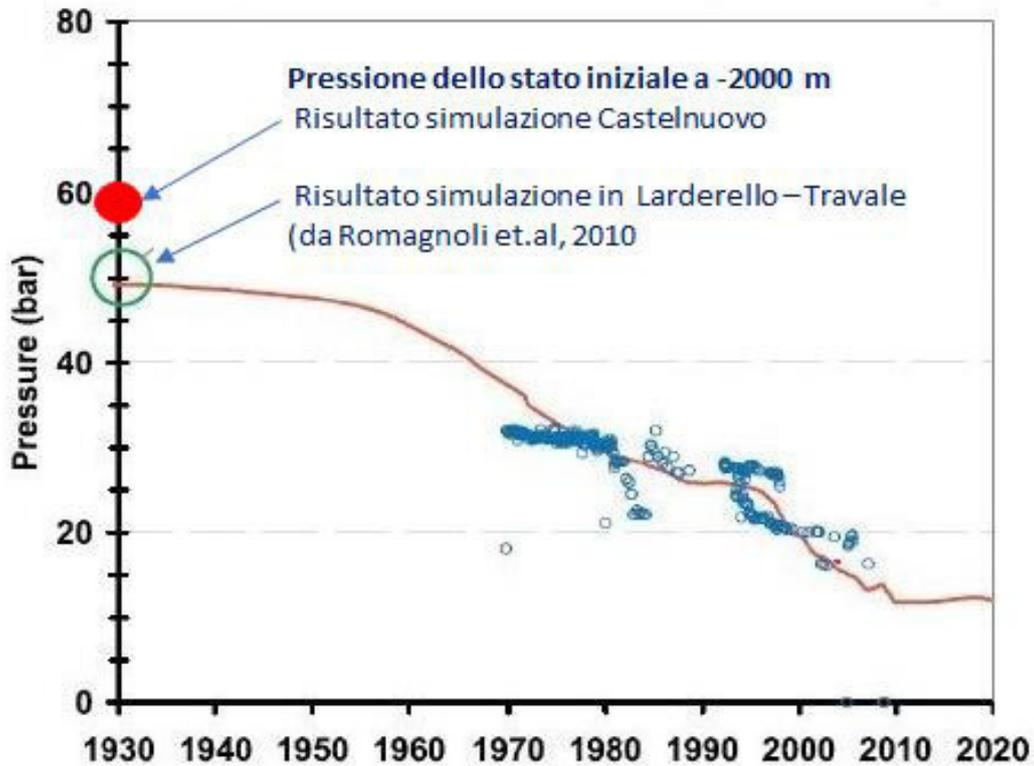


Figura 9: Simulazione della pressione dello stato iniziale nell'area del progetto Castelnuovo (cerchio rosso) e di quella simulata nell'area di Larderello- Travale (cerchio verde) (Romagnoli et al. 2010)

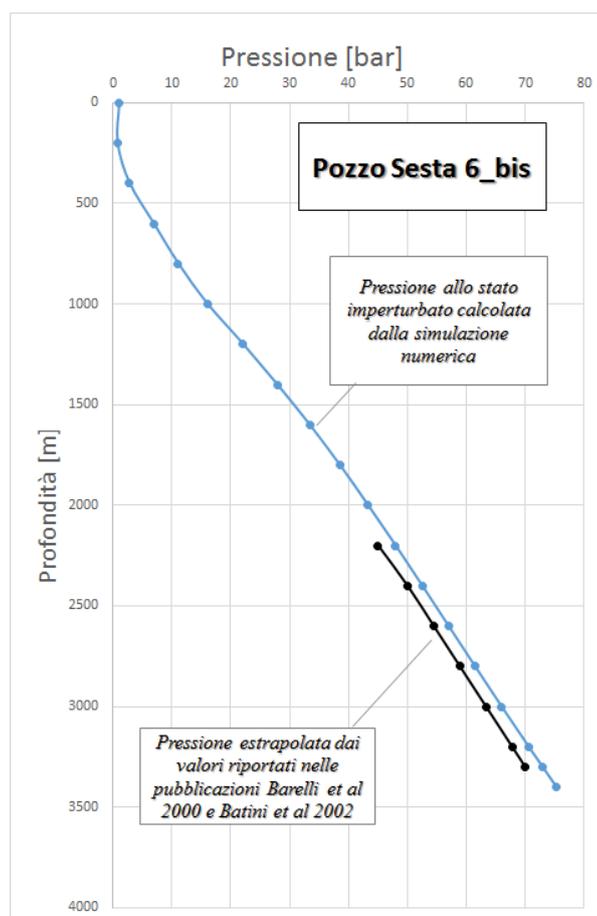


Figura 10: Confronto tra il profilo di pressione estrapolato dai valori riportati nelle pubblicazioni Barelli et al 2000 e Batini et al 2002 (linea nera) e quello ottenuto dalla simulazione dello stato imperturbato (linea blu) nel pozzo Sesta 6 bis

La differenza tra temperatura misurata e quella calcolata dal modello che ha raggiunto lo stato stazionario è inferiore al 1% fino a -1500 m s.l.m. e circa 10% a -3000 m s.l.m., mentre la differenza tra pressione misurata e quella calcolata è inferiore all'8%.

Si considera, quindi, il modello del serbatoio geotermico validato, in quanto lo stato stazionario riproduce la distribuzione di temperatura misurata nel pozzo Sesta 6 bis che ricade all'interno del volume modellato

6) le distribuzioni di temperatura e pressione, così trovate rappresentano lo *stato imperturbato*, cioè lo stato del serbatoio così come è oggi prima dell'inizio della coltivazione.

B) Effetti introdotti nel serbatoio dalla coltivazione del campo geotermico

Per valutare gli effetti prodotti dalla coltivazione del campo nel tempo, si introducono, nel modello del serbatoio descritto dallo "*stato imperturbato*", i 2 pozzi di produzione ed il pozzo reiniezione, con le portate previste dal progetto in questione: circa 35 t/h per ciascun pozzo di produzione per un totale di circa 70 t/h

Dopo avere eseguito la simulazione numerica per un periodo di 30 anni (la vita prevista per la coltivazione del campo geotermico è 25 anni) si osserva che:

- attorno ai pozzi di produzione, si ha una diminuzione di temperatura inferiore ad 8° C ed una diminuzione di pressione inferiore a 6 bar. La diminuzione dei valori di temperatura e pressione tende ad annullarsi a distanza di circa 500 m dall'asse dei pozzi.
- attorno al pozzo di reiniezione la temperatura del serbatoio scende da 244°C a 177°C (Delta T = 67° C). Il fronte corrispondente alla variazione termica di -10°C indotta nel serbatoio rimane confinato in un raggio di circa 300 m attorno al reiniettore e non raggiunge mai i pozzi di produzione (Figura 11).

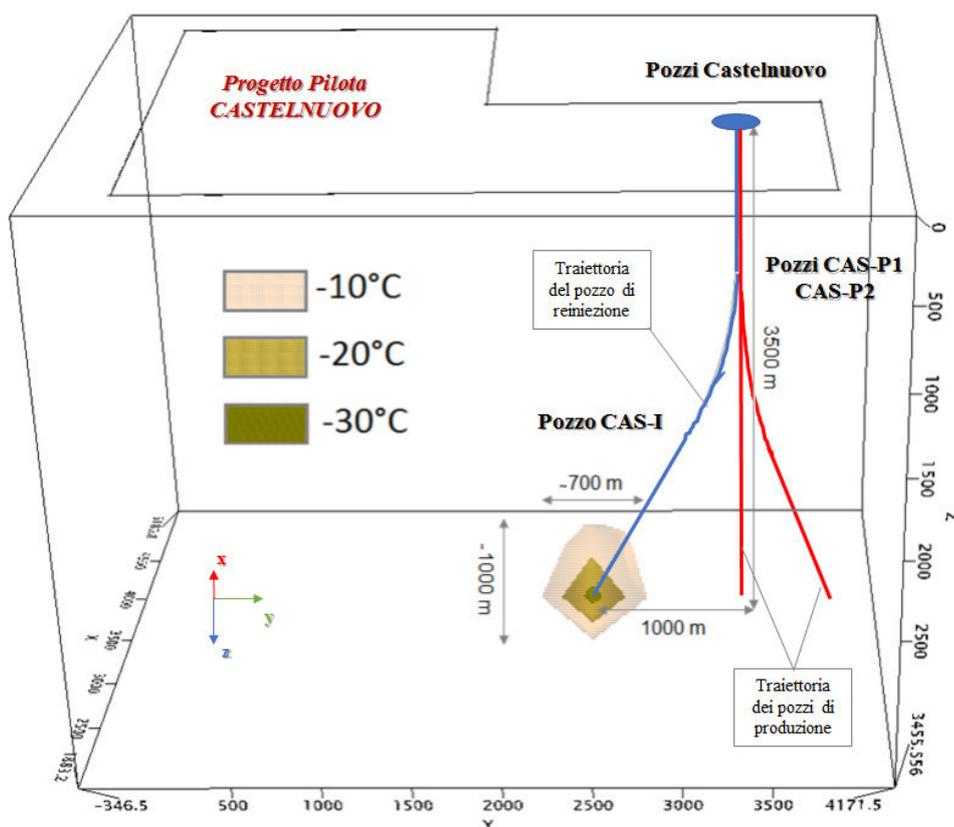


Figura 11: Bulbi dei disturbi di temperatura dopo 30 anni di reiniezione nel Pozzo CAS_I

- o attorno al pozzo di reiniezione la pressione aumenta di circa 15 bar in un'area di circa 400 m di raggio dal fondo pozzo, mentre a distanza di circa 800 m la pressione si riequilibra con la pressione del serbatoio (Figura 12)

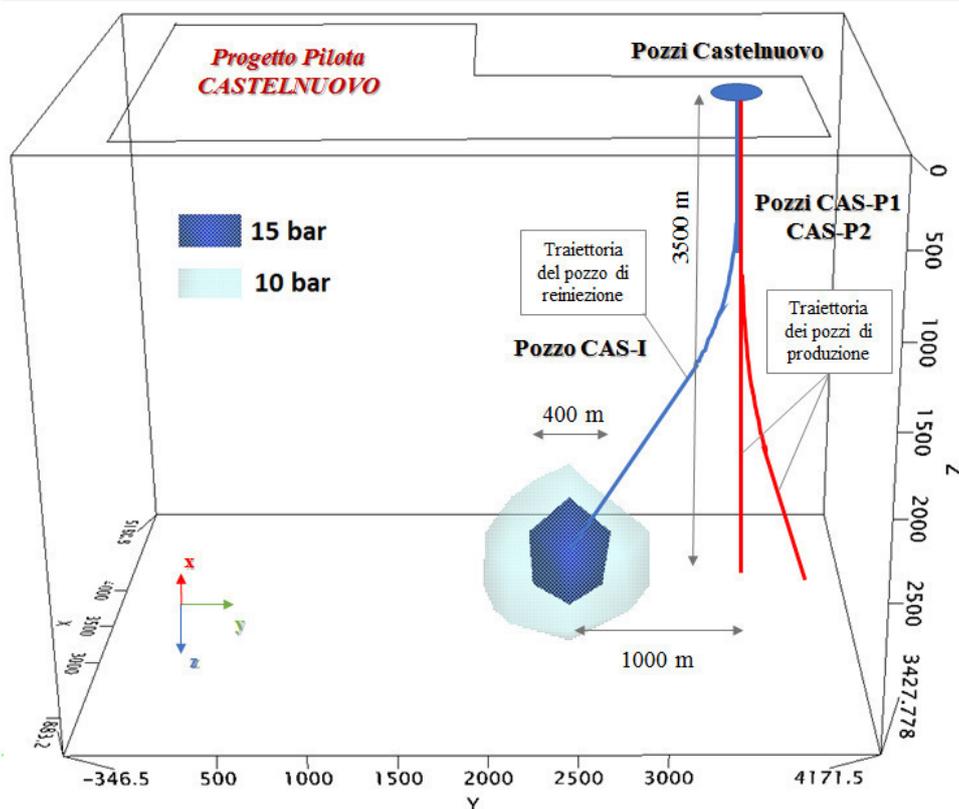


Figura 12: Bulbi dei disturbi di pressione dopo 30 anni di reiniezione nel Pozzo CAS_I

- gli effetti indotti dalla coltivazione sulla temperatura e pressione nel serbatoio si esauriscono ad una distanza inferiore ad 800 m dall'asse di ogni singolo pozzo

Per valutare la quantità di fluidi che migrano dal pozzo di reiniezione a quelli di produzione è stato utilizzato il codice Tough2® (Figura 13).

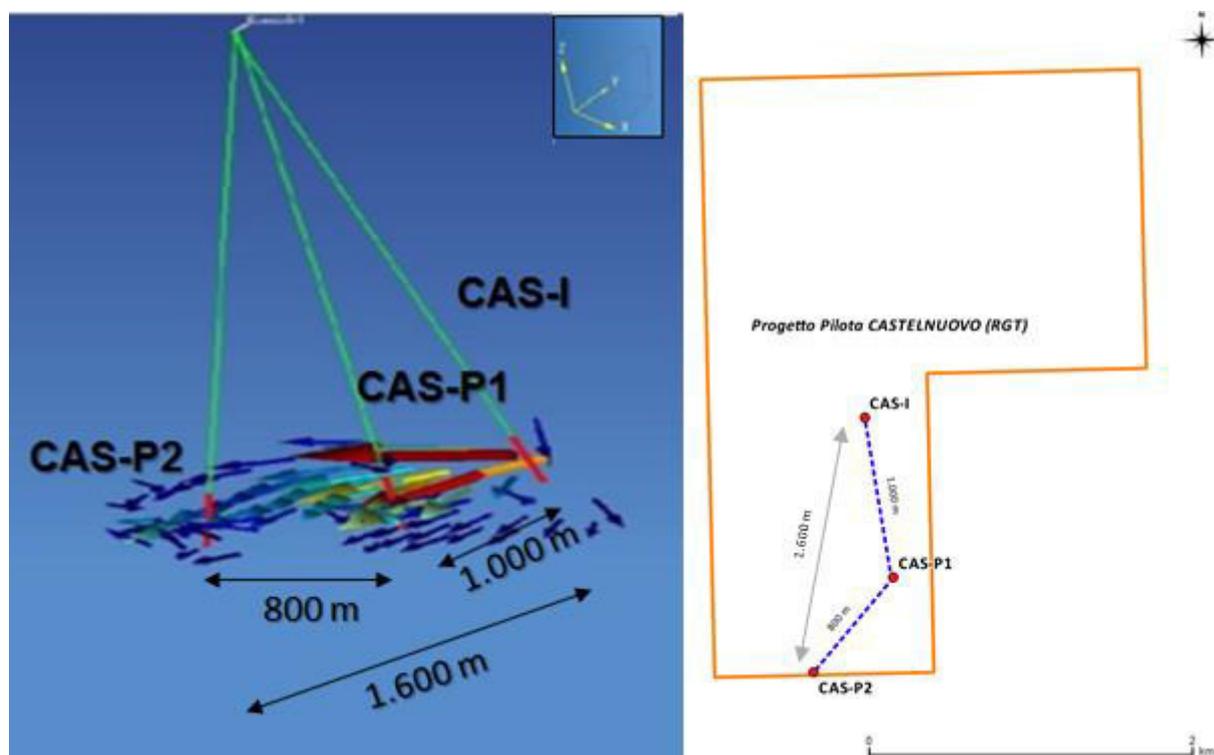


Figura 13: Linee di flusso del fluido geotermico con l'impianto a regime, in figura vengono quotate le distanze a fondo pozzo tra CAS_P1-CAS_P2 pari a 800m, tra CAS_P1-CAS_I 1.000 m e tra CAS_P2-CAS_I pari a 1.600 m (i tre fondopozzo si trovano a - 3.500 m dal piano campagna).

Si osserva che a regime la portata tra i due domini è 49 t/h, che corrisponde al 70 % di quella di progetto (70 t/h), mentre il restante 30% è richiamato dalle porzioni di serbatoio circostante, tale da consentire il totale reintegro del fluido estratto. Ciò avviene perché in un sistema geotermico a vapore dominante come quello del progetto Castelnuovo, la mobilità del fluido, definita come il rapporto tra la sua permeabilità relativa e la sua viscosità, è più elevata in fase vapore rispetto a quella della fase liquida.

Si osserva inoltre, come già riportato al capitolo 6.5 della Relazione Geologico-Mineraria (CAS.02.DE.GR.R.058), che il serbatoio appare dalle simulazioni in grado di sostenere l'estrazione e la reiniezione di 70 t/h di fluido geotermico, in condizioni tali da garantire il funzionamento dell'impianto per tutta la sua vita utile, mantenendo livello di temperatura e pressione superiori a quelli di progetto.

In 30 anni, risultano dal modello una diminuzione di temperatura a fondo pozzo (3.500 m) dei produttori non superiore a 8°C e una diminuzione di pressione inferiore a 6 bar (Figura 14).

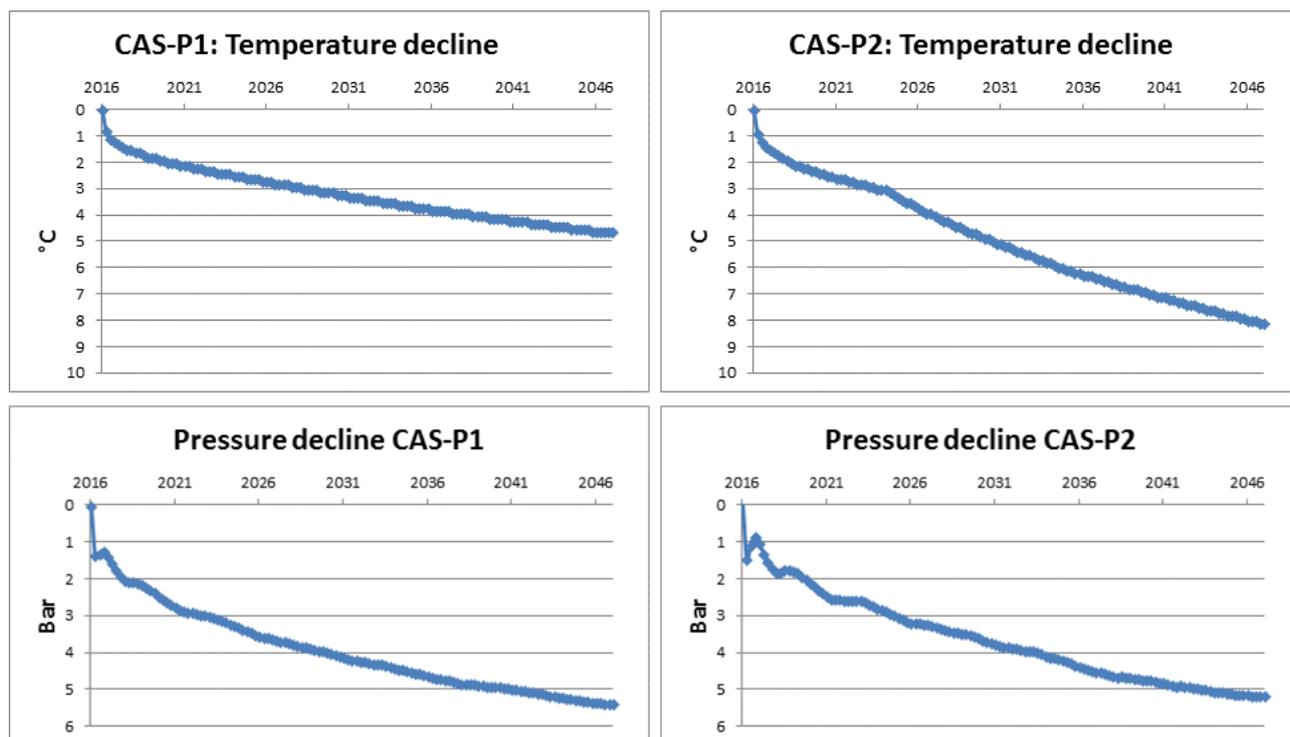


Figura 14: Variazione di temperatura e pressione a fondopozzo (3.500 m) dei due pozzi di produzione

I due pozzi di produzione si trovano ad una distanza tale da non generare una sovrapposizione di effetti significativa, assumendo come “non significativa” una variazione di pressione in serbatoio tale da non alterare la capacità produttiva del pozzo.