

VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE PER
REALIZZAZIONE DI POZZI GEOTERMICI E DI UNA
CENTRALE ORC PER PRODUZIONE DI ENERGIA
ELETTRICA NEL COMUNE DI JOLANDA DI SAVOIA (FE)
PROGETTO POLA

**SIMULAZIONE NUMERICA DEL
COMPORTAMENTO DEL SERBATOIO E
DI DOPPIETTO GEOTERMICO DEL
PROGETTO POLA**

SOCIETÀ RICHIEDENTE		TECNICO INCARICATO	
 Gzei Energia		 Consorzio interuniversitario nazionale per la scienza e tecnologia dei materiali	
GEOTERMIA ZERO EMISSION ITALIA SRL Sede legale: via Maurizio Gonzaga 2, Milano PEC: Geotermia.italia@legalmail.it		 via S. Pellico, 14/16 - 50052 Certaldo (Firenze) Italia - tel +39 0571 651312	
TITOLO ELABORATO			
SIMULAZIONE NUMERICA DOPPIETTO			
DATA DICEMBRE 2022	RIF. FILE -	SCALA -	

0A	29/12/2022	PRIMA EMISSIONE	G.M.	G.M.	A.M.
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	ESAMINATO	ACCETTATO
Il presente disegno è aziendale. La società tutela i propri diritti a termine di legge./ This file is company property. Company lawfully all rights.					

INSTM

<http://www.instm.it>

Simulazione numerica del comportamento del serbatoio e di doppietto geotermico del progetto Pola

**CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO NAZIONALE
PER LA SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI**

Unità di Ricerca INSTM di Firenze



INDICE

Introduzione 2

Proprietà del sistema 3

Stato naturale del sistema 6

Modello di produzione..... 12

Introduzione

Introduzione

Il presente studio di un sistema di tipo “Doppietto geotermico” (cioè tramite pozzi di produzione ed estrazione accoppiati) nella Concessione “Pola” intende valutare, sulla base dei dati esistenti e di letteratura, la distribuzione e variazione di pressione e temperatura indotta dalla coltivazione della risorsa.

La valutazione si intende preliminare, in quanto dovrà essere perfezionata introducendo nel modello i dati che verranno prodotti durante le indagini del primo pozzo esplorativo, cioè il possibile pozzo di produzione. Saranno anche eseguiti dei test variando i parametri sensibili, in particolare la permeabilità, per vedere quanto è robusta la proposta progettuale alla luce delle incertezze derivanti dall'uso di dati estrapolati. L'acquifero profondo oggetto di studio, infatti, non è mai stato caratterizzato in termini di proprietà idrauliche anche se collocato in un sistema regionale ospitato dalla Successione Permo-Triassica con termometamorfiti di contatto e F.ne Dolomie dello Sciliar (Rif. Relazione Geologica).

Prima di poter modellizzare il funzionamento del doppietto geotermico alla portata prevista, è necessario creare il modello di stato stazionario che rappresenta lo stato naturale del sistema, per poi simulare lo scenario di produzione e verificare la perturbazione indotta.

Proprietà delle rocce

In relazione ai dati acquisiti da precedenti perforazioni, per comprendere la struttura profonda e le caratteristiche delle risorse sfruttabili con il sistema di pozzi previsto nell'area di progetto, sono stati analizzati i dati recuperati dal master log del pozzo Corte Vittoria 1, incluso il materiale aggiuntivo che la Società Proponente, Geotermia Zero Emission Italia srl, ha acquisito.

In particolare, dall'analisi del GR log del pozzo Corte Vittoria 1 (CV1, Figura 1) è stato possibile ottenere un profilo di porosità in cui si possono distinguere cinque litologie, che corrispondono, con qualche differenza, ai diversi layer descritti nella relazione geologica.

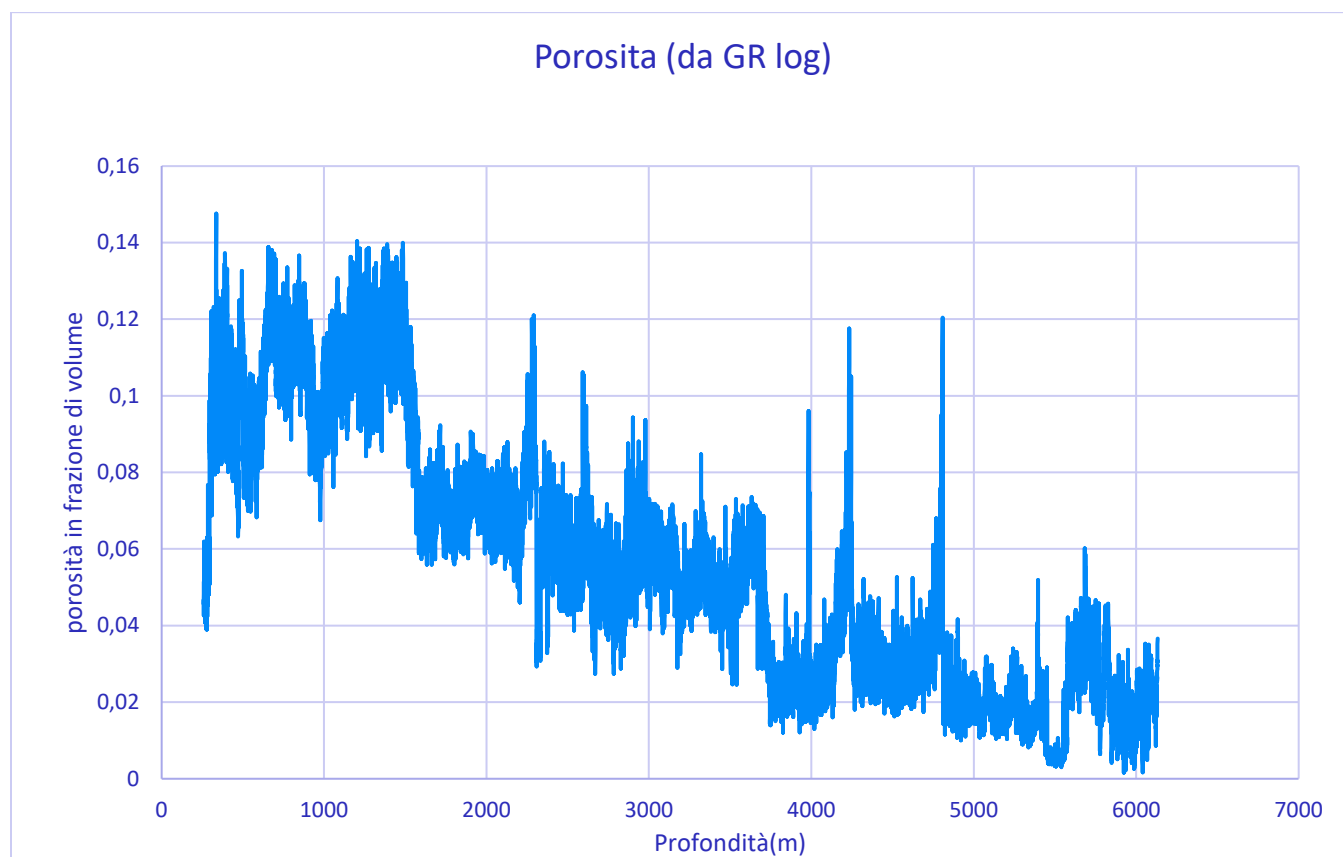


Figura 1 Porosità lungo il profilo del pozzo CV1 calcolata dal GR log

Abbiamo un primo strato ad alta porosità dovuta alle intercalazioni di sabbie ed argille che termina a circa 1520 m, seguito da un secondo livello con porosità 7-8% che termina a circa 2300 m in accordo al layer 2 della relazione geologica (base messiniano), come il layer 3 (tetto scaglia) che termina a circa 3740 m, mentre in seguito negli strati calcarei e dolomitici sottostante osserviamo un cambiamento a 4850 m ed un piccolo strato compatto a 5400-5600 m di profondità al tetto del serbatoio (Figura 2). Sottolineiamo che i livelli di interesse (per

riconoscimento della risorsa e come modello di sfruttamento) sono quelli a profondità maggiori di 5390 m.

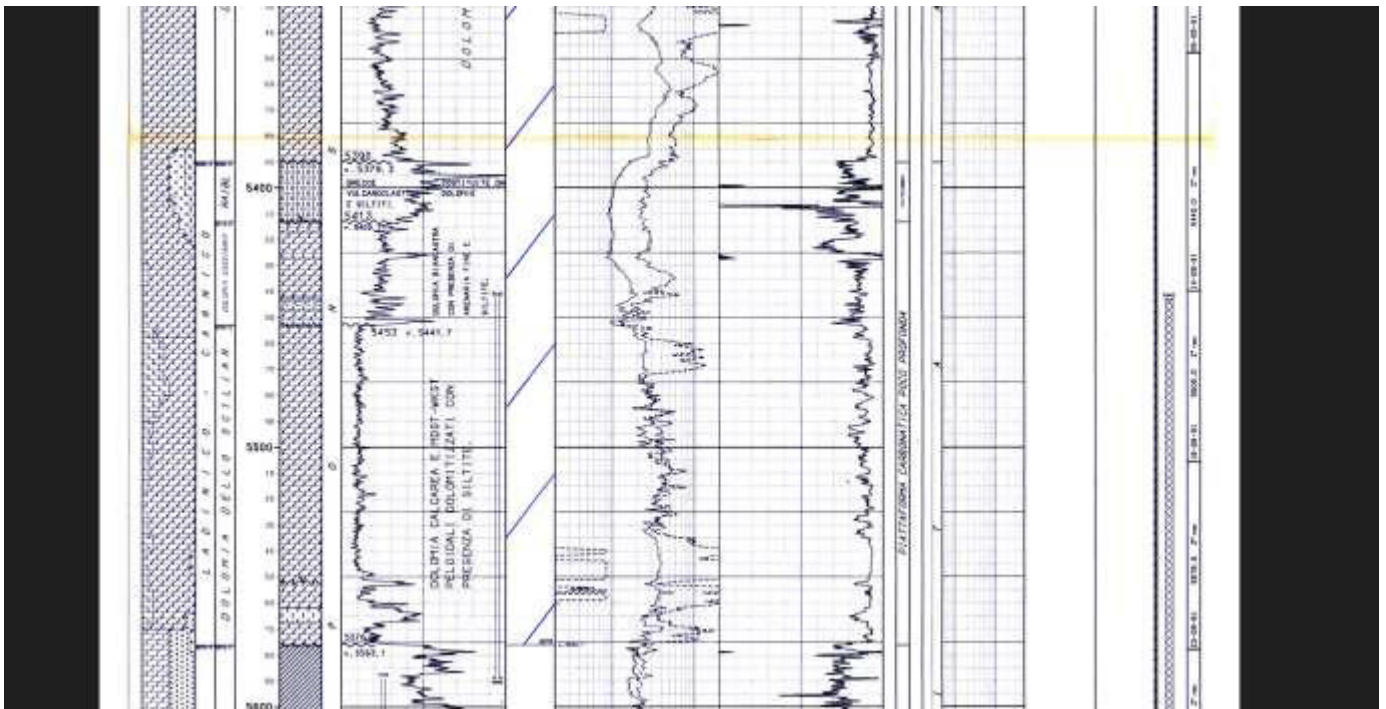


Figura 2 Strato di dolomia calcarea tra 5400 e 5600 m di profondità riportato dal log del pozzo Corte Vittoria 1

Come limite del reservoir geotermico è stato preso il bottom di questo livello dolomitico, che risulta quindi più profondo della base della dolomia principale di circa 200 m.

In figura 3 riportiamo il profilo di porosità ottenuto dall'analisi del sonic log.

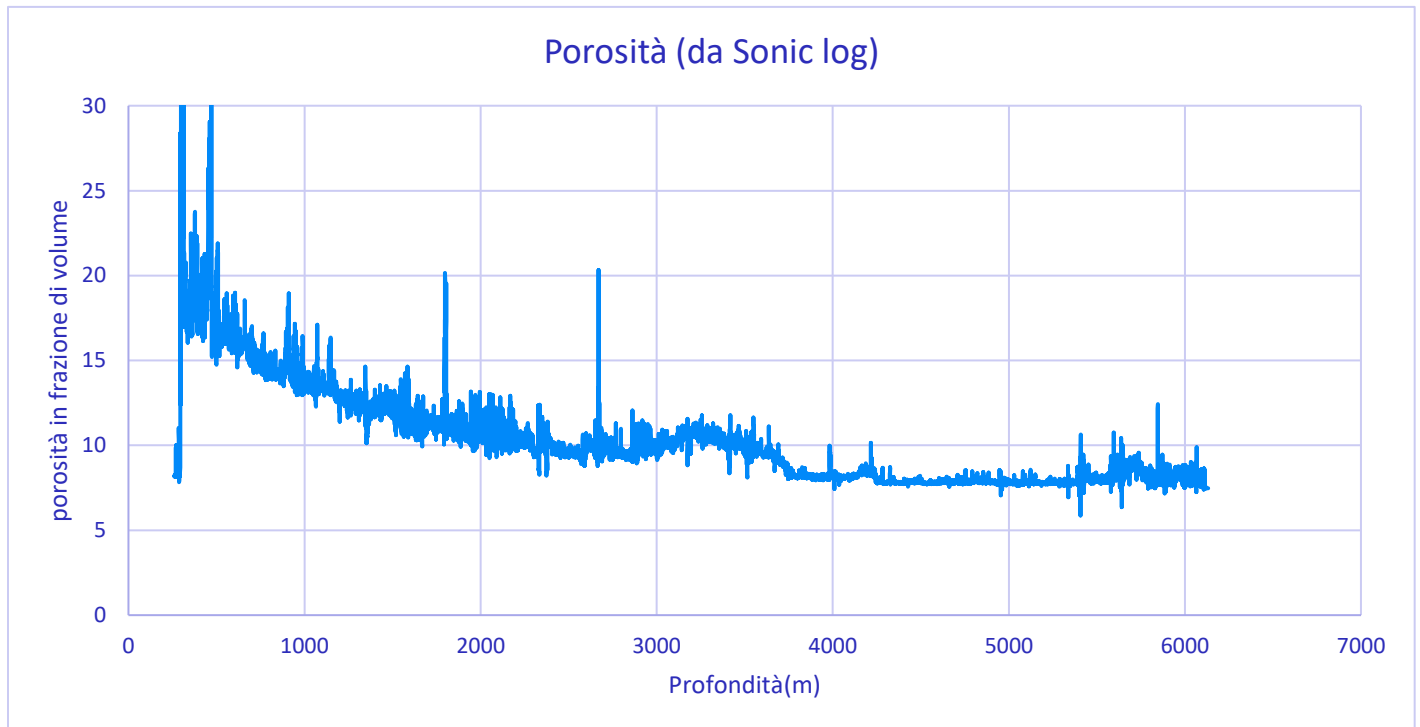


Figura 3 Porosità lungo il profilo del pozzo CV1 calcolata dal sonic log

Come si osserva in figura 3, i limiti delle differenti tipologie di rocce descritti per il GR log sono presenti anche nel sonic log, anche se meno evidenti, ed i valori di porosità ottenuti sono leggermente più elevati. Questo ci definisce un range di porosità su cui operare, e per il target geotermico questo range è 4-8 %.

È stata anche effettuata l'analisi dei log elettrici e delle perdite di circolazione nonostante le indicazioni più attendibili siano quelle riferite al log sonico e GR.

Stato naturale del sistema

Lo Stato Naturale del sistema è ottenuto lasciando eseguire il modello numerico fino a quando raggiunge lo stato stazionario, cioè fino a quando sia le differenze nelle condizioni termodinamiche che nei vettori di flusso tra due step di calcolo successivi sono trascurabili. Le condizioni di stato stazionario sono comunemente ritenute una approssimazione accettabile dello Stato Naturale.

Il modello geologico è stato fornito come superfici delimitanti il contatto tra due formazioni così come descritto nella relazione sul modello geologico, e consiste nel modello digitale di elevazione dell'area in oggetto (DTM) e delle superfici relative ai principali contatti stratigrafici.

In particolare, ritroviamo:

- Base QM (base Layer 1)
- Base Mess.Sup (base Layer 2)
- Tetto Marne di Gallare (base layer 3)
- Tetto Scaglia (base layer 4)
- Tetto F.ne Calcari di Soverzene (base layer 5)
- Base Dolomia Principale (base layer 6)
- Faglia "Pola"

Il software utilizzato per il calcolo del modello è Petrasim v2020.1, che è l'interfaccia grafica più nota per la famiglia di simulatori di serbatoio TOUGH2, ritenuti tra i migliori nel mondo e sviluppati dal Lawrence Berkeley Laboratories. In particolare, per questo studio è stato

utilizzato TOUGH2 – EWASG, con un'equazione di stato in grado di considerare simultaneamente Acqua, Sale e CO₂ o metano.

La scelta in questo caso è data dalla presenza di acque salate e/o salmastre, e del metano negli strati superiori (non oggetto di sfruttamento) come riportato nel log di CV1.

La griglia di calcolo comprende un'area di 10.1x10 Km per una profondità di 7800 m, ed è stata successivamente discretizzata con una mesh cartesiana avanzata, con un raffinamento locale (addensamento di celle) in corrispondenza dei 6 pozzi previsti (CV1bis, CV2, CV3, CV4, CV5, CV6) e dell'area tra di loro, per un totale di 74x76 celle lungo X ed Y, e 17 layer totali di cui il volume appartenente al serbatoio target (dolomia e Termometamorfiti) è stato suddiviso in 5 layers, per un totale di 95608 celle.

Come Boundary condition al top del modello (i.e. al suolo) è stata assunta una temperatura media annua di 14°C (dall'Atlante climatico dell'Emilia Romagna 1961-2015, ed. 2017 ARPAE) ed una pressione idrostatica a partire dal livello del suolo, mentre la temperatura al bottom del modello (ultimo layer impermeabile) è stata calcolata usando il gradiente termico locale ottenuto dai log di temperatura, già verificati nel pozzo Corte Vittoria 1.

Dal modello di stato naturale del sistema si ottiene una pressione nel serbatoio pressoché idrostatica, ed una fedele riproduzione delle misure di temperature effettuate nel pozzo CV1.

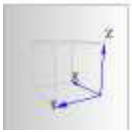
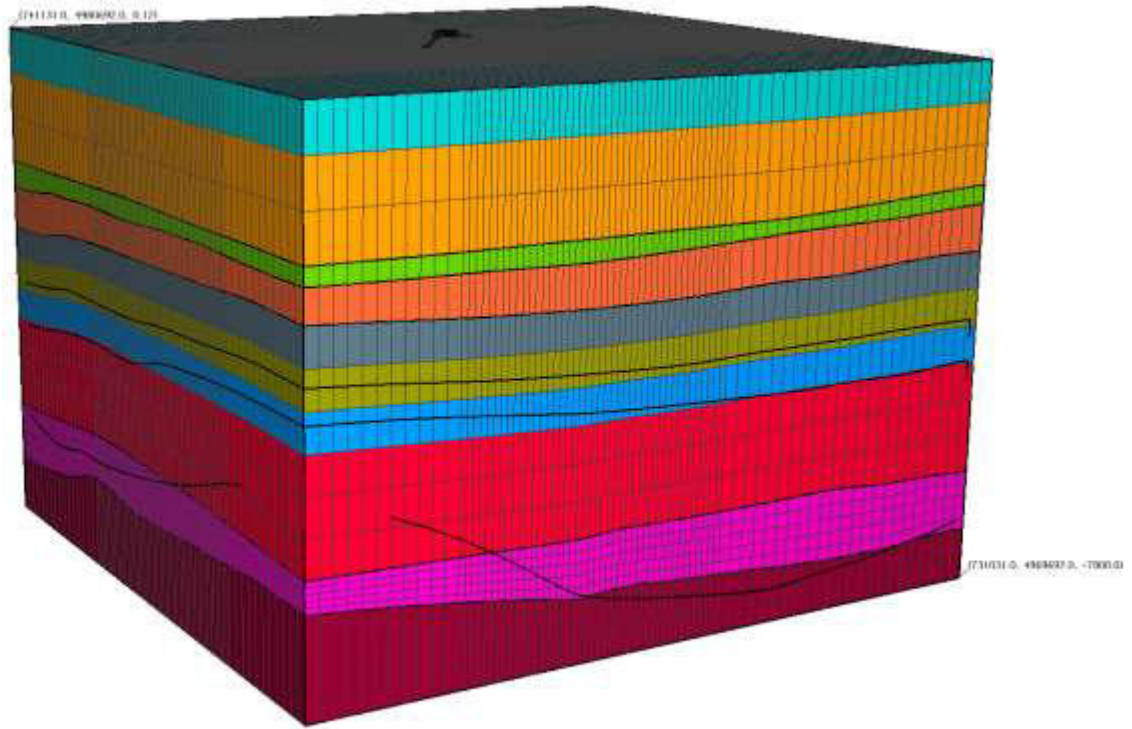








Figura 4 Vista laterale da W-SW del modello, in cui si osserva il raffinamento verticale del serbatoio profondo (in rosa) e la distribuzione delle differenti tipologie di materiali usati nel modello.

Tabella 1 Proprietà dei materiali usati nel modello numerico

Colore	Nome	Porosità	Permeabilità (m ²)	Conducibilità termica (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Capacità Termica (J Kg ⁻¹ K ⁻¹)	Densità (kg m ⁻³)
	L1	0.10	1.0E-16	1.0	1000	1600
	L2	0.08	1.0E-16	1.0	1000	1600
	L3	0.06	1.0E-14	2.0	1000	2600
	L3i	0.06	1.0E-16	2.0	1000	2600
	L4	0.06	1.0E-14	2.0	1000	2600
	L4i	0.06	1.0E-14	2.0	1000	2600
	L5	0.05	1.0E-16	2.0	1000	2600
	L6	0.05	1.0E-16	2.0	1000	2600
	L7	0.05	25.0E-15	2.0	1000	2600
	Top	0.10	1.0E-16	2.0	1.0E+9	1600
	Bott	0.10	1.0E-18	2.0	1.0E+9	2600

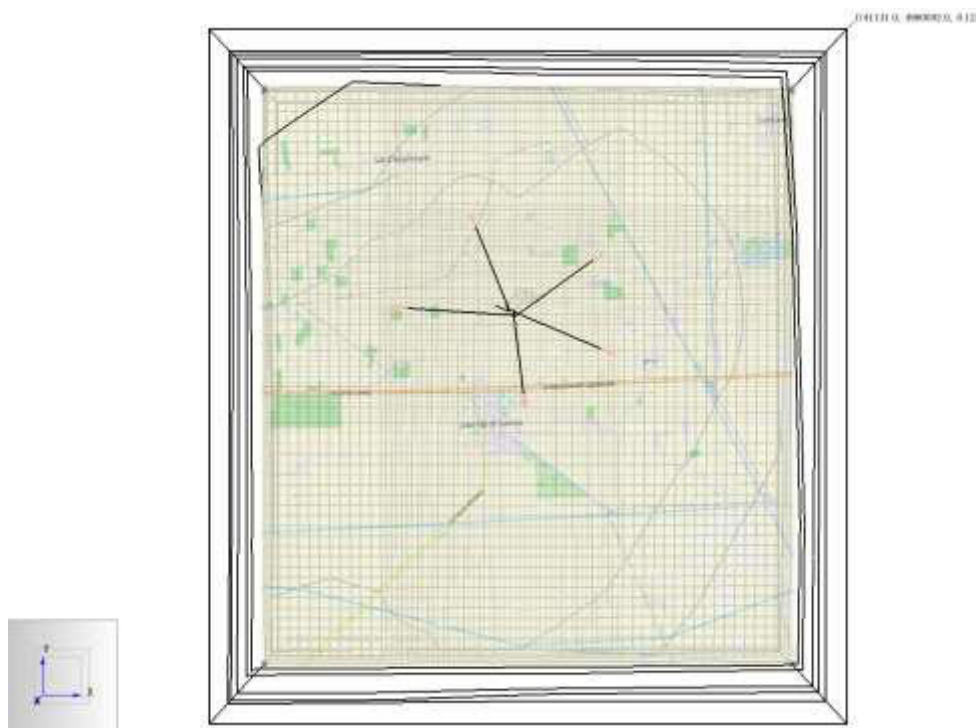


Figura 5 Vista dall'alto della griglia di calcolo con raffinamento locale e proiezione delle traiettorie dei pozzi

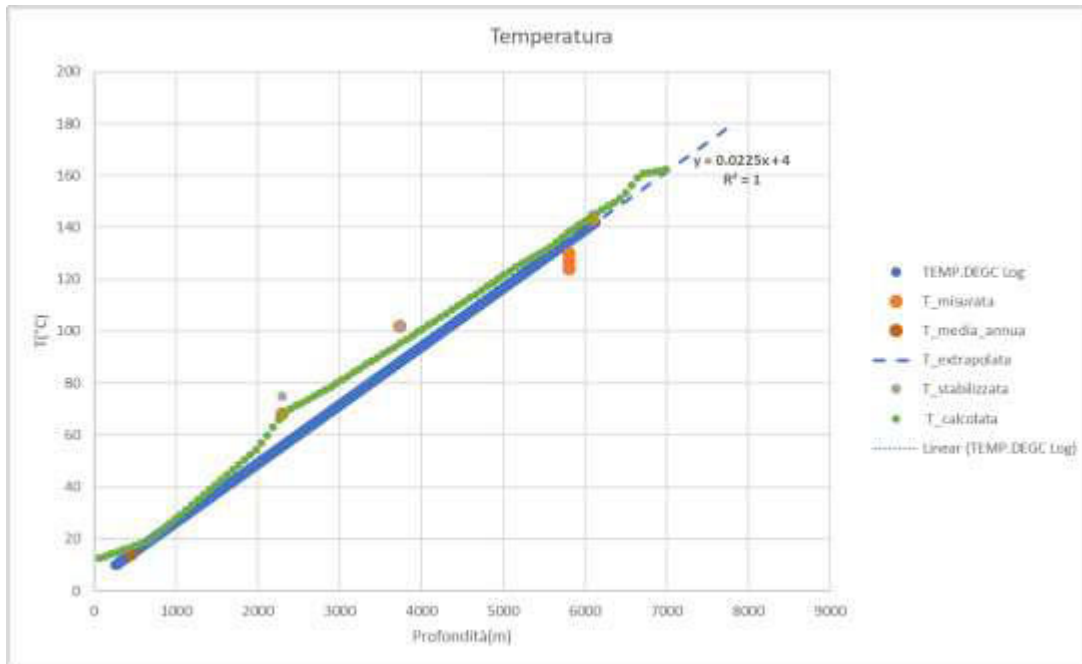


Figura 6 Confronto del gradiente di temperatura da log elettrico (linea blu), temperature stabilizzate (punti arancioni) e profilo di temperatura calcolato (linea verde) lungo il profilo di CV1

I materiali usati nel modello per descrivere le proprietà delle rocce (Tabella 1) sono costituiti da due materiali speciali (top e bottom) a capacità termica infinita, utilizzati per provvedere le “Boundary Condition” (BC) necessarie ad ottenere lo stato stazionario del sistema, e successivamente la BC al bottom è stata disabilitata per non influenzare gli scenari di produzione/reiniezione. La porosità dei vari materiali è ottenuta dall’elaborazione dei log acustico e GR del pozzo CV1, mentre le permeabilità sono state stimate dal “mud log”. La densità è stata presa da valori di letteratura per le rocce tipo descritte nelle varie formazioni, così come la capacità e conducibilità termica.

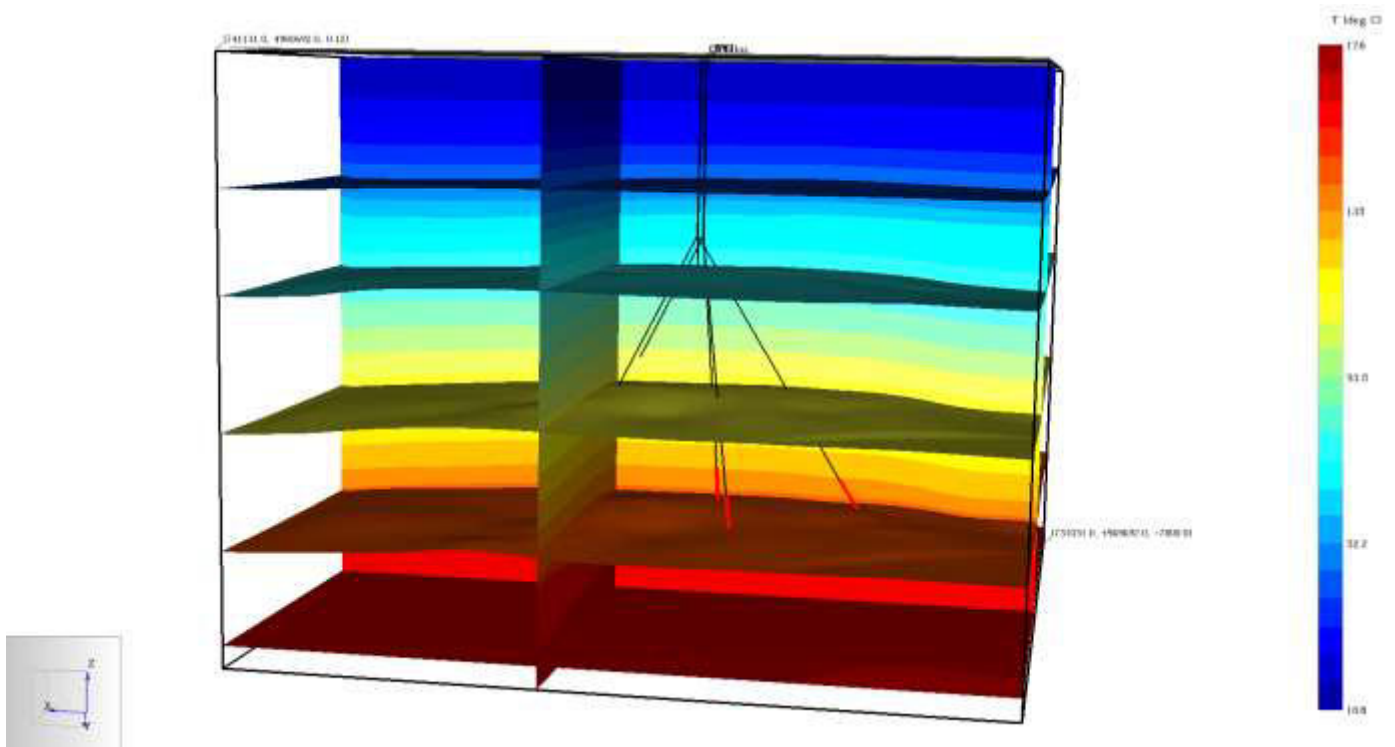


Figura 7 Vista da N-NW del modello con la distribuzione di temperatura risultante dallo stato stazionario

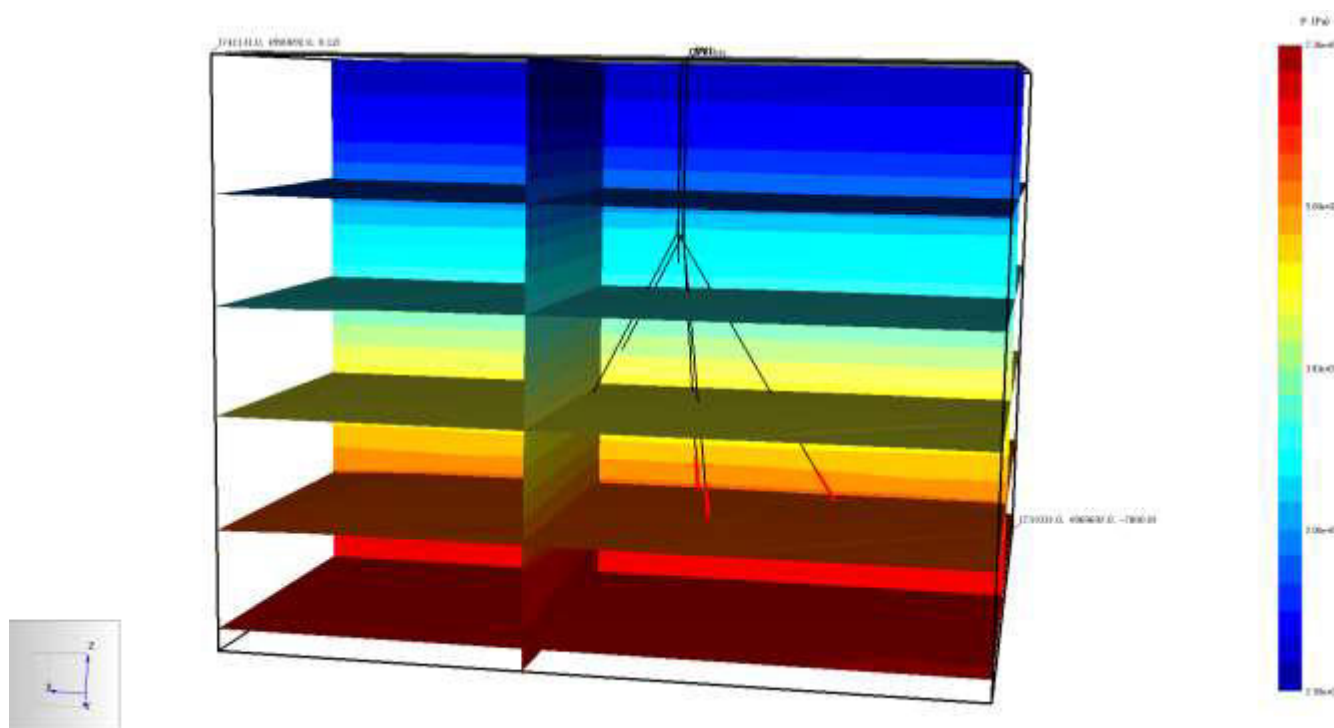


Figura 8 Vista da N-NW del modello con la distribuzione di pressione risultante dallo stato stazionario

In Figura 4 si può osservare la distribuzione dei materiali nel modello numerico, e le loro proprietà in Tabella 1. Tale distribuzione corrisponde ai limiti geologici individuati nel modello geologico, tranne il limite del layer 6 che è stato spostato come precedentemente descritto e la necessità di suddividere i layer 3 e 4 in una zona permeabile (L3, L4) ed una non permeabile (L3i, L4i), per poter riprodurre gli acquiferi incontrati nel pozzo CV1.

Per validare il modello di stato stazionario come rappresentativo dello stato naturale del sistema, abbiamo provveduto al confronto del profilo di temperature calcolato lungo il profilo di pozzo CV1 con i dati di temperatura misurati da log di pozzo e valori di temperatura

stabilizzata/estrapolata disponibili (Figura 6), e la buona corrispondenza tra i dati misurati ed i valori calcolati conferma la validità del modello ottenuto. La distribuzione di temperatura risultante è riportata in Figura 7, la distribuzione di pressione (circa idrostatica) in Figura 8.

Modello di Produzione

Il modello di produzione del sistema è stato realizzato tenendo di conto di una portata di esercizio complessiva dell'impianto di circa 500 kg/s ripartita equamente in 3 pozzi di produzione (CV1bis, CV2 e CV3) e 3 pozzi di reiniezione (CV4, CV5, CV6) e di quattro diverse permeabilità (5, 10, 25, 100 mD).

La distribuzione dei pozzi di produzione e re-iniezione è riportata in tabella 2

Tabella 2 Coordinate della testa pozzo e fondo pozzo

COORDINATE OBIETTIVI										
Nome Pozzo	Cluster	Destinazione	EPSG 32632, WSG 84 / UTM 32N				EPSG 3004, Monte Mario / Italy zone 1		Profondità Obiettivo (TVD)	Profondità Totale Pozzo (TVD)
			X	Y	Lat	Lon	X	Y		
CV-1	Esistente	Iniezione	735464.448	4976529.269	44°54'11.64"N	11°58'57.09"E	1735496.370	4976547.281	5600	6100
CV-1-bis	Nord	Iniezione								
CV-2	Nord	Iniezione	737502.131	4975703.972	44°53'42.50"N	12° 0'28.49"E	1737534.088	4975721.960	5700	6200
CV-3	Nord	Iniezione	735102.26	4977998.31	44°54'59.62"N	11°58'43.06"E	1735134.181	4978016.351	5700	6200
CV-4	Sud	Produzione	733810.523	4976539.568	44°54'13.94"N	11°57'41.79"E	1733842.414	4976557.587	5700	6200
CV-5	Sud	Produzione	737310.099	4977394.183	44°54'37.43"N	12° 0'22.60"E	1737342.059	4977412.203	5600	6100
CV-6	Sud	Produzione	735994.12	4974875.05	44°53'17.48"N	11°59'18.44"E	1736026.045	4974893.028	5700	6200

I diversi valori di permeabilità usati forniscono la base dati di uno studio di sensibilità su un parametro variabile, poiché la permeabilità attesa è principalmente secondaria, cioè prevalente per fratturazione. La risposta, quindi, verifica che durante il periodo di vita del modello non ci sia interferenza termica tra i pozzi di reiniezione e quelli di produzione e calcola le sovrappressioni di reiniezione a fondo pozzo, oltre alla depressione generata dai pozzi di

produzione in funzione della permeabilità del reservoir geotermico, ai fini del riconoscimento della risorsa e nella simulazione dell'esercizio della Concessione.

Per le figure 9, 10, 11 e 12 è stato scelto il caso con permeabilità a 25 mD come esemplificativo.

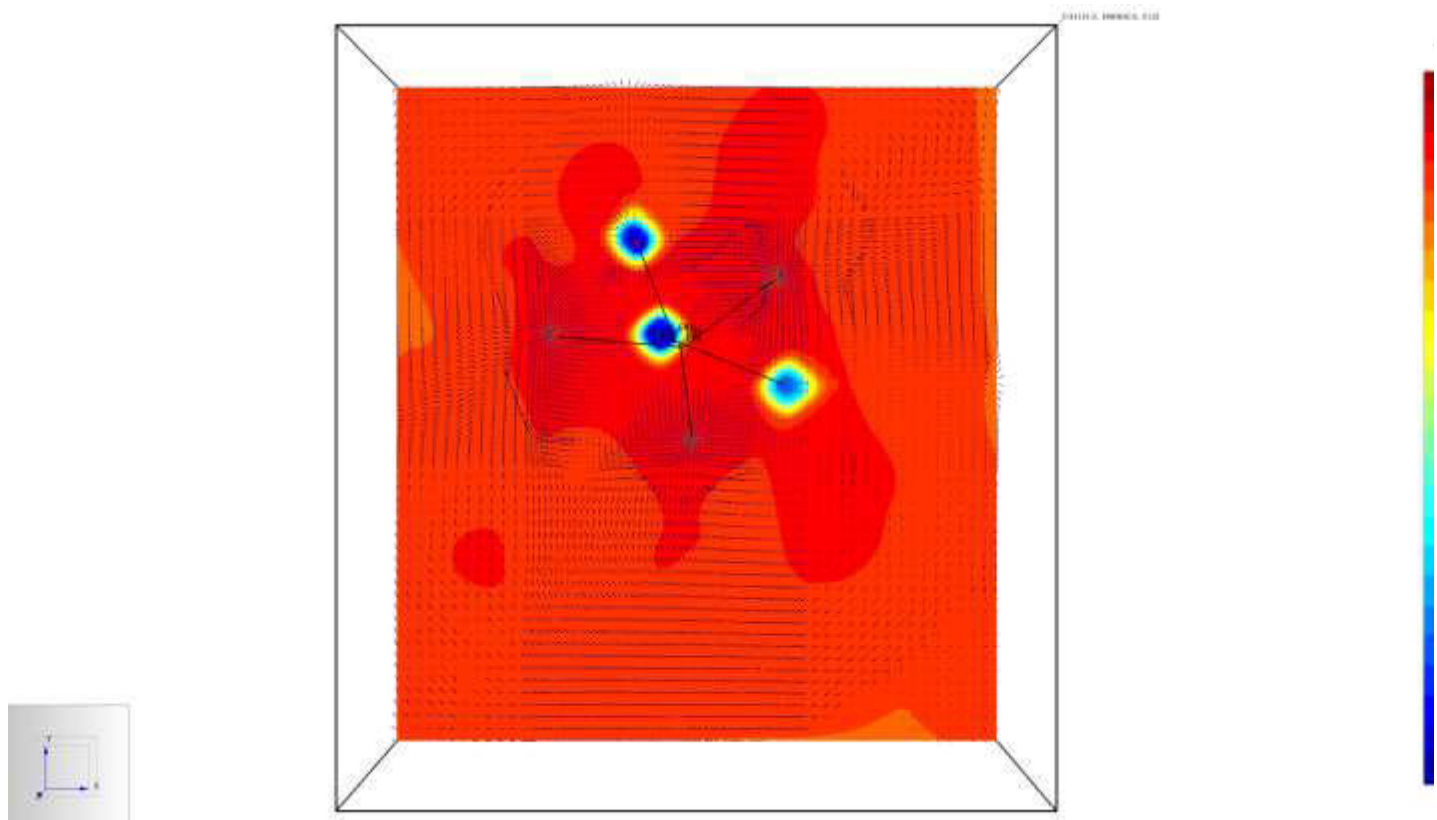


Figura 9 Vista di una sezione orizzontale a 5800m di profondità dopo 30 anni di sfruttamento del campo di temperatura e dei vettori di flusso

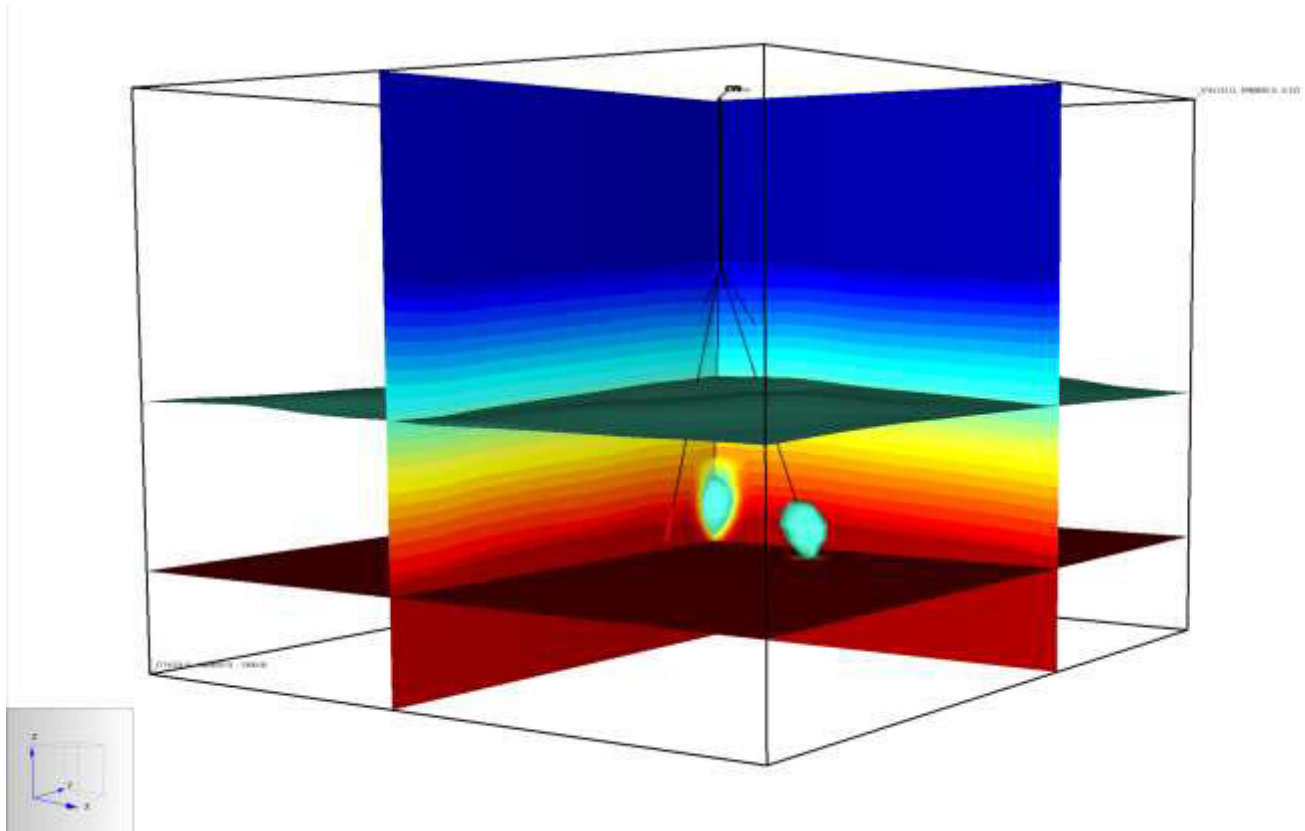


Figura 10 Vista laterale da SE dopo 30 anni di sfruttamento del campo di temperatura, con isosuperficie a 100°C (celeste) e sezione orizzontale a 6400m di profondità

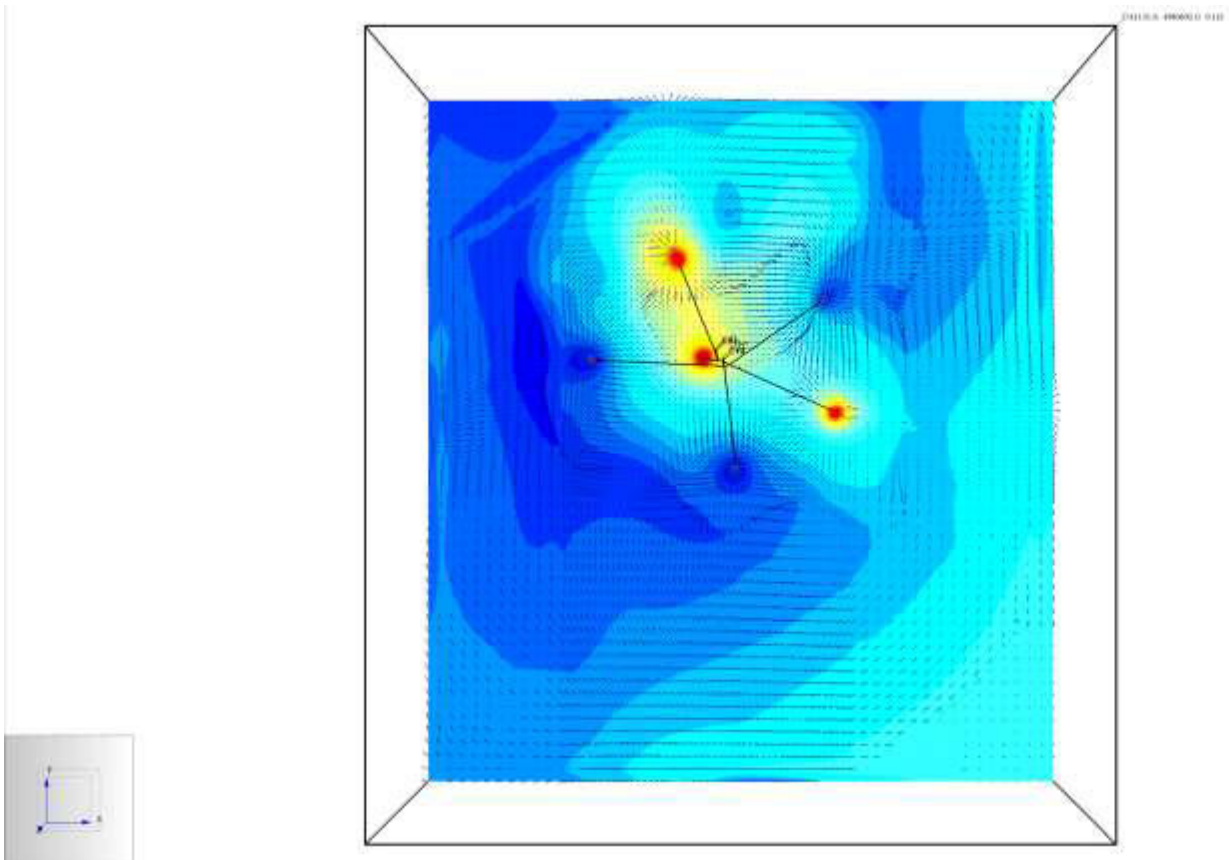


Figura 11 Vista di una sezione orizzontale a 5800 m di profondità dopo 30 anni di sfruttamento del campo di pressione e dei vettori di flusso

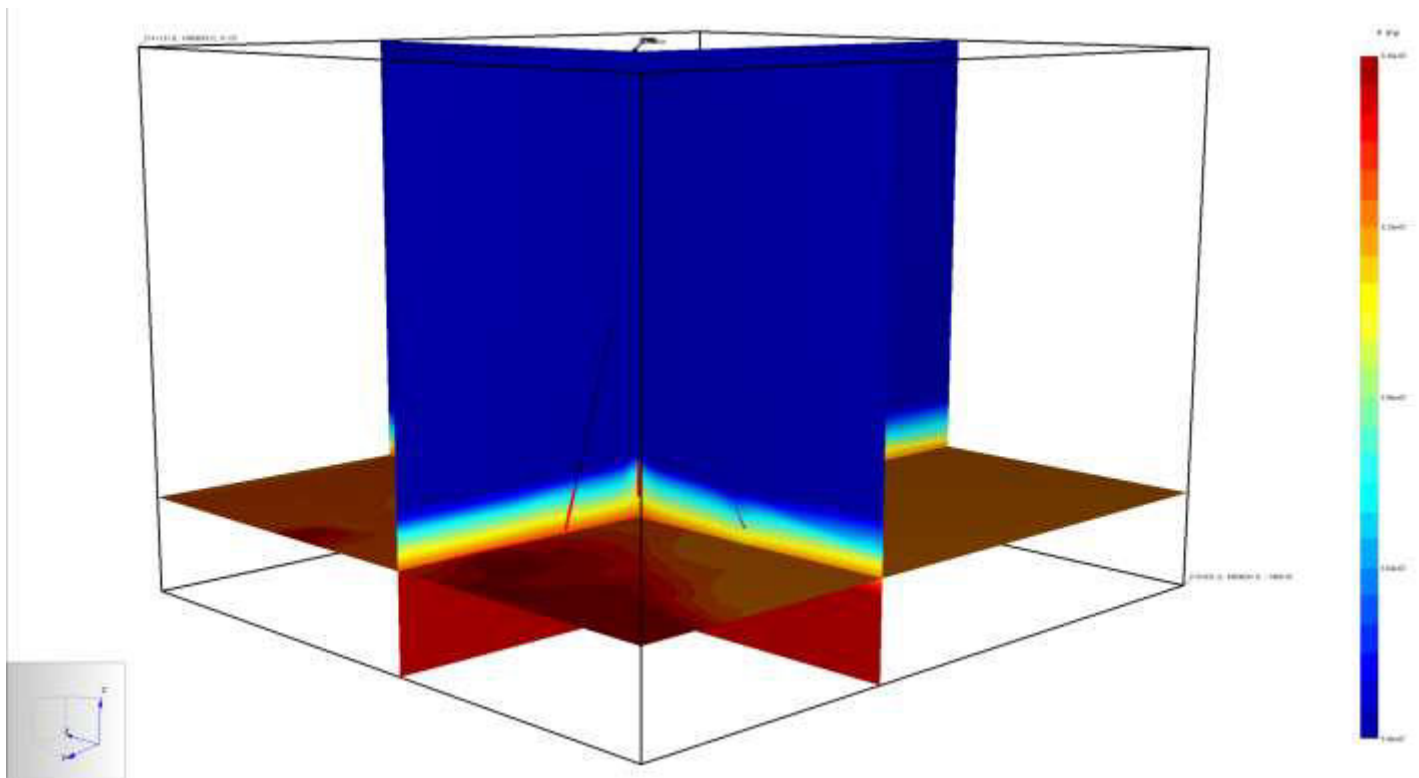


Figura 12 Vista laterale da NW con sezione orizzontale a 6400 m di profondità dopo 30 anni di sfruttamento

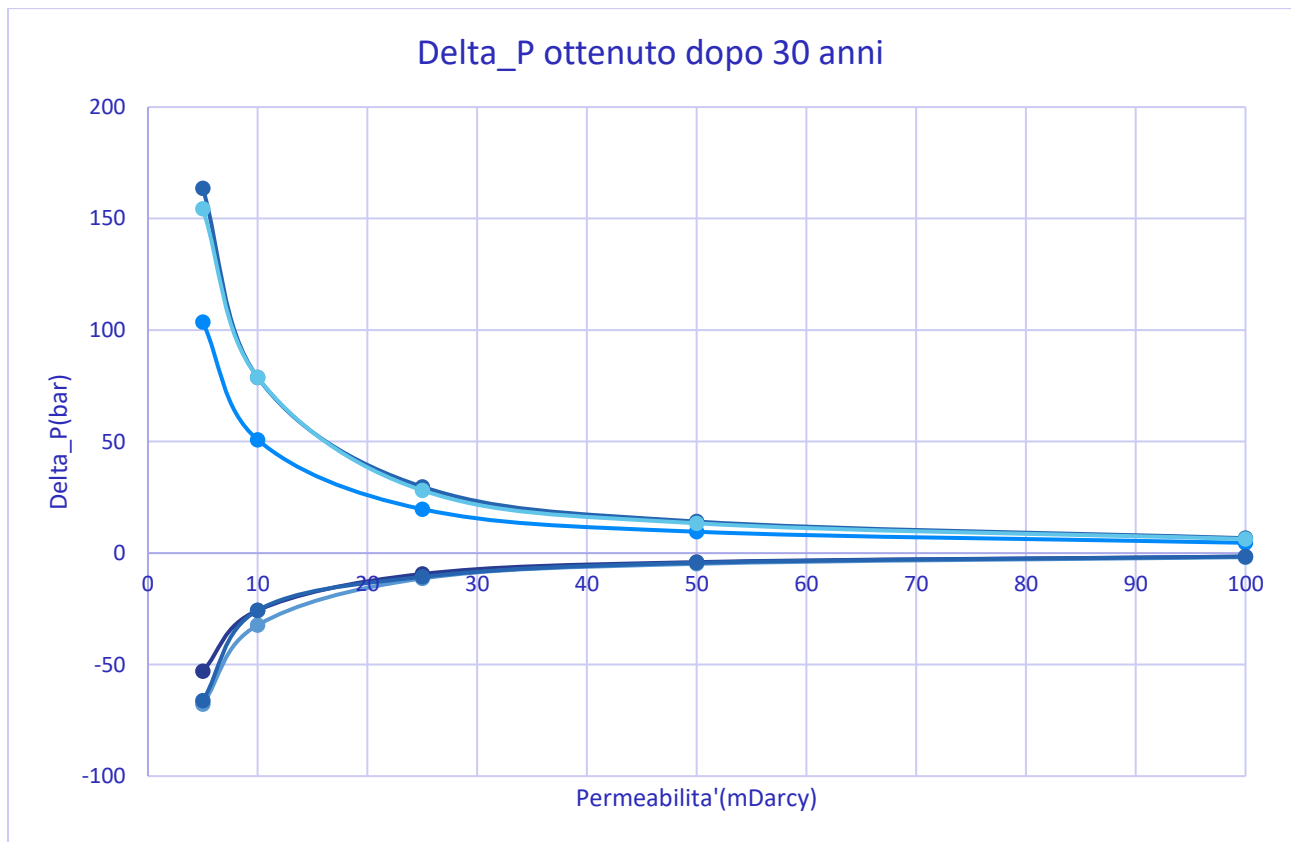


Figura 13 Variazione di pressione indotta dai pozzi di produzione (negativa) e di reiniezione (positiva) dopo 30 anni di sfruttamento

In figura 9 e 11 è evidente il disturbo di temperatura e pressione, rispettivamente, ottenuto dopo 30 anni di esercizio dell'impianto nel caso a 25mD, con una portata complessiva di 500 Kg/s. In figura 10 è riportata una vista laterale del plume freddo generato attorno ai pozzi di reiniezione, mentre in figura 12 è riportato un dettaglio della distribuzione di pressione con sezione orizzontale a 6400 m di profondità, ove non è presente alcun disturbo, per mostrare

come l'effetto atteso non si propaga fino alla faglia "Pola" situata a profondità maggiore secondo il modello geologico.

In Figura 13 è riportato il disturbo di pressione massimo atteso nei 6 pozzi, con la diminuzione di pressione (Delta P negativi) per i pozzi di produzione e l'aumento di pressione (Delta P positivi) per i pozzi di reiniezione. L'esatta collocazione di un limite di disturbo di pressione che può generare effetti significativi nel sottosuolo non è possibile a priori, ma può essere verificato soltanto con un monitoraggio sismico; possiamo però dire che gli scenari con 25mD o più di permeabilità generano un disturbo di pressione lieve, cioè inferiore a 30 bar, mentre lo scenario a 10 mD raggiunge sovrappressioni di 70-75 bar che possiamo definire significative e rappresenta una sorta di limite di esercizio per il progetto con le portate ipotizzate.

In sintesi, alla luce dei risultati ottenuti dalla modellazione descritta, si rileva una congruità per una produzione di 500 kg/s dal serbatoio geotermico posto a profondità di circa 5550 m, nel contesto in esame, con permeabilità di 25 mD e sovrappressioni attese di 30 bar, senza interferenze termiche o con la struttura tettonica profonda, rilevata nel modello geologico.

Si conferma comunque la necessità di eseguire i monitoraggi idrogeologici, sismici e di subsidenza come da normativa.

Addendum al Modello di Produzione

Come completamento al grafico riassuntivo del salto di pressione generato dopo 30 anni di sfruttamento (vedi Figura 13), qui di seguito si riportano gli andamenti di pressione dei sei pozzi simulati durante i 30 anni di attività prevista per gli scenari di permeabilità 5,10,25,50 e 100 mDarcy (Figure 14,15,16,17,18 rispettivamente).

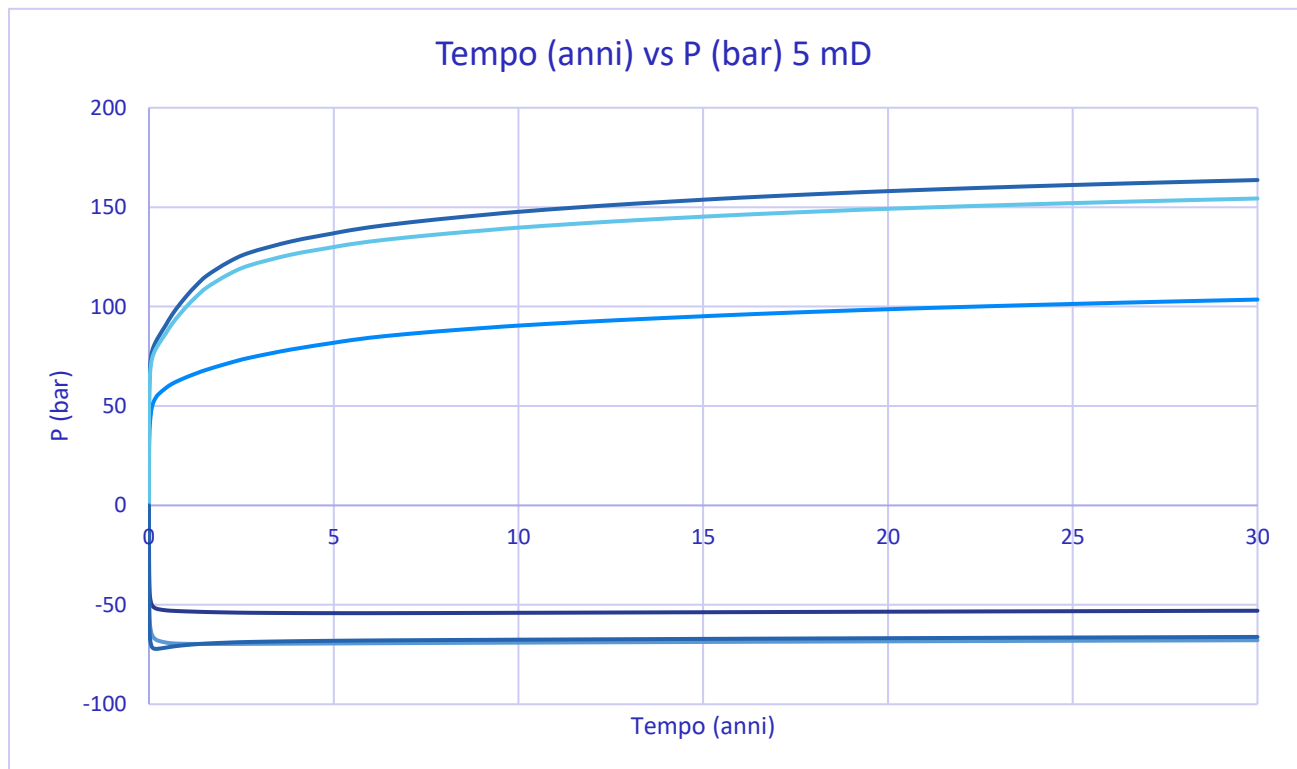


Figura 14 Scenario 5mD

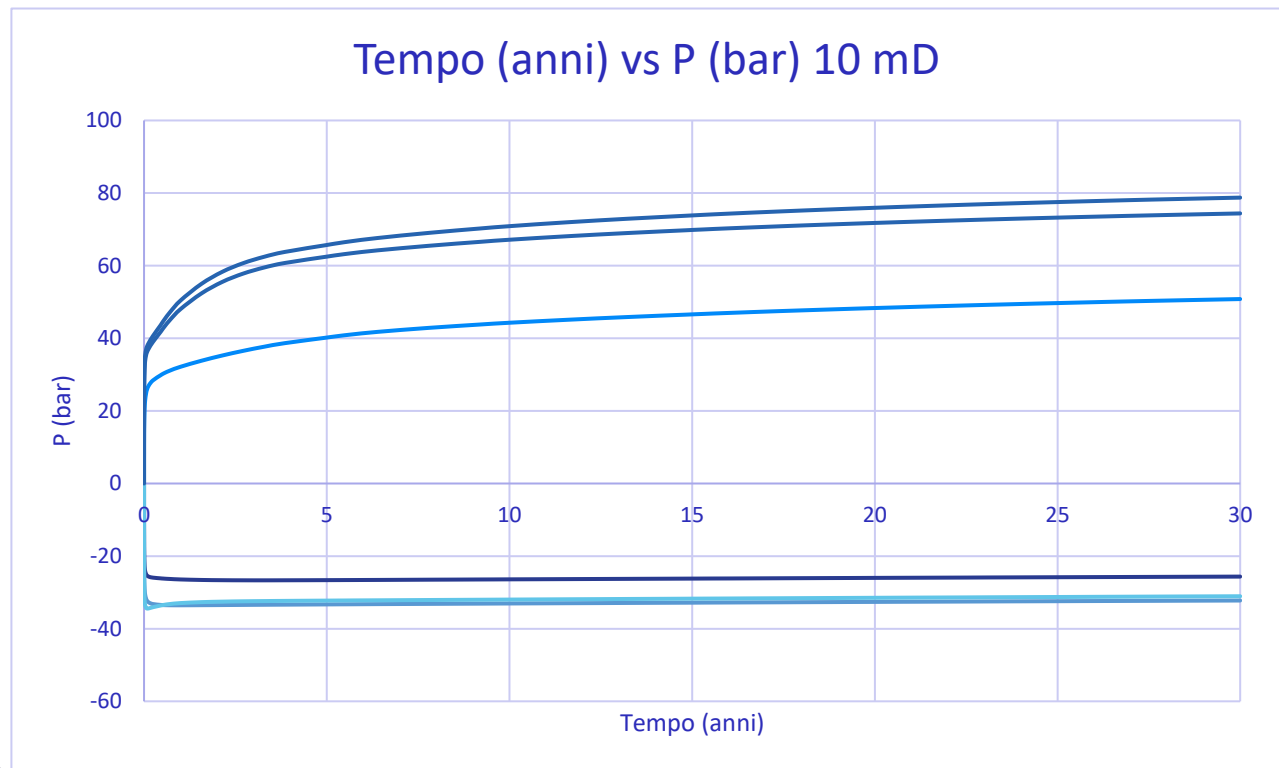


Figura 15 Scenario 10mD

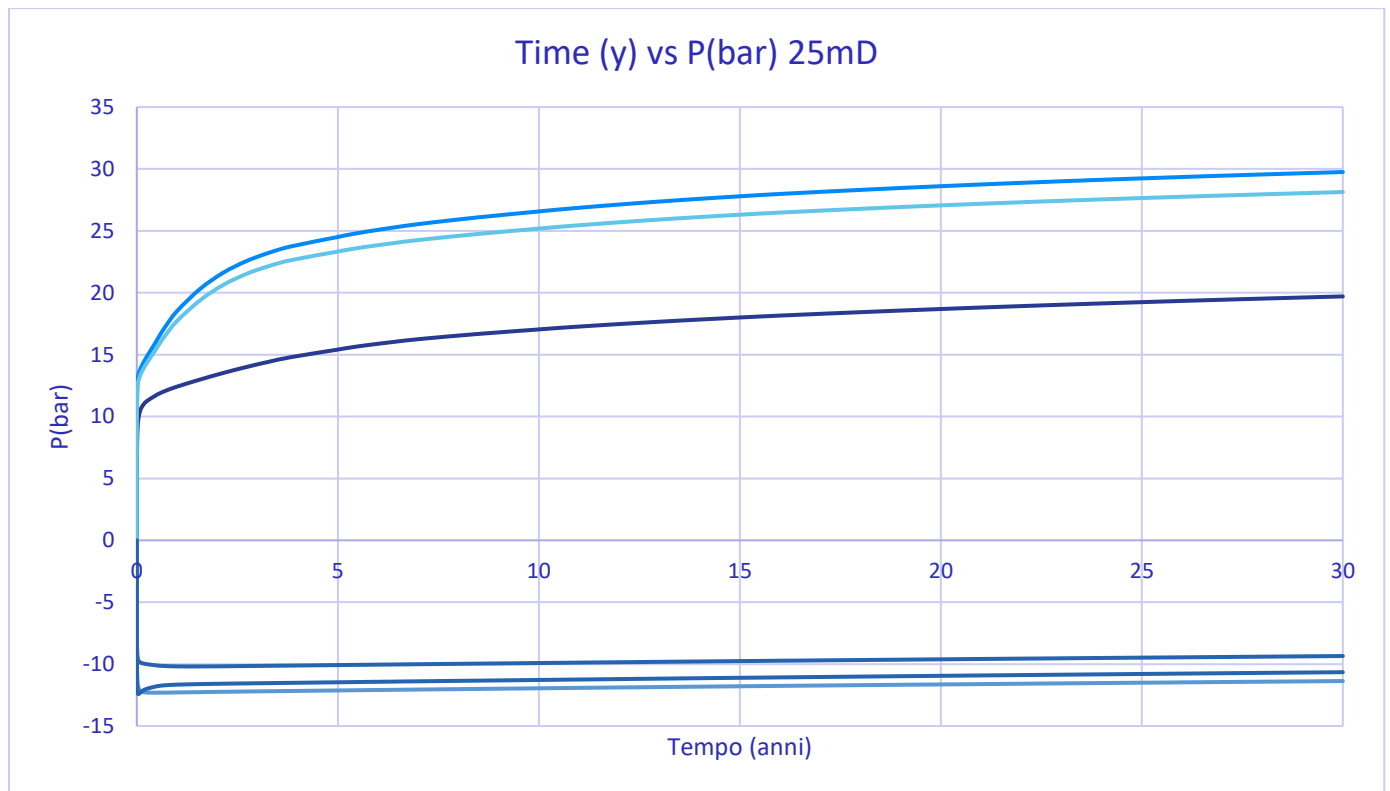


Figura 16 Scenario 25mD

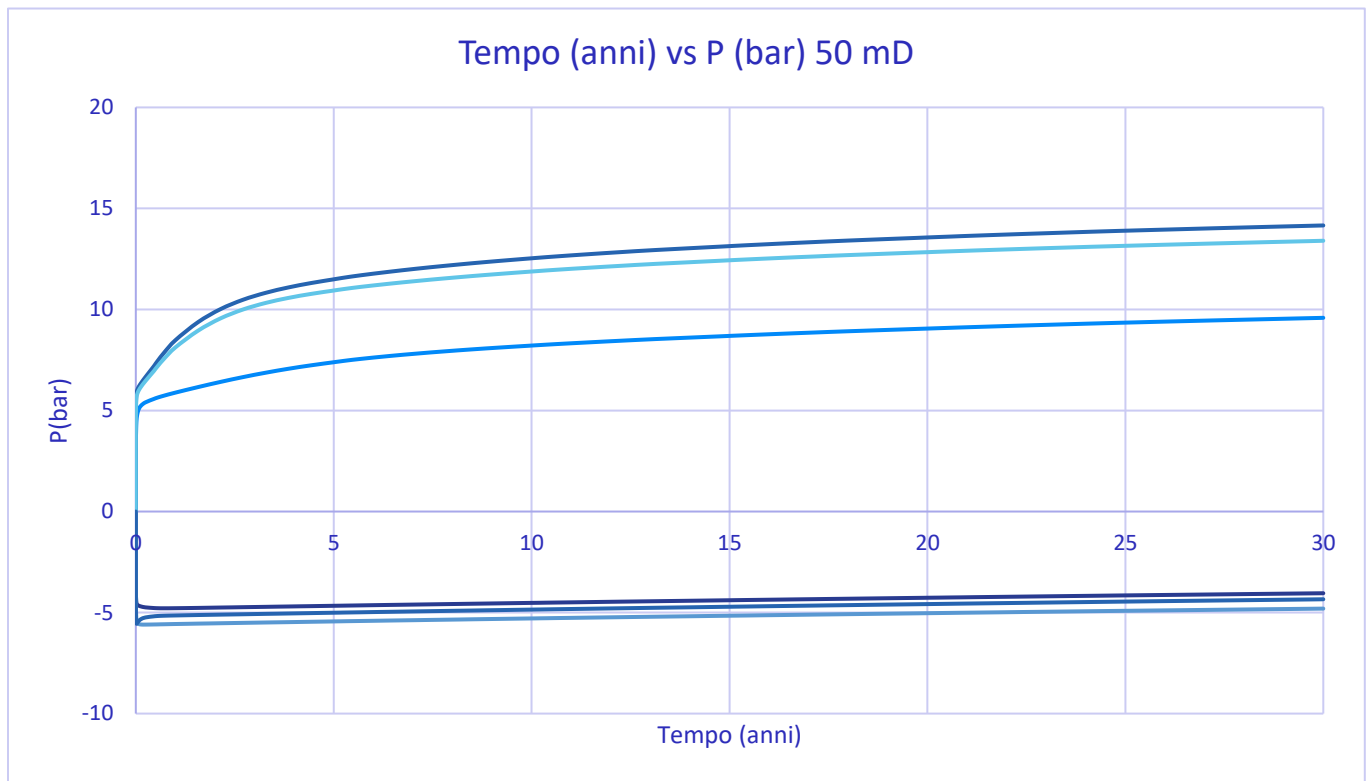


Figura 17 Scenario 50mD

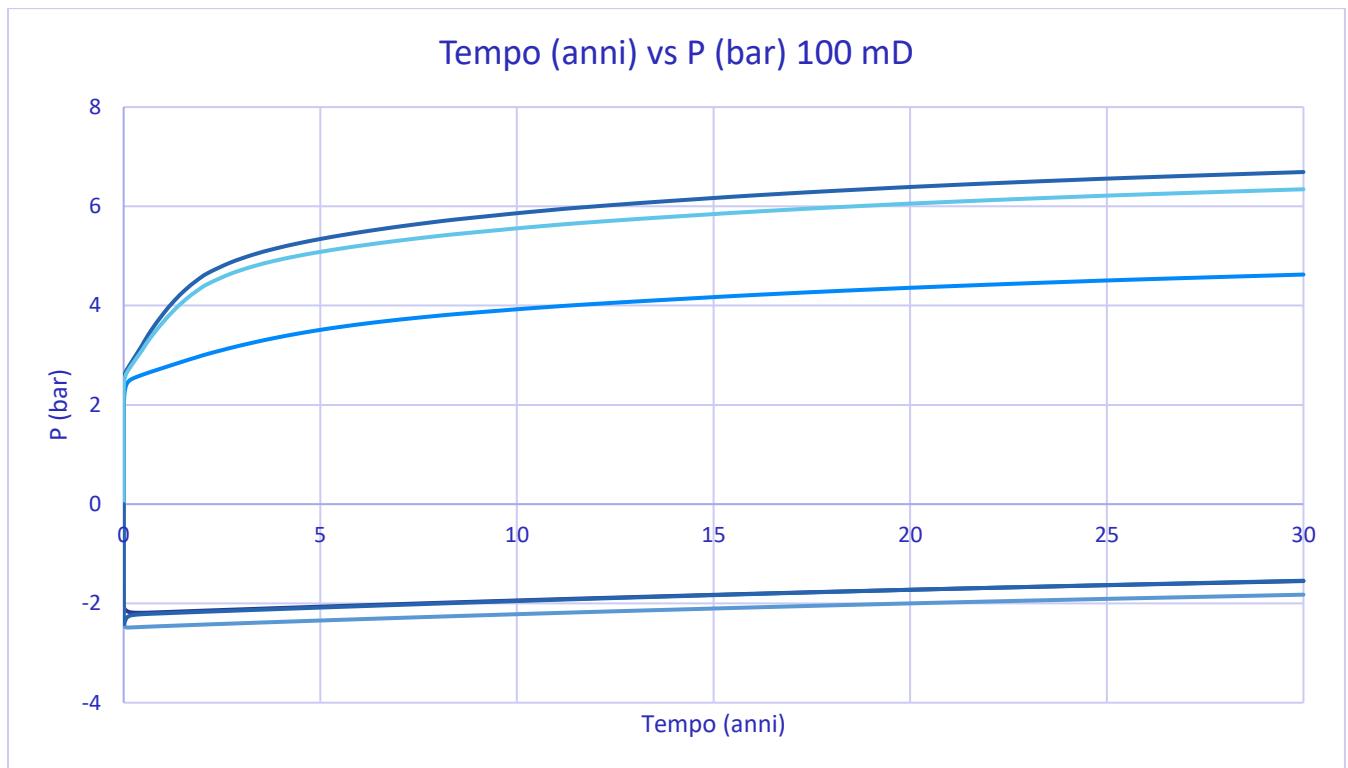


Figura 18 Scenario 100mD