

Modello Doppietto Geotermico del permesso Montecchio-Precalcino



Consiglio Nazionale delle Ricerche

National Research Council of Italy

Istituto di Geoscienze e Georisorse – Sede di Firenze
Institute of Geosciences and Earth Resources – Section of Florence

Via G. La Pira, 4 - 50121 Firenze (Italy); web: www.igg.cnr.it

Preparato da:

Giordano Montegrossi

Laboratorio di Calcolo

CNR Istituto di Geoscienze e Georisorse – Sede di Firenze

Modello Doppietto Geotermico del permesso Montecchio-Precalcino

Introduzione

Il presente studio di un “Modello Doppietto Geotermico del permesso Montecchio-Precalcino” intende valutare sulla base dei dati esistenti e di letteratura la distribuzione e variazione di pressione e temperatura indotta dal doppietto geotermico nel sistema naturale. 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, cioè pressione e thermal recovery factor, 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.

Prima di poter modellizzare il funzionamento del doppietto geotermico alla portata prevista, è necessario creare il modello dello stato naturale del sistema, per verificare la perturbazione indotta dall’attività di sfruttamento.

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 siano trascurabili.

Le condizioni di stato stazionario sono comunemente ritenute una approssimazione accettabile dello Stato Naturale.

In questo caso, è stato effettuato un notevole sforzo per tenere in considerazione tutte le informazioni note del sistema, ma sono state introdotte alcune ipotesi per colmare le lacune derivanti dalla relativa scarsità dei dati disponibili, soprattutto in merito alle condizioni idrauliche del serbatoio profondo.

Una successiva fase di calibrazione da effettuarsi sulla base dei dati del primo pozzo esplorativo contribuirà a ridurre notevolmente le incertezze del modello.

Il modello di stato stazionario è stato calcolato sulla base del modello geologico di sottosuolo fornito da GEOPOWER e creato da CNR – IGAG, Laboratorio di modellazione geologica di sottosuolo, ed in accordo ai dati disponibili dal log del pozzo Villaverla 1 (<http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/pozzi/dettaglio.asp?cod=6920>).

Il modello geologico è stato fornito in formato come superfici campionate con griglia regolare con 400m di risoluzione, e consiste del modello digitale di elevazione dell’area in oggetto (DEM) e delle superfici relative ai principali contatti stratigrafici; in particolare esse sono il Top delle formazioni Dolomia, Base Quaternario, Base Cavanelle, Top Basamento, Top Eocene medio, Top Calcari Mt Spitz.

Anche i principali elementi strutturali sono stati importati e sono Fault Schio Vicenza, Thrust Thiene-Bassano e una faglia denominata F1; anche se questi elementi strutturali non hanno un ruolo attivo nel modello in termini idraulici e di ingegneria del serbatoio, essi sono un utile riferimento per valutare il possibile impatto del campo di pressione generato dal doppietto geotermico.

Il modello di Stato Stazionario, anche se deve essere calibrato con i dati acquisiti in seguito al primo pozzo esplorativo (i.e. pozzo di produzione), fornisce dati utili al posizionamento dei pozzi di presa e di reiniezione (MP-1 ed MP-2). I due pozzi sono stati infatti posizionati nel corso della modellizzazione geologica, con uno scambio di informazioni derivante dai risultati del presente studio.

Il software utilizzato è Petrasim v2015.2, 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 – EOS2, con un'equazione di stato in grado di considerare simultaneamente Brine, Vapore e CO₂.

Dopo aver importato le superfici geologiche, l'area da modellizzare ha un'estensione di 12.4 x 20.8 Km ed una profondità di 5000 m asl (il top del DEM si trova a circa 95 m asl). Lungo la verticale, il modello è stato suddiviso in 34 layer, 21 dei quali si collocano nella formazione di Mt Spitz oggetto della presente indagine. La griglia è poi stata discretizzata con una mesh non strutturata di tipo Voronoi, con un raffinemento (addensamento di celle) in corrispondenza dei 3 pozzi (Villaverla 1, MP-1 ed MP2) e dell'area tra di loro, per un totale di 62900 elementi. In figura 4 si può vedere il risultato del processo di meshing, con le traiettorie dei tre pozzi e gli elementi strutturali inclusi nel modello.

Come Boundary condition al top del modello (i.e. al suolo) è stata assunta una temperatura media annua di 15°C ed una pressione di 1 bar, mentre la temperatura al bottom del modello (ultimo layer impermeabile nel basamento) è stata ottimizzata per avere i 135°C rilevati dal log di pozzo Villaverla 1 nella formazione del Calcere di Mt Spitz.

Con riferimento alla circolazione profonda, sono molto poche le informazioni disponibili ma dai risultati del progetto LEGEND (PERCORSI DI SVILUPPO DELLA GEOTERMIA A BASSA ENTALPIA IN REGIONE VENETO), i risultati del progetto SAMPAS (ARPAV) e numerose indagini idrogeologiche territoriali indicano che gli acquiferi hanno un deflusso a scala regionale con direzione generalmente NW-SE, ed indicano velocità di flusso regionali nel range 10⁻⁴ – 10⁻⁶ m/s.

Queste informazioni non si riferiscono però al livello dell'acquifero profondo situato nei Calcari di Mt Spitz, ma dato che le velocità più alte si riscontrano solo negli acquiferi sabbiosi o ghiaiosi superficiali possiamo ritenere un buon riferimento 10⁻⁶m/s come velocità di flusso allineata secondo il trend regionale NW-SE.

Per la definizione delle proprietà delle rocce abbiamo fatto riferimento ai carbonati, dato che i due acquiferi sono collocati in formazioni carbonatiche e non sono disponibili dati petrofisici su carote. Il materiale di riferimento ha dunque densità 2600Kg/m³, capacità termica 1000,0 J/(kg·K) e conducibilità termica 2,0 W/(m·K). Le formazioni permeabili (i.e. i due acquiferi) hanno una permeabilità di 23 mD, che si riferisce all'interpretazione della prova idraulica nel pozzo Villaverla 1 e va in buon accordo con le perdite di fanghi misurate (figura 1); come caso di riferimento abbiamo assunto la stessa permeabilità anche per l'acquifero profondo. Le formazioni impermeabili hanno invece una permeabilità assunta uguale a 0.23 mD.

La porosità del mezzo, assunto saturo, non ha molta influenza nel nostro caso; infatti non è molto importante nello stato stazionario, che si occupa di definire lo stato termodinamico del sistema. Abbiamo assunto un valore del 2% per le formazioni impermeabili e del 5% per le formazioni permeabili, ed in seguito abbiamo eseguito un test variando la porosità tra 2 e 10% senza osservare variazioni significative.

Una volta ottenuti i risultati del modello si stato stazionario, di seguito indicato anche come Stato Naturale del sistema, abbiamo confrontato la curva idrostatica ottenuta con il singolo dato derivante dal log Villaverla 1 (figura 1) stante la leggera sovrappressione dell'acquifero rispetto all'idrostatica dal pc.

In figura 3 si confronta il profilo di temperatura ottenuto con i dati misurati nel pozzo Villaverla 1; i dati sono molto sparsi e non allineati tra loro, ma data la scarsa qualità della misura (dati derivanti da logs elettrici, come riportato nel log di pozzo) abbiamo ritenuto più sicuro avere un gradiente termico che inizia da 15°C al suolo e ha un 'best fit' con le misure, piuttosto che cercare di creare circolazioni anomale (e.g. molto veloci o collegate a proprietà geologiche non individuate nello studio geologico).

In figura 5 si osserva la regolarità del profilo idrostatico dello stato naturale, con l'effetto sul piano orizzontale del fronte del thrust Thiene-Bassano.

Il gradiente termico, visualizzato in figura 6, appare regolare lungo la verticale, ma in figura 7 un approfondimento sul piano orizzontale a -4000 m asl rivela l'alto termico della parte a nord (a sinistra in figura), collegato ad un dislivello nel layer geologico creato dal sovrascorrimento del thrust. Su questo generale upflow si collocano degli upflow generati dalla circolazione dei fluidi locali, il più importante di essi si colloca in corrispondenza del pozzo Villaverla 1.

Questo può sembrare un caso, ma è utile ricordare che i pozzi esplorativi venivano collocati molto spesso in corrispondenza del presunto alto locale del serbatoio.

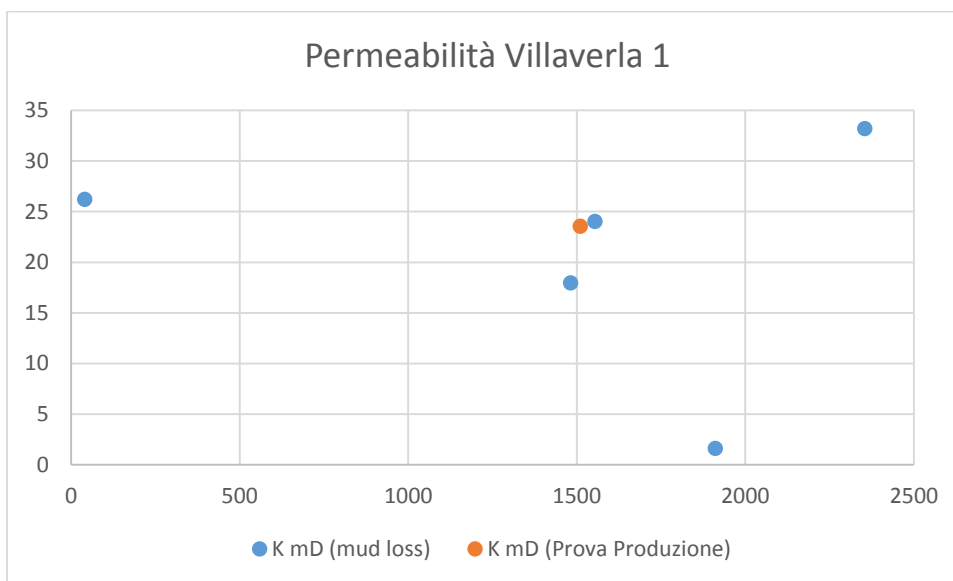


Fig. 1 Analisi delle permeabilità misurate da mud loss e prove di produzione; asse X profondità in m bgl, asse Y permeabilità in mD

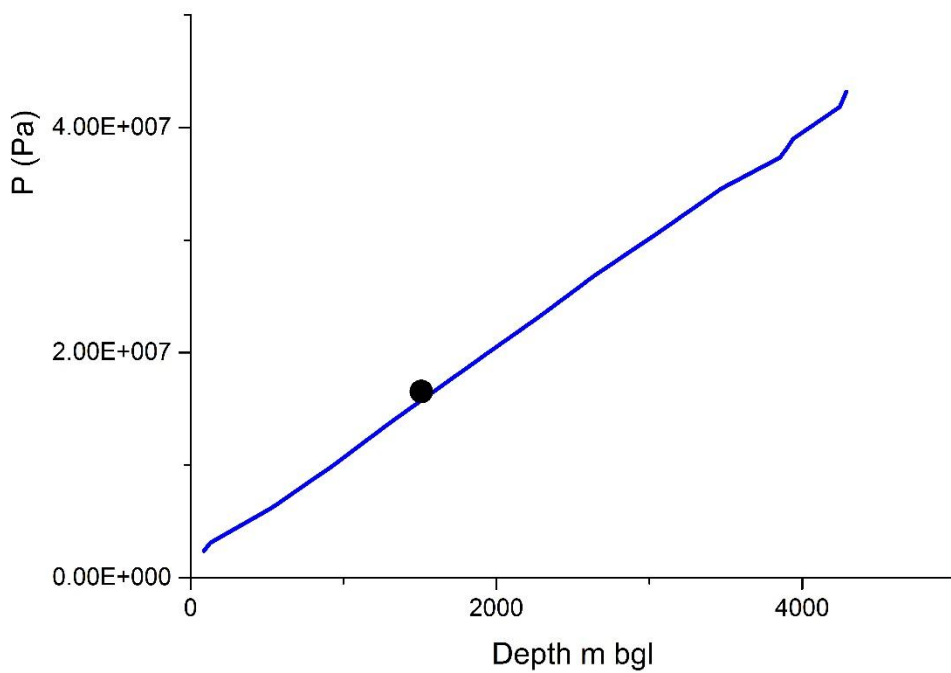


Fig. 2 Profilo di pressione idrostatico dal piano campagna confrontato con l'unico valore misurato nel pozzo Villaverla 1

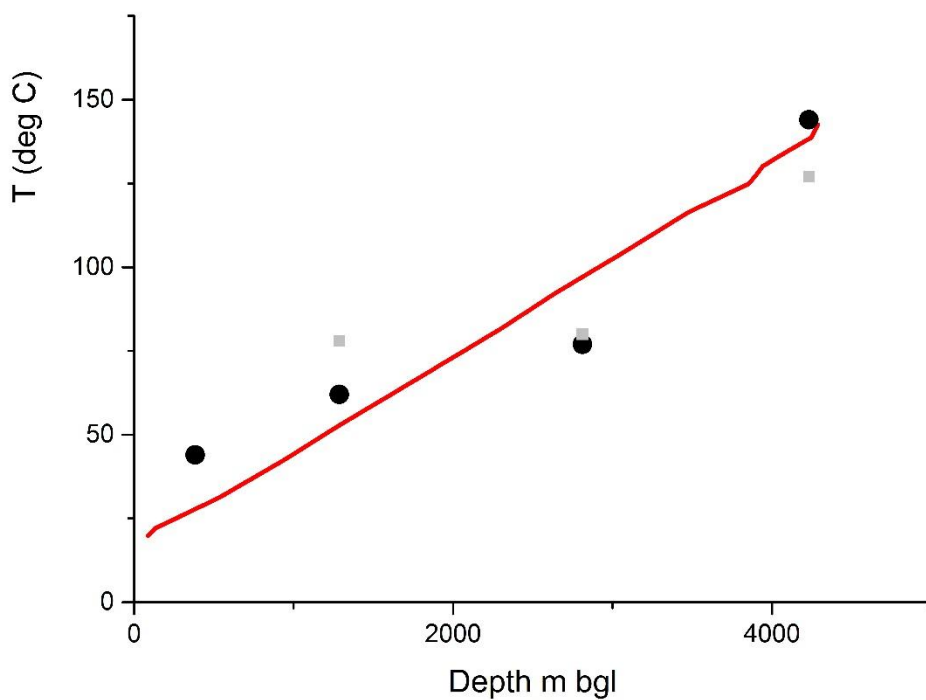


Fig. 3 Profilo di temperatura del pozzo Villaverla 1 confrontato con i dati ricavati dai log elettrici in pozzo

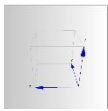
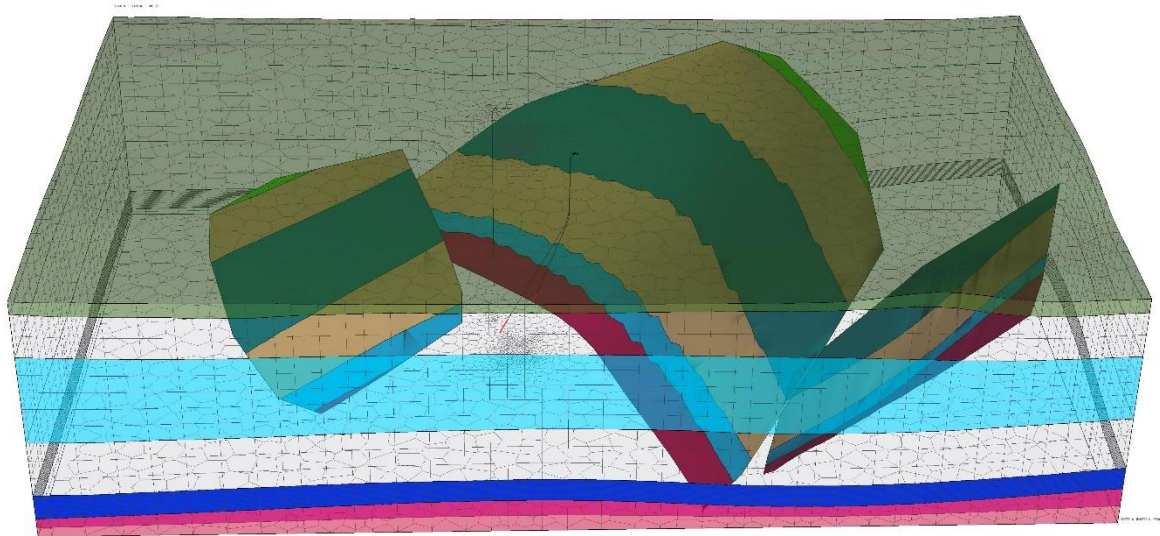


Fig 4 Discretizzazione del modello geologico in Petrasim con inclusione dei principali elementi strutturali

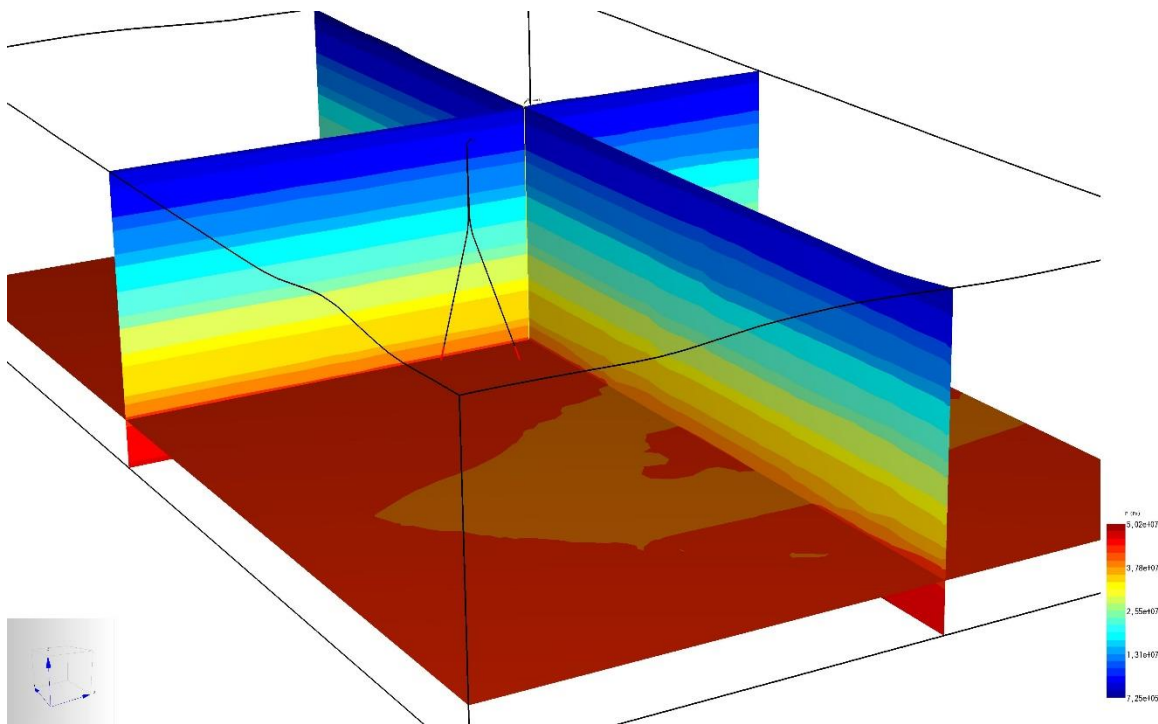


Fig 5 Distribuzione della pressione nel modello di stato naturale del sistema; le sezioni verticali passano dal pozzo Villaverla 1, la sezione orizzontale è a 4000 m di profondità.

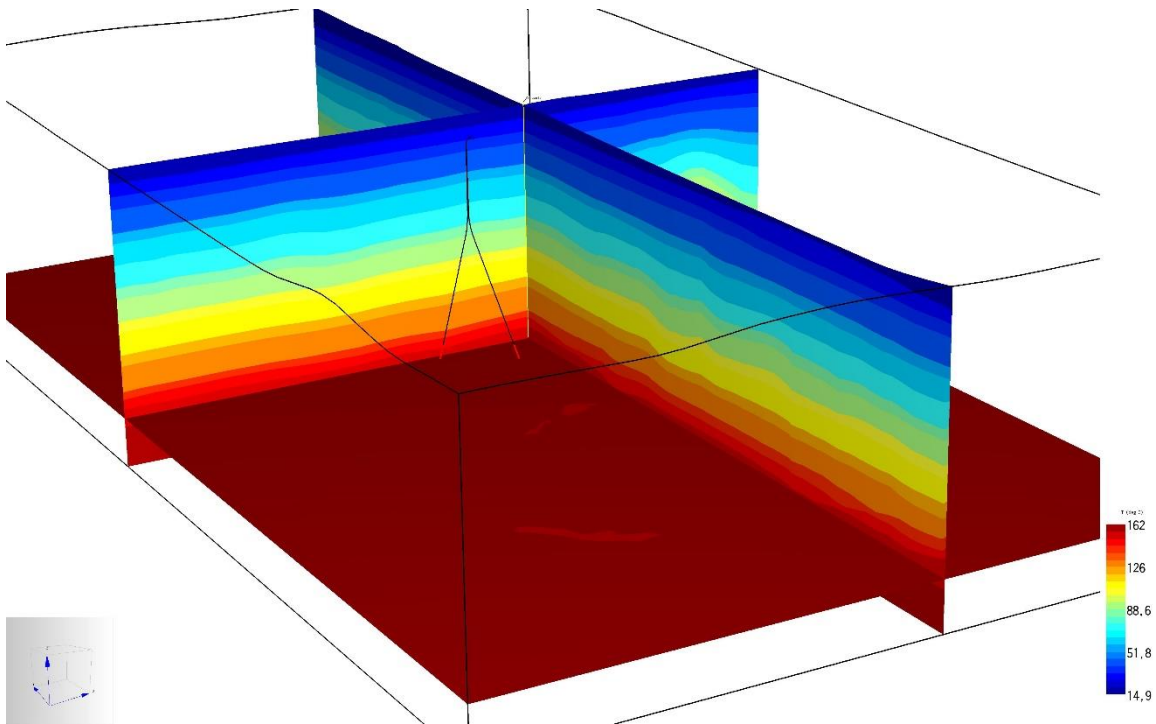


Fig 6 Distribuzione della temperatura nel modello di stato naturale del sistema; le sezioni verticali passano dal pozzo Villaverla 1, la sezione orizzontale è a 4000 m di profondità.

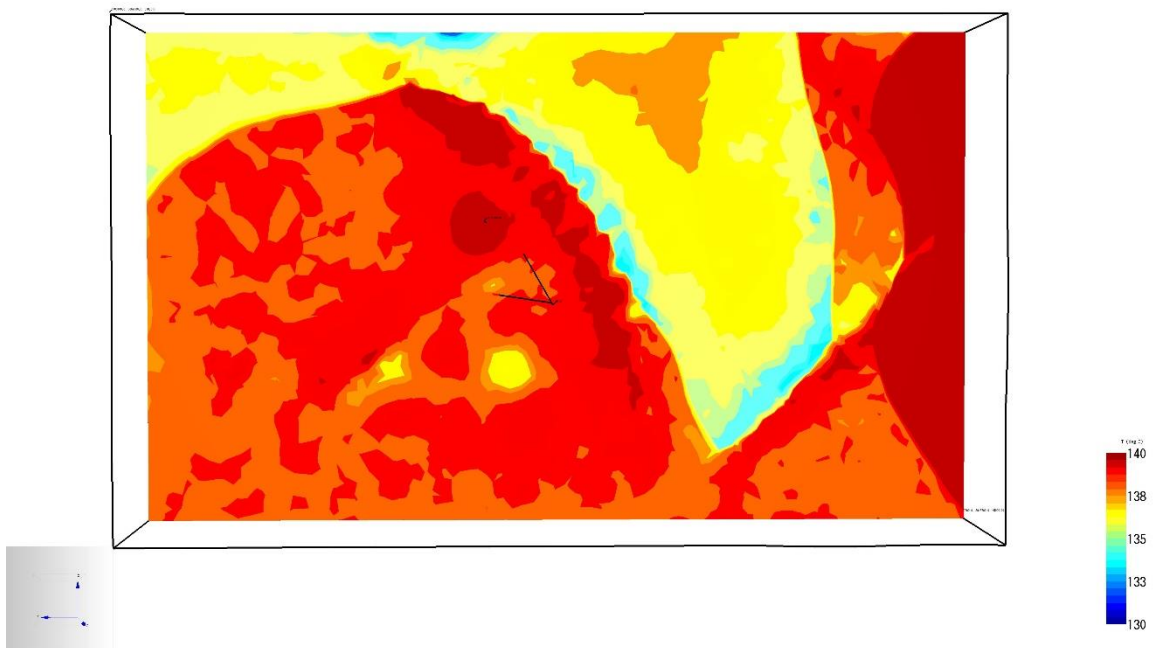


Fig 7 Distribuzione della temperatura a 4000m di profondità vista dall'alto.

I risultati principali possono essere qui brevemente riassunti:

- Il profilo di pressione è circa idrostatico, con una leggera sovrappressione rispetto all'idrostatica rilevata dalla prova di produzione per l'acquifero superiore (165.4 bar a 1510 m di profondità);

- Il gradiente di temperatura è mediamente 28.73 °C/Km, con una variazione in corrispondenza dei due acquiferi considerati, ed una temperatura al suolo media annua assunta uguale a 15°C;
- Dal modello di Stato stazionario si evidenzia che la zona intorno al pozzo Villaverla 1 è interessata da una anomalia termica locale (upflow) di circa 5°C generata dalla geometria dell'acquifero. Il posizionamento del pozzo di produzione quindi viene effettuato in modo da essere il più vicino possibile al pozzo Villaverla 1, in accordo con il modello di stato stazionario e con il criterio generale di minimizzare il rischio minerario.

Nello specifico, utilizzando il modello di stato stazionario (Stato Naturale del sistema) è stato effettuato un "sensitivity check" per stabilire la posizione ottimale del pozzo di reiniezione, considerando i due effetti principali, cioè il "thermal recovery" e le pressioni di esercizio dei due pozzi. Avvicinando i pozzi tra loro, infatti, la sovrappressione di iniezione si riduce, così come la depressione indotta dall'estrazione; il limite di avvicinamento è però dato dall'efficienza di estrazione del calore dalle rocce da parte dell'acqua in circolazione, ed il risultato preliminare ottenuto utilizzando un "thermal recovery factor" del 15% in formazioni carbonatiche utilizzando le geometrie ottenute dal modello geologico è una distanza di circa 1200-1300 m in serbatoio. Questo fornisce una 'zona di posizionamento' all'interno del permesso di ricerca per il pozzo di reiniezione, che viene collocato il più lontano possibile dalle strutture geologiche attive note; questo è stato effettuato nello studio geologico curato da IGAG sulla base delle informazioni preliminari sulle distanze utili fornite.

Analisi campo di pressione

Per lo sfruttamento del doppietto geotermico sono previsti due pozzi, uno di presa ed uno di resa, di cui il primo pozzo (pozzo esplorativo) ad essere perforato sarà il pozzo di presa, denominato MP-1. In tabella 1 è riportato un sintetico della traiettoria insieme al completamento previsto (i.e. spessore aperto o finestrato al di sotto dell'ultima scarpa). Una volta inseriti questi dati in Petrasim, dato che il serbatoio è monofase liquido, è sufficiente il modello kh integrato per definire l'apporto di fluido dai vari layer dell'acquifero profondo.

Il flusso è imposto uguale a 200 Kg/s da specifiche del committente, ed è uguale per i due pozzi soltanto è uscente dal pozzo di presa ed entrante dal pozzo di reiniezione. Il pozzo di presa produce fluido in base alle condizioni di serbatoio (circa 135°C), mentre per il pozzo di reiniezione è prevista una temperatura di 60°C per lasciare spazio in caduta di temperatura ad usi non esclusivamente di produzione elettrica.

Per prima cosa è stata effettuata un'analisi del campo di pressione nel caso di permeabilità di 10, 23 e 50 mD; in figura 8, 9 e 11 possiamo osservare la diminuzione del cono di depressione (azzurro) e di sovrappressione (rosso) generati rispettivamente dai pozzi di presa e di resa all'aumentare della permeabilità. In figura 10 si evidenziano le linee di flusso generate dal doppietto geotermico in esercizio nel caso $k = 23$ mD, che sono molto superiori al flusso regionale, in particolare hanno valori da 1.1 a $1.3 \cdot 10^{-3}$ m/s, cioè circa tre ordini di grandezza in più del flusso regionale stimato.

In figura 12 si osserva il profilo di pressione del pozzo di presa nel caso dello stato stazionario e per i tre valori di permeabilità, di cui si ricorda che il valore di riferimento è 23 mD. In figura 13 si ha il dettaglio del salto di pressione (in valore assoluto) nel tratto finale del pozzo. In figura 14 si osserva il profilo di pressione del pozzo di resa nel caso dello stato stazionario e per i tre valori di permeabilità, di cui In figura 13 si ha il dettaglio del salto di pressione (in valore assoluto) nel tratto finale del pozzo. In tabella 2 si riporta una tabella riassuntiva del salto di pressione massimo di esercizio per i valori di permeabilità esaminati. A questo valore andrebbe sommato il salto di pressione dato dalle perdite di carico dell'impianto, che non è ancora noto (assunto per adesso uguale a 4 bar come valore di minimo), e la pressione di bolla del fluido. La pressione di bolla dei fluidi non è nota, poiché non è nota la composizione, ma data la natura del sistema ci attendiamo che sia bassa anche se per adesso non è definibile, per cui non è stata inserita nel prospetto.

Nel caso di riferimento (23mD) la prevalenza della pompa attesa è di 79.1 bar (da aumentare in seguito alla definizione delle perdite di carico impiantistiche e/o alla misura della pressione di bolla); la pressione attesa diviene molto alta nel caso 10 mD, come è lecito attendersi; i doppietti geotermici, soprattutto se per produzione di energia elettrica, non possono funzionare bene in sistemi a bassa permeabilità. Il risultato generale è però incoraggiante, poiché abbiamo una buona tolleranza sulle permeabilità rispetto al caso di riferimento, almeno da un punto di vista idraulico per quanto riguarda questa indagine preliminare con le zone di faglia generalmente interessate da depressioni minori di 5 bar e solo la parte sud della faglia F1 interessata da una sovrappressione di 3.1 bar. Si ricorda che il problema dovrà essere approfondito dopo l'acquisizione dei dati reali da misure in pozzo.

MP-1				MP-2			
X	Y	Profondità	Completamento	X	Y	Profondità	Completamento
696335.2	5059274	97		696335.2	5059274	97	
696349.7	5059282	-1102.844		696336.6	5059290	-1102.844	
696350.8	5059283	-1132.8168		696336.7	5059292	-1132.8168	
696352.6	5059284	-1162.7427		696336.9	5059294	-1162.7427	
696355.1	5059285	-1192.5986		696337.2	5059297	-1192.5986	
696358.4	5059287	-1222.361		696337.5	5059300	-1222.361	
696362.4	5059289	-1252.0069		696337.9	5059305	-1252.0069	
696367	5059292	-1281.5131		696338.4	5059310	-1281.5131	
696372.4	5059295	-1310.8566		696338.9	5059317	-1310.8566	
696378.6	5059299	-1340.0145		696339.5	5059324	-1340.0145	
696385.4	5059303	-1368.964		696340.2	5059331	-1368.964	
696392.9	5059307	-1397.6827		696341	5059340	-1397.6827	
696401.1	5059312	-1426.148		696341.8	5059350	-1426.148	
696410	5059317	-1454.3379		696342.7	5059360	-1454.3379	
696419.5	5059322	-1482.2303		696343.7	5059371	-1482.2303	
696429.8	5059328	-1509.8034		696344.7	5059383	-1509.8034	
696440.7	5059335	-1537.0359		696345.8	5059395	-1537.0359	
696452.2	5059341	-1563.9064		696347	5059408	-1563.9064	
696464.4	5059348	-1590.3939	-3850	696348.2	5059422	-1590.3939	-3850
697645.2	5060030	-4170.34	-4170.34	696464	5060746	-4190	-4190

Tabella 1 – Traiettorie dei pozzi di presa (MP-1) e di resa (MP-2) con i completamenti

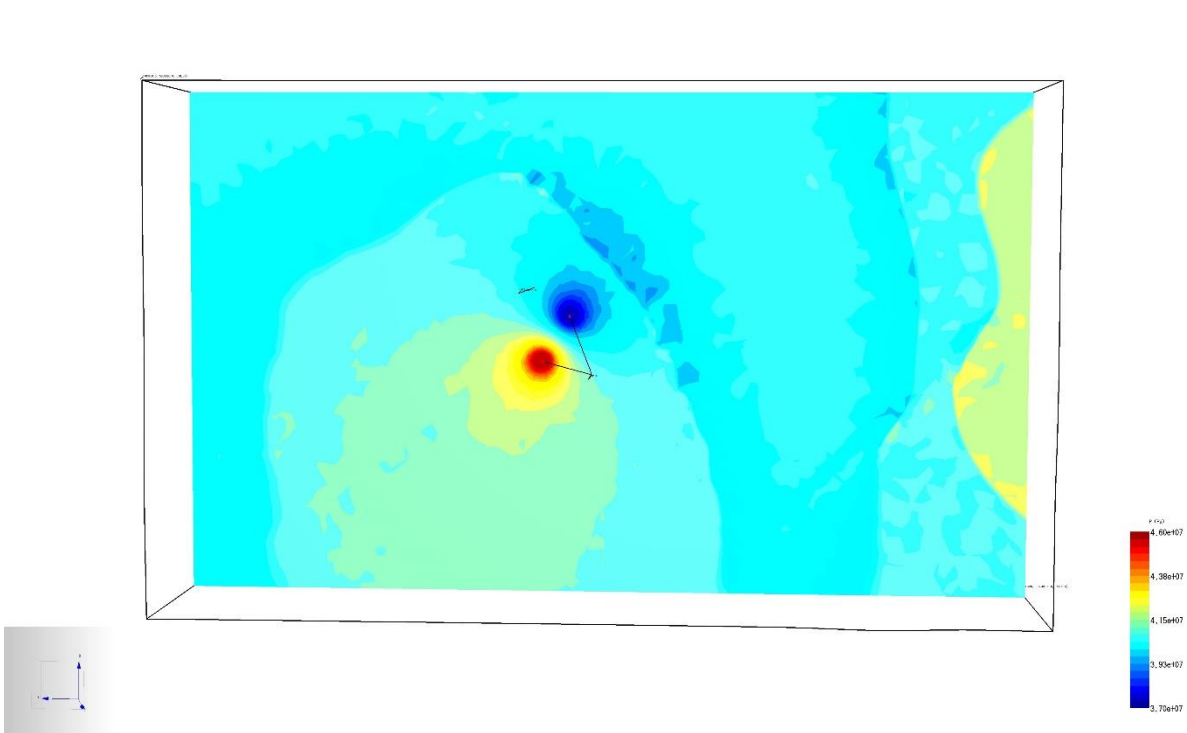


Fig 8 Distribuzione della pressione a 4000 m di profondità vista dall'alto nel modello numerico di sfruttamento a 200 Kg/s di portata, k 10 mD

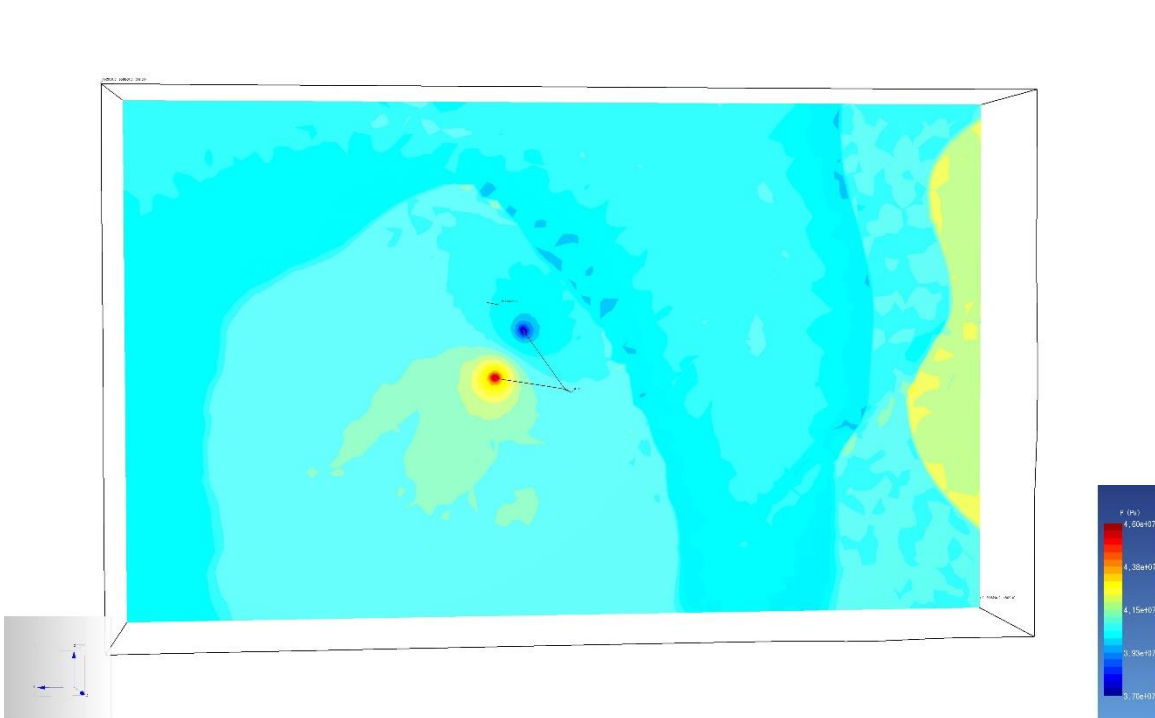


Fig 9 Distribuzione della pressione a 4000 m di profondità vista dall'alto nel modello numerico di sfruttamento a 200 Kg/s di portata, k 23 mD

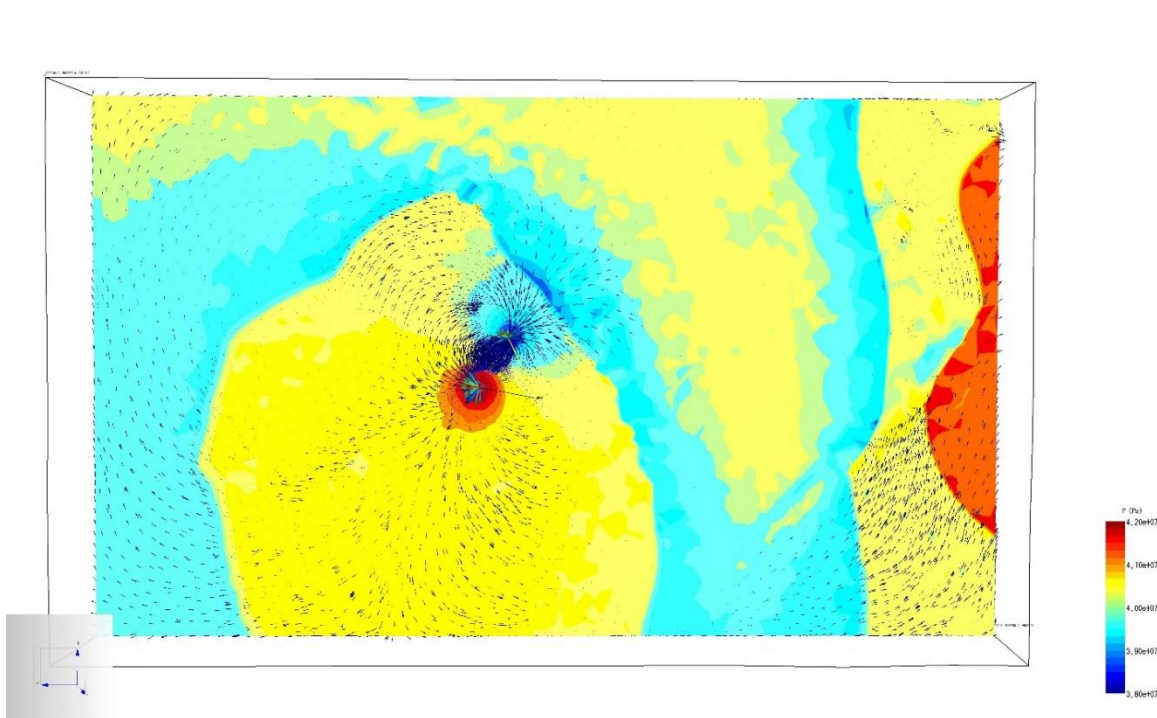


Fig 10 Distribuzione della pressione a 4000 m di profondità vista dall'alto nel modello numerico di sfruttamento a 200 Kg/s di portata, $k = 23$ mD, con rappresentati i vettori di flusso.

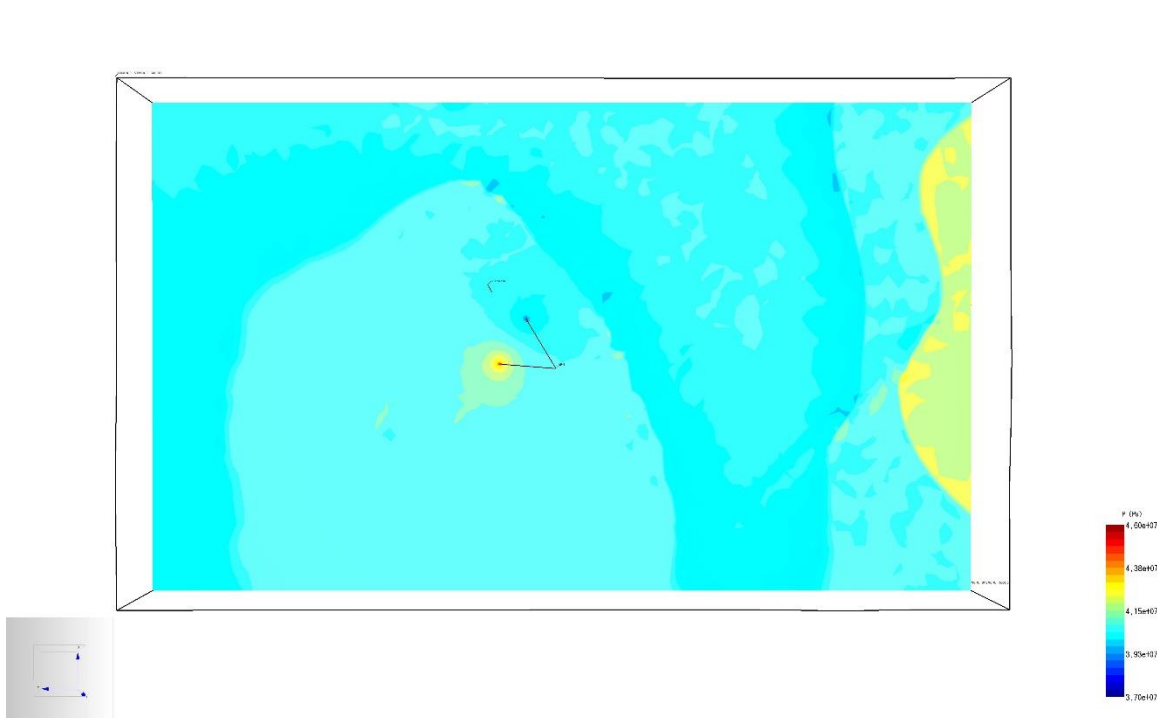


Fig 11 Distribuzione della pressione a 4000 m di profondità vista dall'alto nel modello numerico di sfruttamento a 200 Kg/s di portata, $k 50$ mD

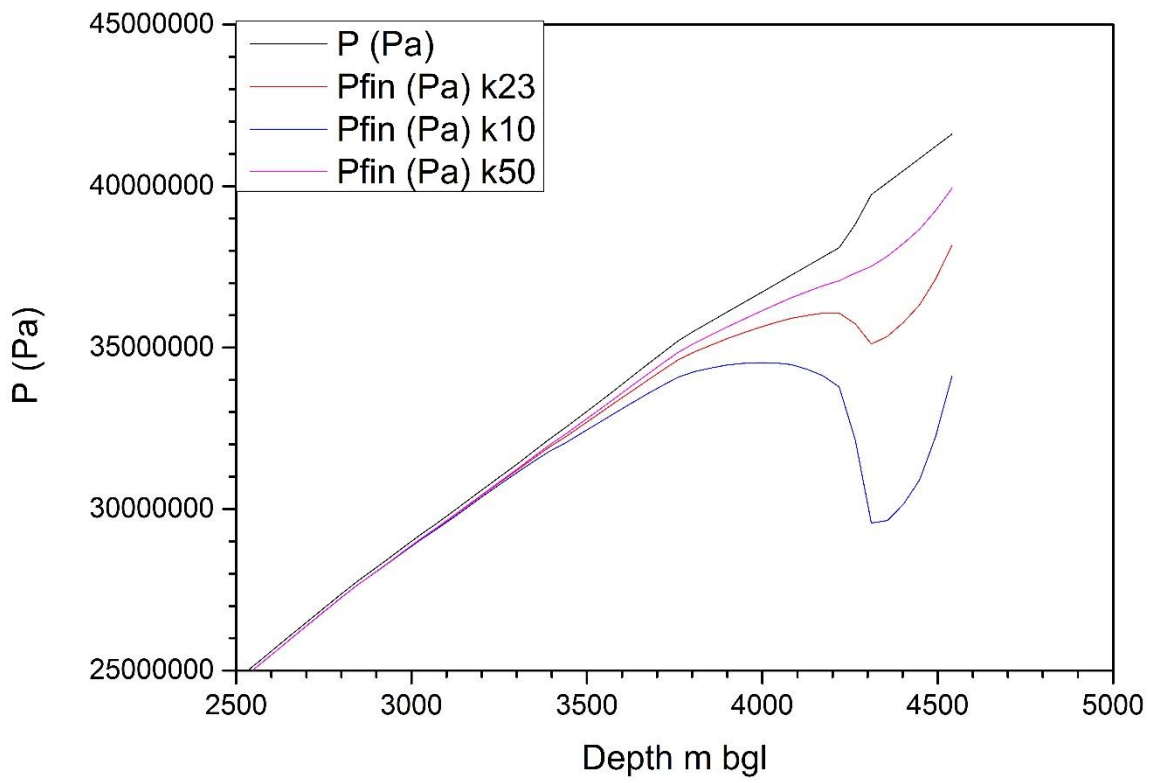


Fig 12 Profilo di pressione per il pozzo di presa con il profilo idrostatico iniziale ed i profili ottenuti a 20 anni, 200Kg/s a differenti permeabilità

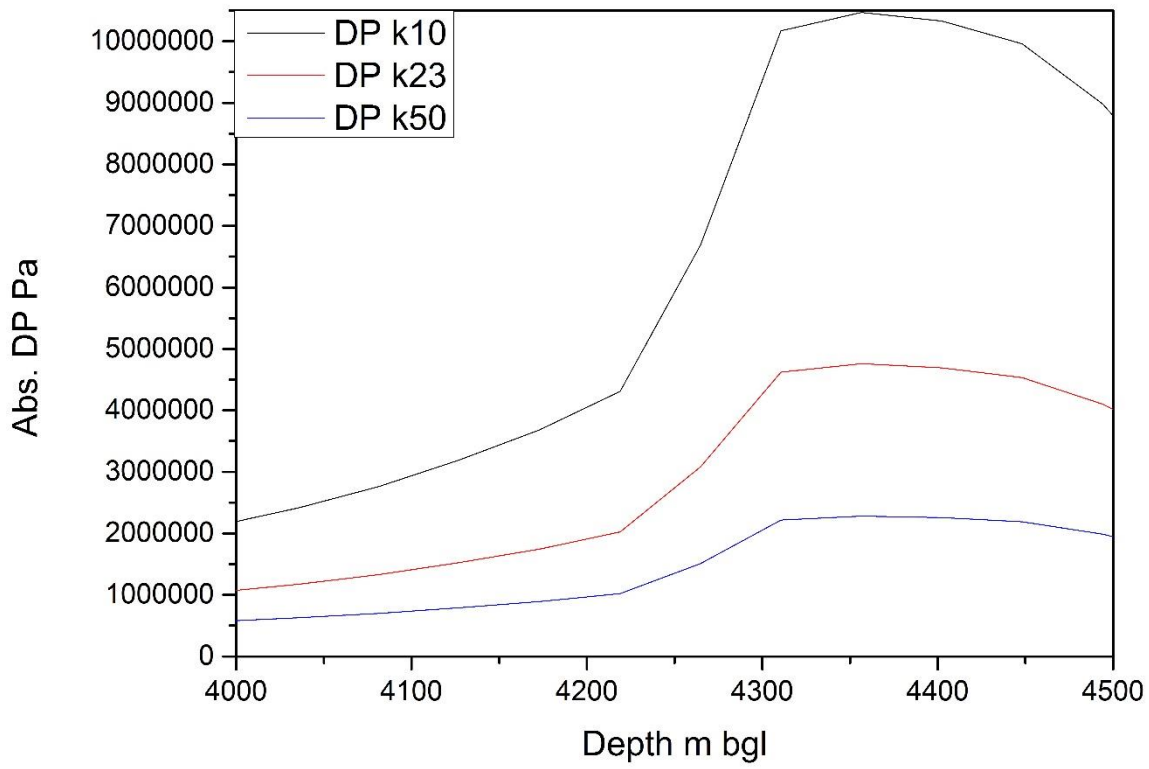


Fig 13 dettaglio del salto di pressione in valore assoluto per il pozzo di presa a 20 anni, 200Kg/s a differenti permeabilità

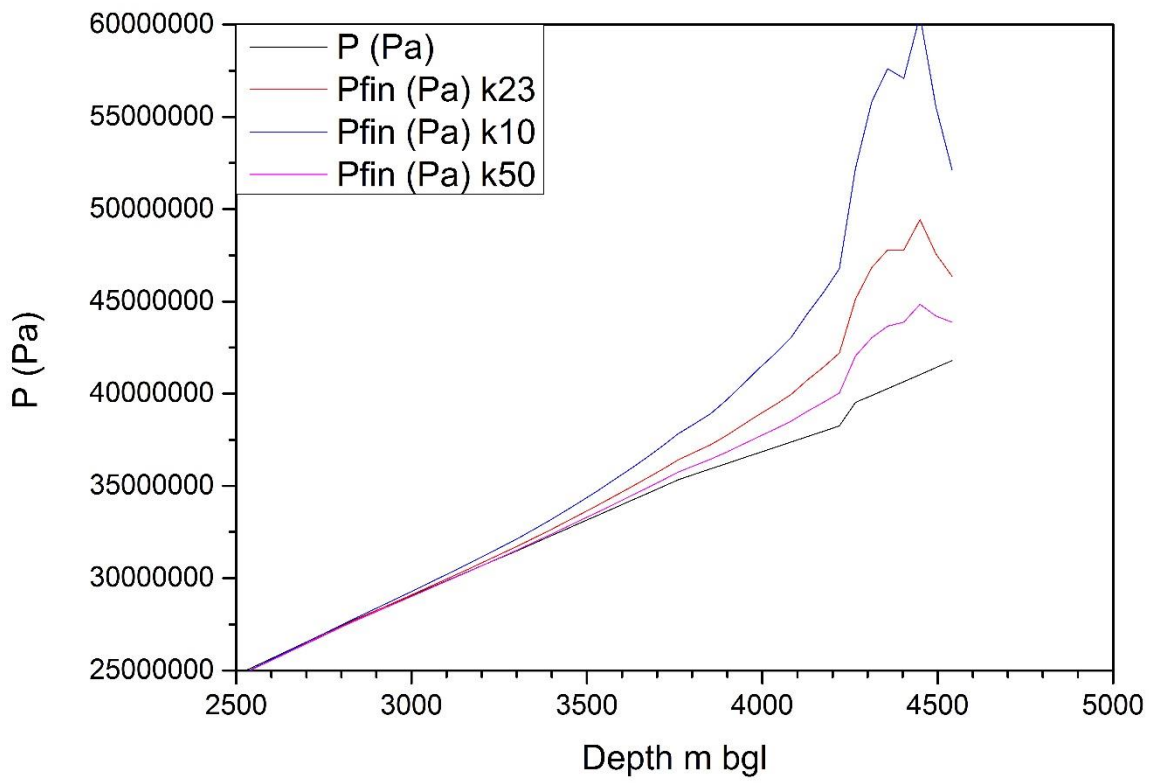


Fig 14 Profilo di pressione per il pozzo di reiniezione con il profilo idrostatico iniziale ed i profili ottenuti a 20 anni, 200Kg/s a differenti permeabilità

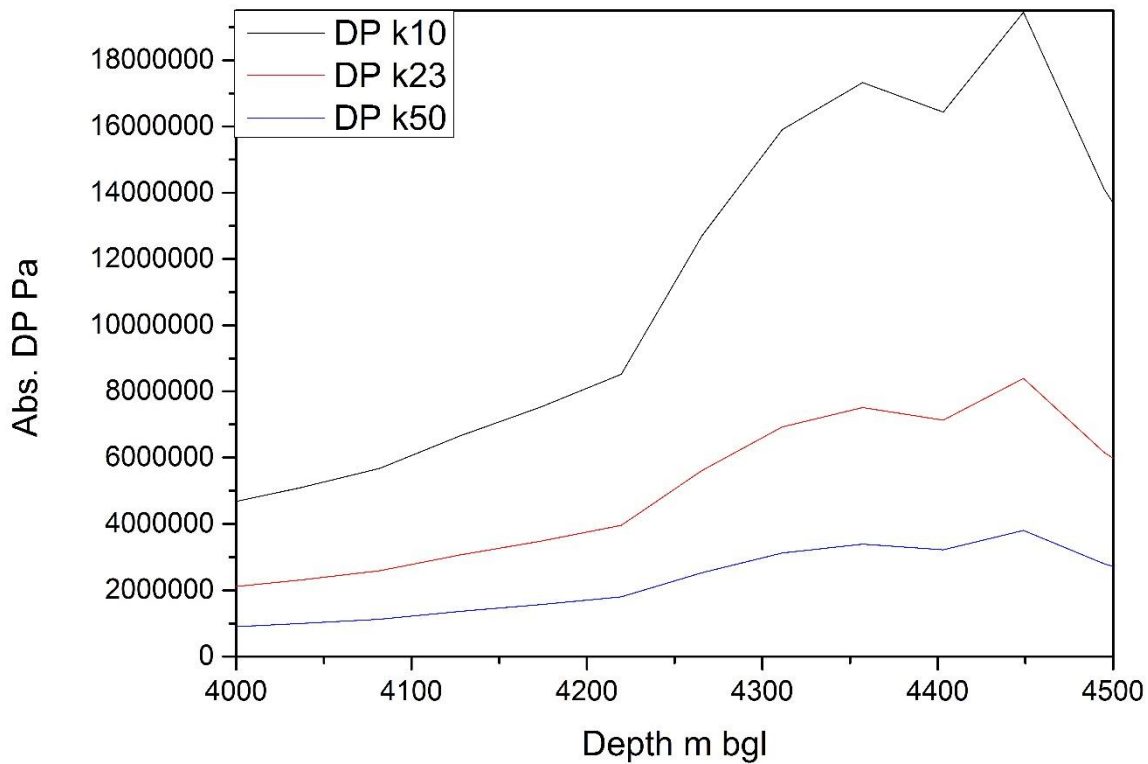


Fig 15 dettaglio del salto di pressione in valore assoluto per il pozzo di reiniezione a 20 anni, 200Kg/s a differenti permeabilità

K	DP MP-1 bar a	DP MP-2 bar a	P loss min bar a	Bubble P bar a	Pump P bar a
10	104.687	173.271	4	0	177.271
23	47.6049	75.1042	4	0	79.1042
50	22.8227	33.8823	4	0	37.8823

Tabella 2 Riassunto dei salti di pressioni stimati per il pozzo di presa e di resa in funzione della permeabilità

Analisi campo di Temperatura

Come anticipato precedentemente, uno studio preliminare per individuare la distanza tra i pozzi data dall'efficienza di estrazione del calore dalle rocce da parte dell'acqua in circolazione, è stato effettuato 'a priori' per fornire indicazioni sul posizionamento utilizzando un "thermal recovery factor" del 15%.

In questo tipo di studio la porosità delle rocce non influenza né la velocità di flusso (regolata dal flusso imposto) né il recupero termico; si ha quindi la necessità di introdurre un parametro che è il thermal recovery factor, che generalmente si abbassa all'aumentare della permeabilità secondaria per arrivare quasi a zero nei casi di cortocircuitazione. Il thermal recovery factor descrive quindi l'efficienza che hai fluido nell'estrarre il calore dalle rocce che attraversa, ed il 15% è un valore di riferimento ottenuto dai report dei doppietti geotermici esistenti (e.g. SUSTAINABILITY FACTORS FOR DOUBLET AND CONVENTIONAL GEOTHERMAL SYSTEMS, Abdurrahman Satman and Omer Inanc Türeyen, PROCEEDINGS, Thirty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, 2012).

Dopo aver definito la posizione finale e la traiettoria dei pozzi (Vedere Relazione Geologia) abbiamo esaminato la tolleranza del nostro sistema al variare del thermal recovery factor per i casi 12 % (figura 16), 15% (caso di riferimento, figura 17) e 18% (figura 18). La risposta del sistema è stata ottima in quanto si è rivelato molto tollerante e la temperatura di produzione mostra un calo modesto anche nel caso di un thermal recovery factor del 12 %. In figura 19 si osserva infatti che l'andamento della temperatura del fluido prodotto nel tempo ha cadute inferiori a 4°C dopo 20 anni di sfruttamento nel peggiore dei casi (TR 12%).

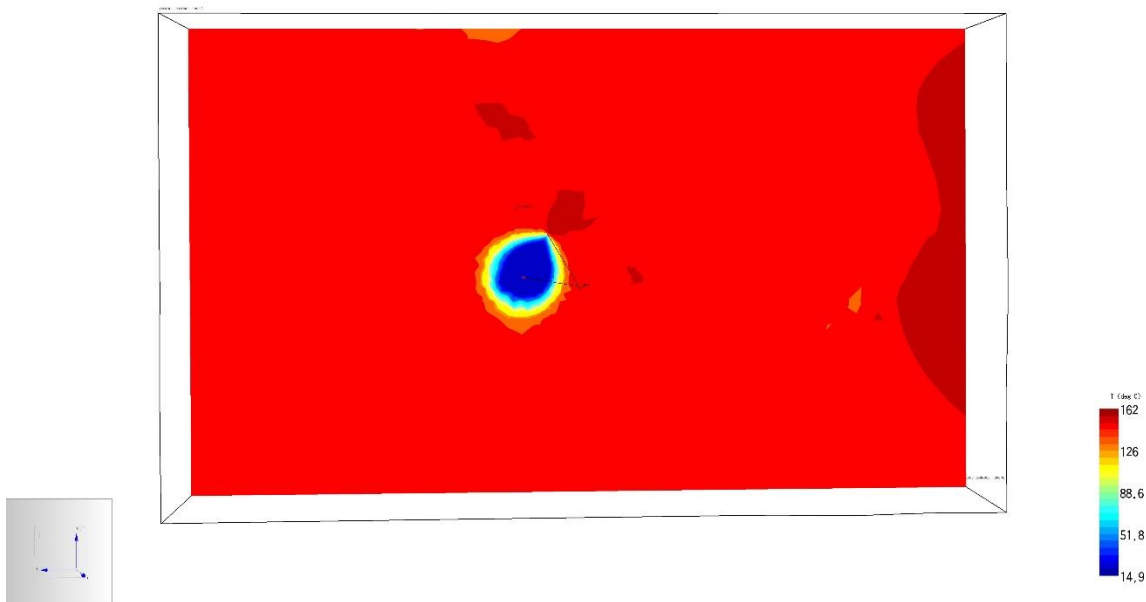
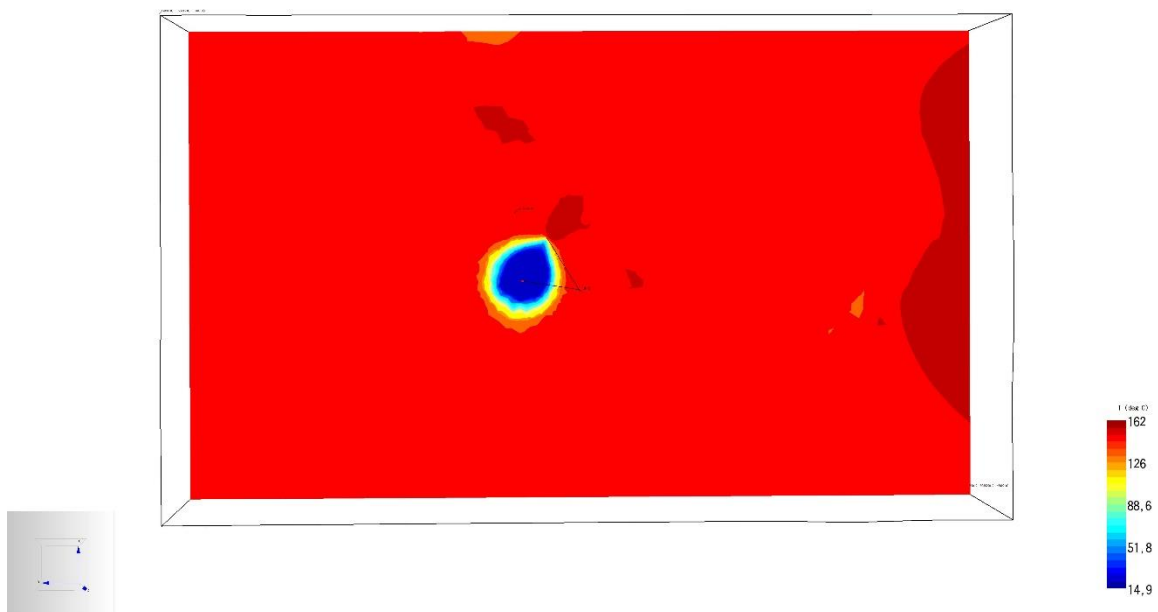


Fig 16 Distribuzione della temperatura a 4000 m di profondità vista dall'alto nel modello numerico di sfruttamento a 200 Kg/s di portata, Thermal Recovery 12%.

Fig 17



Distribuzione della temperatura a 4000 m di profondità vista dall'alto nel modello numerico di sfruttamento a 200 Kg/s di portata, Thermal Recovery 15%

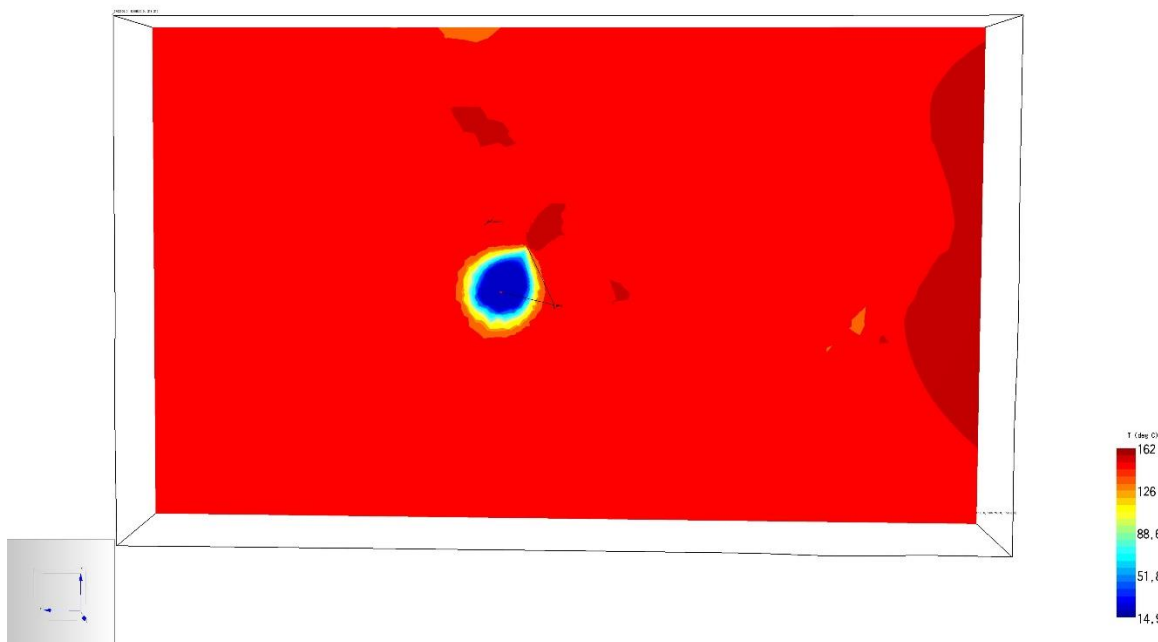


Fig 18 Distribuzione della Temperatura a 4000 m di profondità vista dall'alto nel modello numerico di sfruttamento a 200 Kg/s di portata, Thermal Recovery 18%.

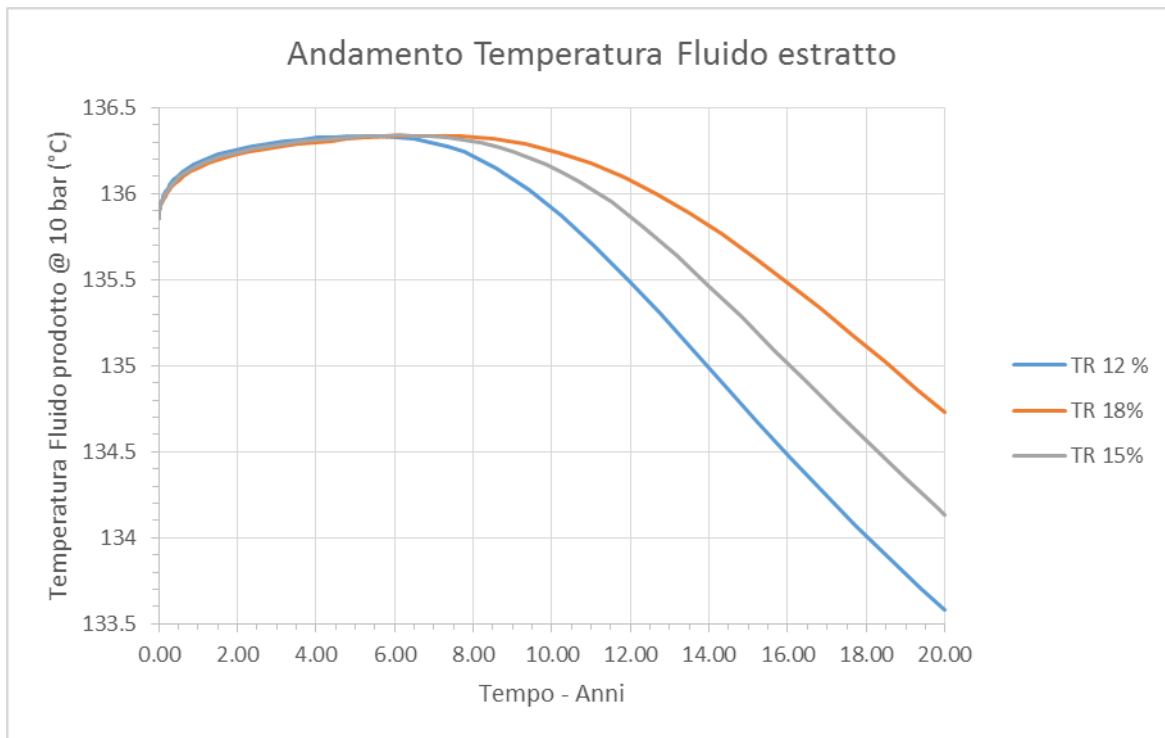


Fig 19 Andamento della temperatura BWT per il pozzo di presa in funzione del thermal recovery factor

CONCLUSIONI

Un migliore posizionamento del pozzo di reiniezione potrà essere fatto in seguito alle prove in formazione ed ai dati ottenuti dal primo pozzo esplorativo, che serviranno a calibrare meglio il modello geologico e numerico del sistema.

La direzione di flusso generale indicata risulta localmente ininfluyente nella circolazione creata dal doppietto geotermico.

Il posizionamento dei due pozzi è stato effettuato quindi considerando la fattibilità energetica e l'ottimizzazione delle pressioni di esercizio, ipotizzando un caso di riferimento analogo all'acquifero testato nel pozzo Villaverla 1. Il calcolo andrà naturalmente ri-eseguito in funzione dei dati reali di sottosuolo ottenuti dal primo pozzo perforato.

Si verifica la compatibilità, a livello di valutazione preliminare, dello sfruttamento dell'impianto geotermico con variazioni del campo delle pressioni nulle o con depressurizzazione massima di circa 5 bar nel caso del sovrascorrimento Thiene-Bassano (figura 20)

La faglia Schio-Vicenza è molto lontana dalla posizione del doppietto geotermico, e risulta essere interessata da una depressione inferiore a 1 bar nella sua parte a sud ovest, in prossimità del sovrascorrimento Thiene Bassano.

La faglia F1 invece giace nella zona di sovrappressione e nella sua parte terminale a sud (per come è stata definita dal modello geologico) nel caso di riferimento è interessata da una sovrappressione di circa 3.1 bar.

La tolleranza del progetto di doppietto geotermico rispetto ai valori attesi di permeabilità e thermal recovery factor è buona.

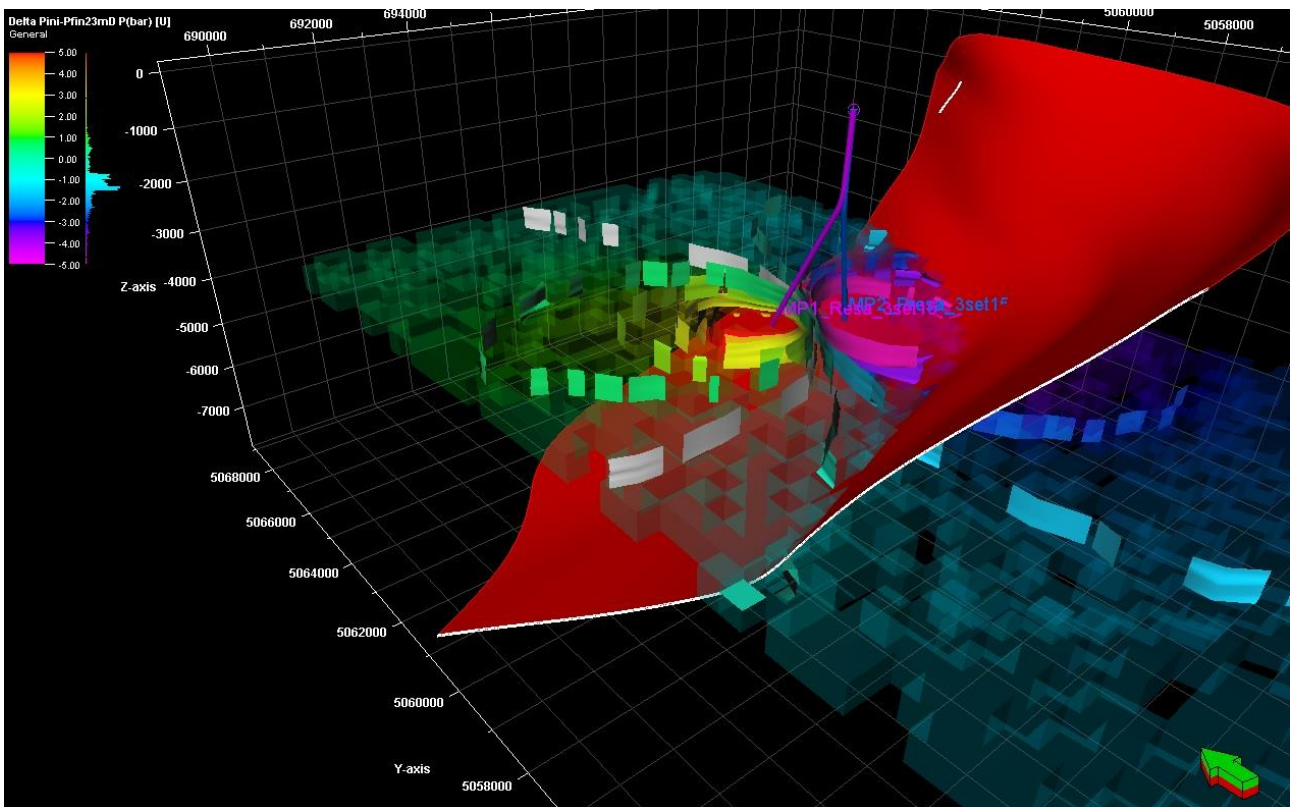


Fig 20 Andamento della variazione di pressione rispetto al thrust Thiene-Bassano