

Documento di approfondimento 1:

Modellazione e simulazione di sistemi geotermici

L'analisi dell'impatto ambientale dei vari progetti di sfruttamento della geotermia profonda in centrali a ciclo chiuso si basa sulle caratteristiche degli impianti, sullo studio delle caratteristiche geologico-strutturali, geofisiche, geochimiche e idrogeologiche della zona di sfruttamento, e sullo studio preventivo degli impatti delle attività connesse allo sfruttamento (trivellazioni, prelievo di fluido geotermico, iniezione di fluido geotermico) sulle zone di sfruttamento. Parte importante dello studio preventivo consiste nella modellazione numerica dei sistemi geotermici e della simulazione dei cambiamenti indotti dalle attività connesse allo sfruttamento.

Per tutti i progetti italiani¹, le simulazioni numeriche utilizzano il codice di calcolo TOUGH2 che descrive il flusso accoppiato di calore e fluidi multifase attraverso materiali porosi.

Partendo da una conoscenza più precisa possibile delle caratteristiche del sottosuolo, la zona di interesse viene schematizzata nei suoi aspetti strutturali, termo-fisici e chimici, poi discretizzata in un certo numero di punti nello spazio tridimensionale per ottenere un modello numerico discreto, rappresentazione più fedele e dettagliata possibile del sistema reale. Ognuno di questi punti è caratterizzato, per un dato tempo, da un set completo di parametri fisici e chimici per descrivere lo stato termodinamico del sistema in questo punto e il suo cambiamento temporale, cioè il suo stato dinamico. Tutti questi punti che hanno una distanza spaziale D definibile tra di loro, rappresentano quindi celle che occupano cubi nello spazio del sistema di volume D^3 . Le dimensioni D delle celle sono normalmente scelte di circa 100 m.

Dopo la definizione di condizioni (condizioni di contorno) e valori iniziali in tutta la matrice di punti a distanza D , il primo passo della simulazione consiste nel calcolo del set di parametri per tutte le celle dopo un certo intervallo di tempo. La iterazione numerica continua fino al raggiungimento di uno stato stazionario nel tempo che rappresenta lo stato di equilibrio del sistema non perturbato.

In questo stato iniziale stazionario vengono inseriti, nei punti di iniezione e estrazione di fluido, flussi di massa e calore corrispondenti allo sfruttamento geotermico. Un nuovo ciclo di simulazione viene avviato per studiare il comportamento del sistema perturbato dai flussi di estrazione e iniezione e la sua evoluzione nel tempo.

Tutto ciò permetterebbe, idealmente e nei limiti delle approssimazioni della fisica termodinamica classica, una descrizione completa del comportamento del sistema geotermico durante la fase operativa. Nella realtà si incontrano limitazioni importanti che a tutt'oggi rendono invalido questo metodo per la descrizione dell'impatto reale dell'esercizio di una centrale geotermica. Questo soprattutto per tre motivi:

- I sistemi geotermici reali contengono disomogeneità strutturali che determinano la loro stabilità e sono decisivi per gli impatti ambientali causati da squilibri pressori e termici indotti durante lo sfruttamento. La riproduzione nella matrice discretizzata di queste disomogeneità richiederebbe un numero di punti discreti molto grande, con punti a distanze D molto ravvicinate, distanze che corrispondono alle dimensioni critiche coinvolte – le dimensioni di faglie e fratture, le dimensioni delle perforazioni - che sono dell'ordine di grandezza di un metro. La potenza di calcolo degli attuali computer invece costringe a limitare il numero dei punti della matrice.
- Il programma è stato creato per trattare matrici continue e non contiene strumenti per descrivere rotture dinamiche. Può al massimo dare indicazioni sulle condizioni in cui avvengono rotture e deformazioni.

- La conoscenza scientifica del sottosuolo è anche nei casi più favorevoli molto scarsa. Proviene soprattutto da indagini svolte in superficie che raccolgono risposte integrali a stimoli mirati. Tali risposte consistono in una superposizione di segnali provenienti dai singoli punti (o zone della estensione della lunghezza d'onda dello stimolo) di un certo volume interessato dallo stimolo. La loro interpretazione richiede un'ipotesi già preesistente sulla struttura e le caratteristiche del sottosuolo che in seguito viene adattata ai risultati delle indagini. In tal modo è possibile rilevare strutture semplici come una stratigrafia geologica semplice, ma non una stratigrafia complessa, oppure disomogeneità e strutture singole come p. e. faglie, la loro forma ed estensione, e le loro caratteristiche. Informazioni più dettagliate, anche su strutture singole possono essere ricavate da perforazioni che però riguardano solo volumi minimi paragonati al volume complessivo da indagare, e che sono disponibili soltanto in pochi punti. Posizione e conformazione di quasi tutte le strutture sismogeniche presenti nel sottosuolo di solito non sono conosciute.

Per illustrare questo argomento, prendiamo l'esempio della simulazione numerica del sistema geotermico di Torre Alfina – Castel Giorgio ², uno dei sistemi meglio caratterizzati al mondo da più di dieci perforazioni profonde e varie indagini integrali di superficie come profili MAWS, prospezione gravimetrica, geoelettrica, aeromagnetica, indagini di sismica a riflessione e rifrazione, tomografia sismica ecc. Il modello numerico discreto, presentato nello studio d'impatto ambientale del rispettivo progetto geotermico e definito il migliore possibile, consiste in sei strati geologici distinti che riprendono approssimativamente la stratigrafia dedotta nel passato dalle prospezioni geologiche ³ e contiene alcune drastiche approssimazioni: la matrice geologica all'interno di tutti gli strati è considerata omogenea, tralasciando ogni loro strutturazione da fratture, faglie, variazioni spaziali di consistenza e proprietà fisico-chimiche nella roccia che contiene il fluido geotermico. Il numero dei punti discreti della matrice numerica è di 44773 ad una distanza media di più di 200 m (superficie indagata: 90 km², profondità indagata 5100 m suddivisa in 37 piani a 1209 celle ciascuno).

Non può sorprendere che la simulazione degli effetti di perforazioni e di iniezione e estrazione di fluidi nel modello numerico "ideale" estremamente semplificato, produce risultati "ideali" (però in nessuna relazione con la realtà): infatti la simulazione rileva soltanto piccoli disturbi locali di pressione e temperatura del fluido rapidamente attenuati nella matrice rocciosa ideale. Con questo risulta nessun problema di disponibilità di fluido alla temperatura desiderata, nessun problema di sismicità indotta e innescata, nessun problema dallo scambio di fluidi tra serbatoio geotermico e superficie, nessun problema ambientale - per la semplice ragione che dal modello è stata cancellata a priori ogni caratteristica che potrebbe fedelmente riprodurre questi problemi.

I risultati ottenuti in questo modo sono senza alcuna significanza per la previsione degli effetti dell'esercizio di una centrale reale in un contesto geologico reale e per una valutazione dei rischi.

È interessante che per questo serbatoio geotermico di Torre Alfina esiste uno studio geologico che, a partire dagli stessi studi geologici usati per costruire il modello numerico, deduce una eclatante disomogeneità del serbatoio, in cui sistemi complessi di faglie e fratture suddividerebbero il sottosuolo in compartimenti "stagni" separati l'uno dall'altro, con pronunciate variazioni spaziali di permeabilità e la possibilità di flussi di fluido verticali lungo piani di faglia indotti da forti variazioni locali di pressione. Queste stesse variazioni locali di pressione del fluido sarebbero capaci, nel caso di superamento di valori critici, a indurre terremoti: e infatti, negli studi scientifici svolti dall'ENEL ⁴, sono stati osservati terremoti indotti dall'iniezione di fluidi nel sistema geotermico reale di Torre Alfina.

Gli autori dello studio d'impatto ambientale per gli impianti di Castel Giorgio e Torre Alfina erano a conoscenza di questo lavoro scientifico, ma lo hanno completamente tralasciato.

Un'illustrazione dell'inadeguatezza delle simulazioni finora presentate negli studi di impatto ambientale sono i risultati di Schiavone et al. (2020) che saranno discusse separatamente. Gli autori introducono in una simulazione con TOUGH2 una struttura simile a una faglia molto semplificata, con effetti drastici.

¹ Progetti pilota di Castel Giorgio, Torre Alfina (anche se si tratta di due progetti formalmente distinti, nella presentazione dei due progetti i documenti “relazione geologica”, “modello geotermico” e “modellazione numerica del sistema geotermico di “Torre Alfina” – “Castel Giorgio” sono identici)., Scarfoglio, Serrara Fontana, Le Cascinelle (non abbiamo accesso alla modellazione relativa al progetto di Poggio Montone).

² vedi la modellazione del progetto di Castel Giorgio: <https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1373/1855> e di Torre Alfina: <https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1566/2544>.

³ vedi la stratigrafia dei due progetti.

⁴ Batini, F., Cameli, G.M., Carabelli, E., Fiordelisi, A., (1980): Seismic monitoring in Italian geothermal areas II: seismic activity in the geothermal fields during exploitation. In: Proceedings of Second DOE-ENEL Workshop on Cooperative Research in Geothermal Energy, Report LBL-11555, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA, USA, October 20–22, pp. 48–85.