

Corto circuito termico nei sistemi di geoscambio a circuito aperto

Matteo Cultrera

Transmark Renewables - NL
m.cultrera@transmark-renewables.com

Nei due precedenti numeri di Acque Sotterranee (AS) ho avuto modo di soffermarmi su alcuni concetti propedeutici all'argomento di questo numero.

Sarà utile, infatti, ricordare il determinante ruolo che la progettazione dei sistemi di geoscambio gioca nelle scelte economiche, gestionali ed ambientali, secondo quanto discusso nel numero 1/128 di AS (Cultrera, 2012a). Si porrà, inoltre, l'accento sul trasporto del calore nelle acque sotterranee di tipo advettivo nei sistemi a circuito aperto; i cui concetti base sono stati introdotti nel precedente numero 2/129 di AS (Cultrera, 2012b).

I sistemi di geoscambio a circuito aperto sono notoriamente considerati tra quelli che garantiscono un'efficienza energetica particolarmente elevata e risultano convenienti sotto aspetti economici, energetici, ambientali (Huttrer, 1997).

Nell'analisi che segue sono necessarie una serie di generalizzazioni del sistema idrogeologico e geotermico di riferimento. Si consideri un sistema idrogeologico rappresentato da un acquifero libero, isotropo ed omogeneo, caratterizzato da direzione di deflusso costante e lineare (Bear, 1979).

Si consideri, pertanto, tale generico scenario a titolo puramente esemplificativo e si applichi la classica relazione che descrive il gradiente idraulico:

$$i = \frac{dh}{dl} \quad (1)$$

Si prenda come riferimento la fig. 1. Si ipotizza una differenza del potenziale idraulico di 50 cm lungo una retta di 100 metri, secondo la direzione di deflusso; applicando l'eq.1 si ottiene un gradiente idraulico pari allo 0.5%.

Si ipotizza nei due pozzi rappresentati, un cono di prelievo (abbassamento di livello) ed uno di reimmissione (innalzamento di livello) pari a 2.5 metri, ovvero una differenza totale tra pozzo di prelievo e di reimmissione di carico idraulico di 5 m. Se tali opere idrauliche distano tra loro 100 metri, si ottiene un gradiente idraulico del 5%.

In questo semplice esempio sono stati adottati valori cautelativi; ciononostante il gradiente idraulico indotto risulta più grande di un fattore 10 rispetto a quello regionale precedentemente ipotizzato. Ne deriva che nelle analisi relative all'impatto sul sistema idrogeologico e geotermico, il gradiente idrico regionale rappresenta una frazione se non trascurabile, quantomeno di secondaria importanza rispetto al gradiente indotto dal sistema di geoscambio.

Nel presente scenario, si trascurino inoltre alcune condizioni al contorno geotermiche, quali le variazioni di temperatura

stagionali e si assume pertanto che la temperatura delle acque di falda sia costante attraverso il dominio considerato.

Le acque sotterranee prelevate dal pozzo di produzione subiscono una variazione termica a causa dell'estrazione delle calorie/frigorie da parte della Pompa di Calore (PdC); tale calorie/frigorie rappresentano il fabbisogno energetico degli ambienti rispettivamente da riscaldare/raffrescare.

Termicamente modificate, tali acque vengono reimmesse in falda e generano un plume termico che migra nella direzione indotta dal gradiente idraulico regionale.

Nel caso di un pozzo di produzione prossimo a quello di restituzione, si induce localmente un'inversione del gradiente idraulico regionale, con conseguente migrazione del plume termico verso monte (Andrews, 1978).

Quando tale *plume* raggiunge il pozzo di produzione, si instaura un corto circuito termico (*TSC*, *Thermal Short Circuit*): in questo caso la temperatura di estrazione viene modificata e di conseguenza, per ottenere le calorie/frigorie necessarie al fabbisogno energetico richiesto, è necessario imporre un ulteriore salto termico nelle acque di restituzione; l'intero impianto geotermico rischia di diventare antieconomico ed inutilizzabile (Galgaro e Cultrera, in prep.).

Il fenomeno della cortocircuitazione termica dei sistemi di geoscambio a circuito aperto è particolarmente diffuso e spesso si manifesta a distanza di mesi o anni dall'inizio della messa in opera dell'impianto; il *TSC* deriva da una serie di motivazioni dipendenti da:

- sottostima degli effetti della perturbazione del flusso idrico sotterraneo indotta dalle opere di presa/restituzione;
- spazi limitati tra il pozzo di prelievo e di restituzione; tale condizione è particolarmente comune in ambienti urbani ed in contesti altamente antropizzati;
- progettazione inadeguata rispetto al sistema idrogeologico e geotermico di riferimento;
- limitazioni imposte dalla normativa (impossibilità di prelevare e restituire acque sotterranee in acquiferi differenti, D.Lgs. 152/2006);

In letteratura è possibile individuare diverse relazioni che permettono la risoluzione di sistemi generici e semplificati come quello precedentemente descritto, applicando metodi analitici (Andrews, 1978, Banks, 2009, Bodvarsson, 1972, Clyde e Madabhushi, 1983, Freeston e Pan, 1985, Galgaro e Cultrera, in prep., Lippmann e Tsang, 1980).

Ritengo che un'analisi di tipo analitico possa essere impiegata a fini predittivi soltanto in una fase preliminare, in cui il progettista del sistema di geoscambio fornisce una stima della

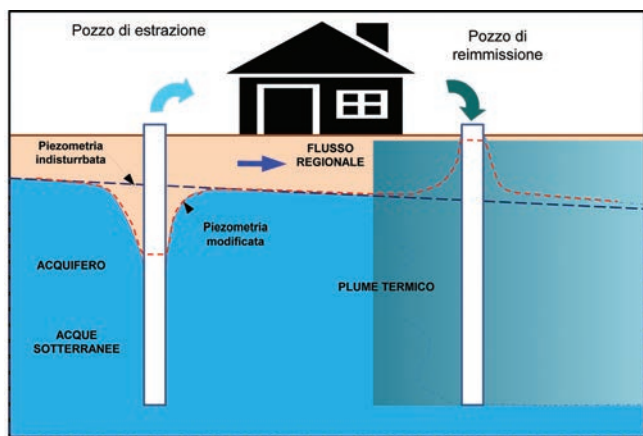


Fig.1: Schematizzazione di un impianto di geoscambio a circuito aperto in un acquifero libero.

distanza minima prevedibile tra le opere di presa e quelle di restituzione, non disponendo di dati più dettagliati relativamente alla geologia, idrogeologia, assetto geotermico, carichi di progettazione.

In una fase avanzata della progettazione, e' inevitabile il ricorso a soluzioni più complesse che tengano conto delle numerose variabili, tra le quali:

- **Progettazione.** Carichi variabili nei diversi periodi dell'anno; utilizzo degli ambienti da parte dei fruitori dell'impianto non costante nel tempo; utilizzo di acqua calda sanitaria;
- **Meteorologiche.** Temperature al contorno che dipendono dalle stagioni;
- **Idrogeologiche.** Idrogramma annuale; disturbi antropici; variazione della direzione di flusso e del suo gradiente; variazione del contributo dovuto alla ricarica degli acquiferi;
- **Geotermiche.** Eventuali variazioni al contorno, quale la temperatura delle acque di falda; interazione con sistemi interni od esterni; analisi del TSC;
- **Geologiche.** Sistemi disomogenei, anistoropi e caratterizzati da geometrie complesse.

Questi fattori ed altri ancora non possono trovare una soluzione mediante il semplice ricorso ai metodi analitici citati. Risulta pertanto necessario ricorrere a metodi numerici in grado di gestire le variabili in gioco e di fornire una serie di possibili proiezioni con lo scopo di predire l'impatto del sistema di geoscambio nel sottosuolo e negli acquiferi interessati dall'opera.

Alcuni metodi numerici permettono di fornire adeguate soluzioni ai complessi sistemi con cui si intende interagire, a patto che si tengano in debita considerazione alcuni aspetti; e' infatti doveroso ricordare che:

- non tutti i modelli numerici relativi acque sotterranee consentono di abbinare le equazioni che descrivono il flusso di falda con quelle relative al trasporto del calore;
- i dati di input del modello devono essere quanto più accurati; un'analisi di sensitività permette di individuare i parametri su cui focalizzarsi maggiormente;

- le condizioni al contorno devono necessariamente interessare un dominio ben maggiore dell'area di studio: verificare che vi siano sufficienti dati geologici, idrogeologici e geotermici a tal riguardo.
- richiedere sempre la calibrazione e la validazione del modello;
- utilizzare dati di campo, quali prove di pompaggio, prove con traccianti, etc.;
- attualmente i modelli numerici di questo tipo richiedono un notevole sforzo computazionale da parte del calcolatore; una semplice proiezione nel tempo necessita l'elaborazione dei dati per giorni, se non per settimane; difficilmente un modello di questo tipo può essere messo a punto in pochi giorni.

Secondo quanto finora detto, l'utilizzo delle risorse geotermiche disponibili nel sottosuolo richiede una progettazione geotermica adeguata al sistema idrogeologico e geotermico che si intende sfruttare. Le indagini di tipo geognostico, idrogeologico, geochimico e geotermico risultano essenziali al raggiungimento degli scopi preposti; infine, una accurata modellazione consente di predire le interazioni tra struttura civile e sottosuolo. Se si omette un adeguato investimento dedicato alle indagini geognostiche ed alla modellazione, ci si espone al rischio di avallare importanti investimenti privi di una adeguata proiezione termotecnica, oltre a minare l'integrità del dominio idrogeologico e geotermico interessato.

A questo punto non mi rimane che rinviare agli utili ed interessanti approfondimenti che da tempo AS dedica al tema della modellazione numerica ed agli articoli presenti in questo numero, dove il lettore potrà trovare ulteriori interessanti informazioni a tal riguardo.

BIBLIOGRAFIA

- Andrews CB (1978) The Impact of the Use of Heat Pumps on Ground-Water Temperatures. *Ground Water* 16: 437-443
DOI: 10.1111/j.1745-6584.1978.tb03259.x
- Banks D (2009) Thermogeological assessment of open-loop well-doublet schemes: a review and synthesis of analytical approaches. *Hydrogeology Journal* 17: 1149-1155
- Bear J (1979) *Hydraulics of groundwater* McGraw-Hill, United States
- Bodvarsson G (1972) Thermal problems in the siting of reinjection wells. *Geothermics* 1: 63-66 - DOI: 10.1016/0375-6505(72)90013-2
- Clyde CG, Madabhushi GV (1983) Spacing of Wells for Heat Pumps. *Journal of Water Resources Planning and Management* 109: 203-212 - DOI 10.1061/(ASCE)0733-9496(1983)109:3(203)
- Cultrera M (2012a) La termogeologia, una nuova branca dell'idrogeologia? *Acque Sotterranee*. DOI 10.7343/AS-007-12-0007
- Cultrera M (2012b) Sistemi a circuito aperto/circuito chiuso: un confronto. *Acque Sotterranee*. DOI 10.7343/AS-010-12-0019
- Freeston DH, Pan H (1985) The application and design of downhole heat exchanger. *Geothermics* 14: 343-351
DOI: 10.1016/0375-6505(85)90073-2
- Galgaro A, Cultrera M (in prep.) Thermal short circuit on groundwater heat pump
- Huttrer GW (1997) Geothermal heat pumps: An increasingly successful technology. *Renewable Energy* 10: 481-488
DOI: 10.1016/0960-1481(96)00107-3
- Lippmann MJ, Tsang CF (1980) Ground-Water Use for Cooling: Associated Aquifer Temperature Changes. *Ground Water* 18: 452-458
DOI: 10.1111/j.1745-6584.1980.tb03420.x