

GEOTERMIA A BASSA ENTALPIA: ASPETTI IDROGEOLOGICI ED AMBIENTALI

A cura di L. Alberti, I. La Licata, D.S.Rigamonti

luca.alberti@polimi.it, ivana.lalicata@polimi.it, dario.rigamonti@tethys-geco.it

Indice

1	INTRODUZIONE	2
2	IMPIANTI GEOTERMICI.....	2
3	IMPATTO AMBIENTALE SUL SISTEMA IDRICO SOTTERRANEO	3
4	BIBLIOGRAFIA.....	6

1 INTRODUZIONE

Dagli inizi del '900 ad oggi il consumo di energia a livello mondiale è cresciuto ad un ritmo sostenuto, passando da 0.7 ad oltre 12 Terawatt, ed è attualmente in costante crescita. Negli ultimi anni i paesi industrializzati si sono orientati verso tecnologie mirate al risparmio energetico e all'utilizzo di fonti di energia rinnovabile o combustibili alternativi puliti rispetto ai tradizionali combustibili fossili che, oltre ad essere fortemente inquinanti, sono destinati ad esaurirsi. [...]

Tra le numerose fonti di energia rinnovabili vi è quella geotermica, ricavata cioè dal calore endogeno terrestre originato dai processi di decadimento nucleare di elementi radioattivi contenuti all'interno della terra e che viene trasferito verso la superficie terrestre mediante convezione, prodotta dal movimento del magma o di acque profonde. Il concetto di entalpia esprime la quantità di energia che un sistema termodinamico può scambiare con l'ambiente; in geotermia si distinguono quindi risorse a bassa entalpia, con temperatura inferiore a 150°C, e risorse ad alta entalpia con temperatura superiore 150°C.

La risorsa geotermica sta assumendo crescente rilevanza grazie alla sua diffusione a diversi livelli energetici: in particolare si sta diffondendo con interesse lo sfruttamento della risorsa a bassa temperatura (< 20°C) mediante l'impiego di sistemi di *sonde geotermiche*, accoppiate a *pompe di calore*, per il riscaldamento e raffreddamento di abitazioni civili, locali pubblici e privati, attività agricole e altre applicazioni che richiedono un sistema di riscaldamento in inverno e raffreddamento in estate.

2 IMPIANTI GEOTERMICI

Il calore fluisce spontaneamente da un corpo a temperatura più alta ad uno a temperatura più bassa; il processo contrario invece non avviene spontaneamente e necessita di pompe di calore che, utilizzando energia elettrica, sono in grado di riscaldare un corpo, "pozzo caldo", assorbendo calore da un corpo a temperatura inferiore, "sorgente fredda".

Esistono due tipologie di impianti geotermici a bassa entalpia: impianti con circuito di circolazione chiuso e impianti con circuito di circolazione aperto.

Gli impianti *a circolazione aperta* sono costituiti sostanzialmente da due pozzi, uno di presa ed uno di resa (fig. 1): l'acqua di falda, in inverno più calda dell'aria esterna, viene estratta dal pozzo di presa ed inviata ad uno scambiatore attraverso il quale l'acqua cederà il suo calore al *fluido refrigerante* circolante nella pompa di calore. L'acqua di falda, raffreddata, verrà reimpressa nell'acquifero attraverso il pozzo di resa. Il processo inverso avviene nel caso di raffreddamento estivo [...]. Lo scambio di calore del fluido con la falda risulta più conveniente di quello con l'aria esterna (come avviene negli impianti di climatizzazione tradizionali), il sistema lavora con delta termici inferiori ed è più efficiente; inoltre la temperatura del terreno e delle acque di falda pressoché costante (mediamente in Italia 15°C) durante tutto l'anno. L'acqua di falda però non è disponibile ovunque e spesso è soggetta a vincoli e divieti di carattere normativo che ne limitano il prelievo e la temperatura di reimmissione.

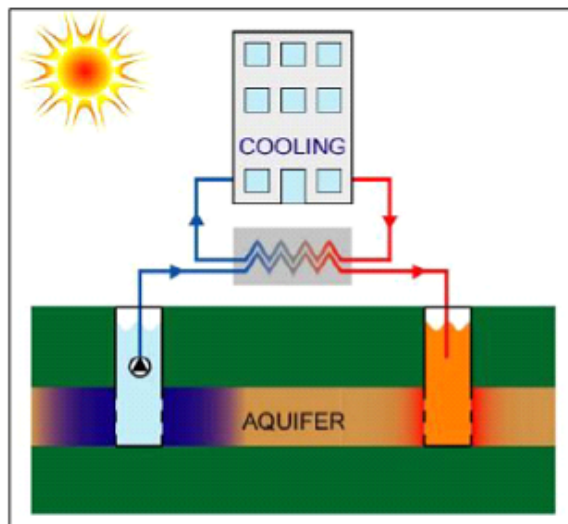
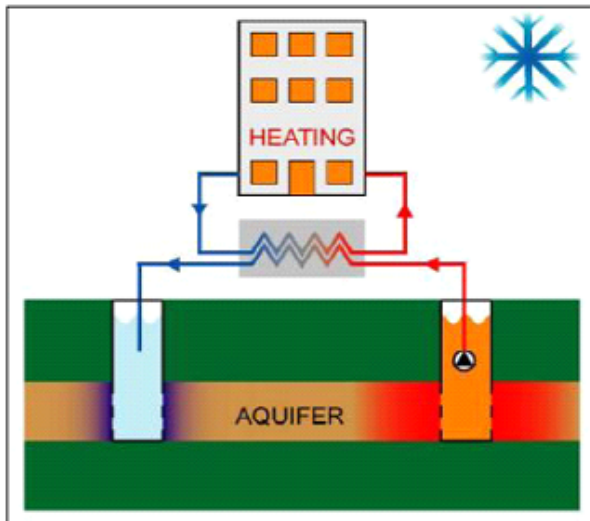


Figura 1: impianti a circolazione aperta, ciclo invernale (a) e ciclo estivo (b)

In un sistema a circolazione chiusa non è l'acqua di falda che viene estratta dal sottosuolo per scambiare calore ma, al contrario, un fluido, (*liquido glicolato*) viene inviato in profondità mediante le sonde geotermiche per scambiare calore con il terreno o l'acqua presente nell'acquifero.

La parte essenziale di un impianto geotermico a circolazione chiusa è quindi rappresentata dalle sonde geotermiche, ovvero il sistema di tubi lungo i quali avviene lo scambio di calore tra il fluido circolante al loro interno e l'ambiente circostante. Il fluido glicolato una volta scambiato il calore con il sottosuolo e tornato in superficie entrerà in

contatto con il fluido refrigerante circolante nelle pompe di calore. [...]

Il principio è comunque lo stesso dei sistemi aperti: durante l'inverno il fluido scende in profondità lungo le sonde e sottrae energia termica al terreno che ha una temperatura maggiore di quella esterna. Tornato in superficie ad una temperatura maggiore, viene inviato alla pompa di calore che provvede al riscaldamento dell'ambiente. Lo stesso sistema, con opportuni accorgimenti impiantistici, invertendo il ciclo, provvede anche al condizionamento estivo cedendo calore al sottosuolo. [...]

Lo scambiatore durante il suo funzionamento genera una sorta di bacino termico di forma cilindrica nell'intorno della sonda, e verticalmente le temperature assumono un tipico andamento ad imbuto. Nel caso vi sia presenza di falda, la variazione di temperatura causata dalle sonde geotermiche determinerà una cosiddetta *bolla di calore*, ovvero una zona a temperatura maggiore o minore rispetto a quella naturale della falda che, dipartendosi dalle sonde, assume una forma più o meno allungata nella direzione del flusso idrico sotterraneo. Per tali ragioni nel momento in cui si installano le sonde è necessario considerare l'effetto di interferenza termica tra di esse e tra impianti vicini. [...]

3 IMPATTO AMBIENTALE SUL SISTEMA IDRICO SOTTERRANEO

Anche lo sfruttamento dell'energia geotermica produce un impatto sull'ambiente, nonostante questa sia una delle forme di energia meno inquinanti. Infatti, non v'è modo di produrre o trasformare energia in una forma utilizzabile dall'uomo senza determinare un impatto sull'ambiente, diretto od indiretto e più o meno grande. [...]

Un importante aspetto, riguarda la previsione ed il controllo delle temperature e dello sviluppo delle *bolle di calore* nel sottosuolo a

seguito dell'istallazione di sonde geotermiche.

La modellazione matematica del flusso e trasporto di calore negli acquiferi, associata a quella per il dimensionamento degli impianti, può essere un utile strumento di pianificazione degli interventi permettendo di valutare l'impatto del sistema (aperto o chiuso) sulla falda, le temperature raggiunte a seguito della messa in opera del sistema geotermico, l'interferenza reciproca di più impianti situati nelle vicinanze nonché i tempi di recupero del sistema acquifero nel caso di fermo o dismissione dell'impianto.

Un esempio di modellazione idrogeologica dell'impatto di un sistema di sonde geotermiche a circolazione chiusa è presentato di seguito.

Il modello numerico di flusso è stato implementato mediante il codice di calcolo alle differenze finite Modflow 2000 (McDonald and Harbaugh, 1996), abbinato a MT3DMS (Zheng, 1990), programmi dedicati alla soluzione di problemi di flusso e trasporto 2D-3D in condizioni sature tra i più usati e affidabili nel campo dell'idrogeologia. Una volta ricostruito il modello concettuale e simulato con Modflow il campo di moto della falda, è stato possibile simulare il trasporto del calore nel tempo. In particolare sono stati simulati 2 anni di funzionamento dell'impianto termico suddivisi come segue:

Fase	T di immissione nelle sonde [°C]	Durata [giorni]
Raffreddamento estivo	37,1	90
Fermo impianto		45
Riscaldamento invernale	-1	180
Fermo impianto		45

Alcuni piezometri virtuali di osservazione sono stati posizionati nel modello al fine di valutare la temperatura in determinati punti di interesse. In particolare l'Obs1 si trova in mezzo al campo sonde, l'Obs2 subito a valle di questo l'Obs3 in linea con gli altri due e ad

www.engeology.eu

una distanza di circa 30 m dal confine del lotto (figura 2).

La figura 2 mostra, per la parte meno profonda del sottosuolo (layer1), gli output della simulazione del trasporto della temperatura in falda al termine dei primi 90 giorni di raffreddamento durante i quali è stata immessa acqua calda nelle sonde geotermiche. [...]

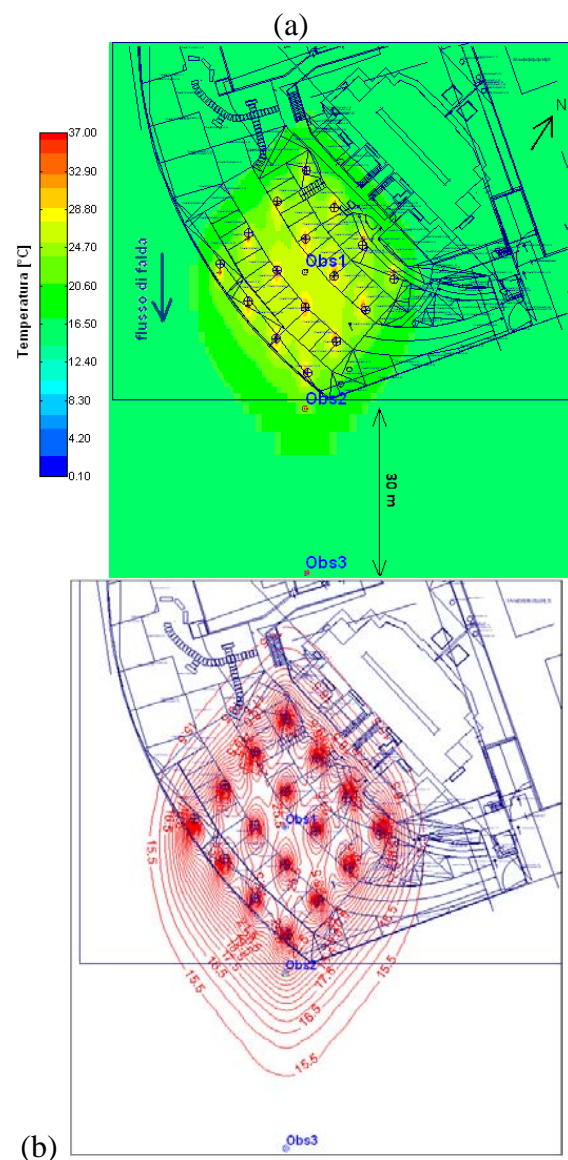


Figura 2: Risultati della fase di raffreddamento - color floods (a) e isolinee (b) di temperatura nel layer 1

La figura evidenzia come la variazione della temperatura in falda, generata dal funzionamento dell'impianto, si esaurisca

prevalentemente all'interno del campo sonde stesso.

I dati estratti dal modello nei punti di osservazione danno conferma di tale risultato: mentre all'interno del campo sonde la temperatura in falda oscilla tra i 4 °C e i 30 °C nel corso di un anno di funzionamento dell'impianto (figura 3) già nel punto di osservazione Obs2 la temperatura varia tra i 21 °C e i 12 °C. Nell'Obs3 si registra una variazione di soli 2°C (figura 3).

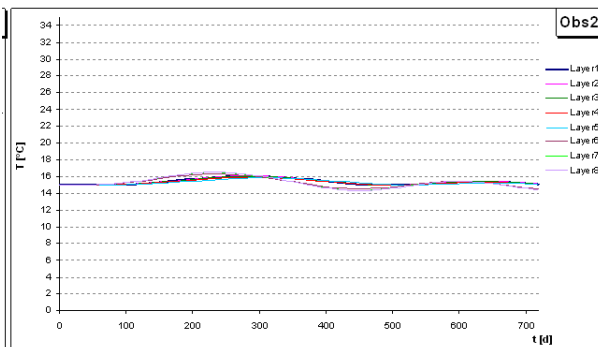
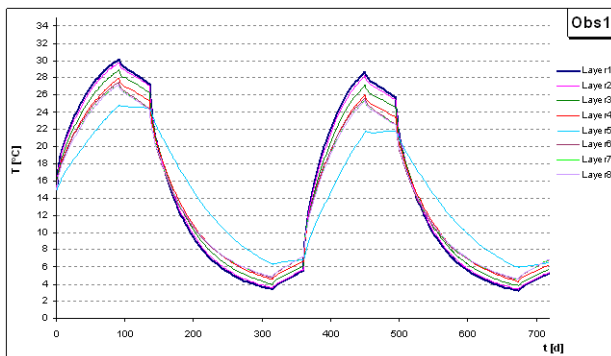


Figura 3: andamento della temperatura in falda, in corrispondenza dell'Obs1 e dell'Obs3, nel corso dei due anni simulati di funzionamento dell'impianto

Come si evince dai risultati sopra brevemente riportati, la simulazione matematica consente di prevedere l'evoluzione, l'estensione e i tempi di stabilizzazione della bolla di calore. Inoltre permette di valutare l'influenza tra una sonda ed un'altra e nel caso dell'esistenza di impianti diversi ravvicinati, le interferenze e sovrapposizioni di effetto che si possono generare. Questi risultati hanno un duplice interesse. Sotto il *profilo impiantistico-progettuale* consentono di ottimizzare il sistema valutando al meglio la geometria della disposizione delle sonde relativamente tra loro e in funzione della direzione di flusso di falda. Inoltre simulando l'effetto di più impianti è possibile compiere scelte progettuali che portino a minimizzare gli effetti di sovrapposizione negativa che potrebbero rendere meno efficienti i sistemi realizzati. Sotto il *profilo ambientale* consente di prevedere l'incremento di temperatura generato, eventuali effetti di congelamento della falda nell'intorno delle sonde e l'effetto di incremento esponenziale delle temperature che potrebbe essere causato dal sovrapporsi di più bolle di calore determinate da impianti progettati da soggetti diversi.

[...]

4 BIBLIOGRAFIA

Zheng C (1990) MT3D: A modular three-dimensional transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems. Report to the U.S. Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma.

McDonald M.G, Harbaugh A.W, (1996) Programmer's documentation for modflow-96, an update to the U.S. geological survey modular finite-difference groundwater flow model. U.S. Geol. Surv. Open File Rep. 96-486.