

Sonde geotermiche verticali: materiali di riempimento del perforo

Matteo Cultrera

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

Introduzione

Una sonda geotermica verticale (BHE, acronimo di Borehole Heat Exchanger) corrisponde ad una tubazione per lo scambio del calore con il sottosuolo, inserita all'interno di un foro lineare nel terreno; tale foro viene riempito con una miscela cementizia (boiacca), la quale deve sia favorire un adeguato scambio termico che isolare gli acquiferi intercettati. Tali miscele cementizie vengono talvolta definite come "geothermal grouting", nel caso siano specificatamente preparate per il riempimento dei perfori durante l'installazione di sonde geotermiche. Lo scambio del calore con il sottosuolo avviene attraverso un fluido termo-vettore, il quale scorre all'interno delle sonde geotermiche e deve garantire:

- efficiente capacità di scambio termico;
- viscosità e densità adeguate sia alla zona climatica che alla pompa di calore;
- minimo impatto ambientale in caso di percolazione nei terreni attraversati.

La profondità ed il diametro delle sonde geotermiche verticali dipendono da caso a caso, a seconda delle necessità logistiche (spazi disponibili, distanza tra sonde), dai sistemi geotermici intercettati (acquiferi, loro spessori, velocità del flusso delle acque sotterranee) e dai vincoli normativi

La fig. 1 vuole rappresentare una generalizzazione delle tipologie più diffuse di sonde geotermiche verticali.

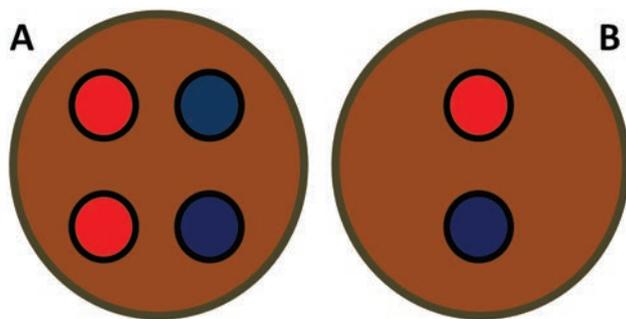


Fig.1: geometrie comunemente impiegate per la realizzazione di sonde geotermiche verticali: (A) doppia U o duplex; (B) singola U o simplex (B); in blu il tubo o collettore di andata, in rosso quello di ritorno. il riempimento del foro viene realizzato con miscele cementizie le quali devono garantire sia una adeguata conducibilità termica che un perfetto riempimento dei vuoti.

Sul mercato è disponibile un'ampia gamma di geometrie di BHE; la ricerca tecnologica è in tal senso estremamente vivace ed ogni giorno nuovi materiali, prodotti e soluzioni tecniche vedono la luce.

Grouting

Il *grouting* è la miscela di cemento, bentonite e additivi di varia composizione utilizzati per riempire e sigillare il perforo al termine delle operazioni di perforazione e di inserimento del BHE.

Si ritiene che in alcuni casi una messa in opera del *grouting* impropria può determinare la contaminazione degli acquiferi interessati dalle operazioni di perforazione.

Pertanto, relativamente alla sicurezza ambientale, tra le principali finalità per le quali è sempre richiesta una adeguata posa in opera del *grouting* si ricorda che esso:

1. Mantiene inalterate le condizioni qualitative, quantitative e le pressioni delle acque sotterranee.
2. Rappresenta una protezione degli acquiferi da eventuali sorgenti contaminanti superficiali o sub-superficiali;
3. Protegge le risorse potabili impedendo il movimento di fluidi tra acquiferi differenti.
4. Conserva le caratteristiche idrauliche della falda acquifera e fornisce un sigillo contro la perdita di pressione in acquiferi artesiani.
5. Protegge da corrosione nelle aree caratterizzate da terreni acidi o dove esistono altre condizioni corrosive.

Scambio termico del grouting

Il materiale di riempimento all'interno del foro di perforazione rappresenta un elemento fondamentale per un efficiente scambio termico tra le sonde geotermiche verticali ed il sistema geotermico circostante (sistema terreno+fluidi sotterranei); in taluni casi la scelta di una miscela non adeguata può inficiare l'intero impianto di scambio termico. Infatti il rendimento dei sistemi di pompe di calore geotermiche (Geothermal Heat Pump, GHP) dipende dall'efficienza con cui il calore viene trasferito nel sottosuolo.

Tali miscele presentano una conducibilità termica sufficiente a trasmettere il calore e generalmente tendono a deformazioni e talvolta rotture, soprattutto se in condizioni anidre. Le oscillazioni della superficie freatica possono influire negativamente sulle capacità degli scambiatori di calore nella loro capacità di svolgere adeguatamente il proprio ruolo.

In taluni casi è inoltre necessario evitare l'impiego di *grouting* dotato di elevata conducibilità termica, in quanto i campi termici generati attorno alle tubazioni dalle sonde verticali potrebbero interferire eccessivamente tra loro.

Gli effetti a lungo termine delle miscele cementizie vanno valutati considerando che la sonda geotermica all'interno del perforo presenta un'interazione con le formazioni geologiche circostanti indiretta, ovvero "mediata" dalla miscela cementizia stessa.

Il campo dello stress tensionale cui il materiale di riempimento è sottoposto è disomogeneo, anisotropo e spesso può differenziarsi anche lungo la verticale. Il *grouting* deve essere in grado di sostenere tale stress tensionale senza sviluppare rotture o fratture del *grouting* stesso. Inoltre il materiale di riempimento deve garantire lo scambio di calore tra le sonde e il mezzo geologico circostante. L'impiego di materiale di riempimento miscelato con sabbie di varia composizione mineralogica (principalmente quarzo) presenta una elevata capacità nel sopportare gli stress, come è stato dimostrato sia attraverso test in laboratorio che da test in situ.

Il trasferimento di calore all'interno di sonde geotermiche verticali è stato studiato nel dettaglio mediante modellazione numerica (Berndt, 2008).

La figura 2 presenta alcune sezioni di sonde verticali con una configurazione standard, utilizzando i parametri derivanti dagli studi di laboratorio. Tale figura rappresenta una semplificazione schematica del possibile regime termico all'interno di un BHE, in condizione di climatizzazione estiva ed invernale; il regime termico riprodotto è di tipo stazionario (*steady state*) per ciascuno dei due casi proposti.

Da questa analisi risulta evidente che il campo termico è disomogeneo; tale disomogeneità termica determina una

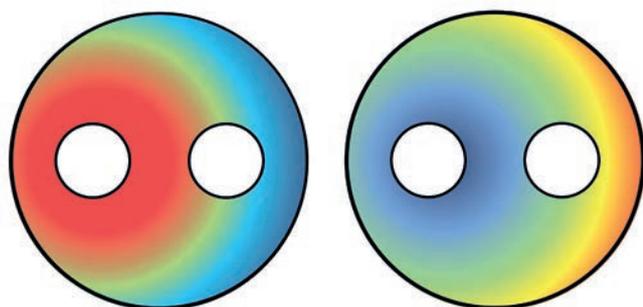


Fig.2: analisi semplificata della distribuzione delle temperature relative all'interno di un BHE in condizioni stazionarie. A sinistra la simulazione di un regime estivo con range di temperature comprese tra 28-36 °C; a destra condizione invernale, con temperature oscillanti tra i 1.6 ed i 5.8 °C. I colori caldi (rosso) rappresentano le temperature massime mentre quelli freddi quelle minime (blu).

conseguente risposta tensionale differenziale del materiale di riempimento del perforo; lo stress dovuto alle azioni di riscaldamento e raffreddamento è rappresentato dalle aree rosse di figura 3. Si precisa che anche all'interno di tali aree lo stress risulta disomogeneo, ma per semplicità espositiva si è preferito adottare una distribuzione cromatica uniforme. I risultati della modellazione illustrano che lo stress è principalmente compressivo per le condizioni termiche considerate e la rottura del materiale di riempimento è più probabile in tali aree.

Per sopperire a tali problematiche è quindi opportuno impiegare materiali di riempimento adatti al regime termico previsto, alle condizioni geologiche ed idrogeologiche e all'ambiente.

Tale scelta progettuale deve essere valutata preventivamente, al fine di garantire sia la massima efficienza del BHE, sia la salvaguardia dell'ambiente e degli acquiferi eventualmente intercettati dall'opera.

Si rimanda pertanto ad una attenta analisi delle schede tecniche che i diversi produttori di *grouting* offrono per il riempimento dei perfori.

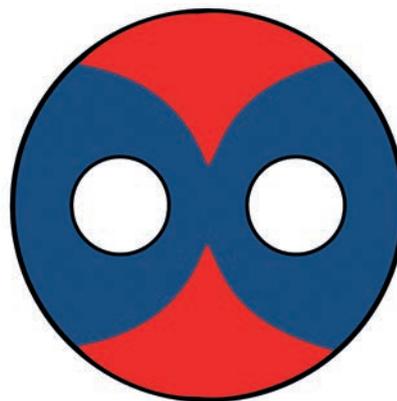


Fig.3: distribuzione delle principali aree di stress meccanico e termico.

BIBLIOGRAFIA

- Dehkordi S.E. & Schincariol R. A. (2013) - Effect of thermal-hydrogeological and borehole heat exchanger properties on performance and impact of vertical closed-loop geothermal heat pump systems - Hydrogeology Journal, 2013
- Berndt, M.L., Philippopoulos, A.J. (2008) - Improving the Performance of Geothermal Heat Pumps through Borehole Grout Materials - Australian Geothermal Energy Conference.
- Göran Hellström (2010)- Thermal performance of borehole heat exchangers.
- International Ground Source Heat Pump Association (IGSHPA) (2000) - Grouting for Vertical Geothermal Heat Pump Systems, Engineering Design and Field - Manual.
- Jaszczur M., Śliwa T. (2013) - The analysis of long-term borehole heat exchanger system exploitation - Computer Assisted Methods in Engineering and Science, 20: 227-235.
- Leea C., Parka M., Mina S., Kangb S., Sohnc B., Choi H. (2011) - Comparison of effective thermal conductivity in closed-loop vertical ground heat exchangers - Applied Thermal Engineering.
- National Ground Water Association Press (2009)- Guidelines for the Construction of Vertical Boreholes for Closed-Loops Heat Pump Systems - Second Edition, 2009; website: www.ngwa.org
- Zeng H., Diao N., Fang Z. (2003) - Heat transfer analysis of boreholes in vertical ground heat exchangers - International Journal of Heat and Mass Transfer.