

## Geotermia a bassa entalpia: sonde geotermiche verticali (SGV).

La Direzione Lavori geologica e geotermica a supporto della certificazione energetica degli edifici – Certificazione ESBE.

### *Low enthalpy geothermal energy: borehole heat exchangers (BHE).*

*Geological and geothermal supervision during active construction in support of the energy certification of buildings - ESBE certification plan.*

Cadrobbi L., Fioroni D., Bozzoli A.

**Riassunto:** Questo articolo proviene dall'esperienza maturata con incarichi di Progettazione, Direzione Lavori "DL" geologica e geotermica nell'area a bassa entalpia al fine di ottimizzare lo sfruttamento della risorsa geotermica locale per la copertura dei fabbisogni energetici dell'edificio a garanzia dell'investimento effettuato.

Durante il corso dei lavori di costruzione degli impianti geotermici a bassa entalpia, infatti, si assiste frequentemente a realizzazioni di progetti non compatibili con il modello geologico e geotermico locale che, se non adeguati in corso d'opera, possono compromettere il funzionamento dell'impianto realizzato e la successiva fase di esercizio.

A tal fine il metodo ESBE, nel rispetto delle normative ambientali vigenti ed ispirandosi alle norme tecniche di settore, consente di validare mediante verifiche, simulazioni e collaudi, il campo sonde geotermico di progetto, in modo oggettivo e standardizzato, inserendosi a supporto ed integrazione dei più aggiornati pro-

toccoli di certificazione energetica degli edifici (protocolli LEED 2010, CASACLIMA 2011, Direttiva UE 2010/31). La certificazione ESBE opera attraverso un apposito Ente Certificatore, rappresentato dall'Unità REET (Renewable Energies and Environmental Technologies) di FBK (Fondazione Bruno Kessler) di Trento.

I risultati ottenuti dall'applicazione del metodo ESBE a due casi reali di studio, riferiti a due impianti geotermici complessi, mostrano come tale protocollo sia in grado di garantire, oltre alla corretta esecuzione del campo sonde geotermico, l'effettiva copertura dei fabbisogni energetici dell'edificio adottando in corso d'opera le migliori misure di ottimizzazione delle sonde previste alle caratteristiche del modello geologico e geotermico locali.

**Abstract:** *This article draws on the experience matured while working with low-enthalpy geothermic installations both in the design and executive phase as well as ongoing monitoring, within the scope of energy conservation as it relates to building and construction. The goal is to illustrate the feasibility of adopting the ESBE certification protocol (Certification of Energy Efficient Low-Enthalpy Probes) aimed at optimizing the harnessing of local geothermic resources to satisfy the energy requirements of a building, measured against the initial investment.*

*It is often the case, in fact, that during the course of a construction project for a given low-enthalpy installation, we verify incompatibilities with the local geologic and geothermic models, which, if inadequate during construction, can compromise the proper functioning of the installation and its subsequent operation.*

*To this end, the ESBE method, which adheres to the governing environmental regulations, and which takes its cue from technical statutes within the sector, permits us to validate via verification, simulations and tests, the geothermic field probes used in construction in an objective and standardized manner, thereby joining and supporting the most recent protocols for energy certification of buildings (LEED 2010, CASACLIMA 2011, UE 20120/31 Directive). ESBE certification operates through a dedicated Certifying Entity represented by the REET unit (Renewable Energies and Environmental Technologies) of FBK (Bruno Kessler Foundation) of Trento. The results obtained by applying the ESBE method to two concrete cases, relative to two complex geothermic systems, demonstrate how this protocol is able to guarantee, beyond the correct execution in the field of geothermic probes, an effective coverage of the energy requirements of the building during construction adopting the best optimization measures for the probes in keeping with the local geological and geothermic model.*

**Parole chiave:** ESBE, geotermia a bassa entalpia, sonda geotermica verticale, direzione lavori geologica geotermica, efficienza geotermica.

**Keywords:** ESBE, low enthalpy geothermal energy, borehole heat exchanger, geological and geothermal supervision, efficiency of geothermal systems.

Lorenzo CADROBBI ✉

Daniele FIORONI

"Geologia Applicata" studio associato  
via del Teroldego, 1 - 38016 Mezzocorona (TN)  
Tel.0461/605904 - Fax.0461/606500  
lorenzocadrobbi@gmail.com  
danieleforoni@yahoo.it

Alessandro BOZZOLI

FBK (Fondazione Bruno Kessler) UNITÀ REET  
Centro per la Ricerca Scientifica e Tecnologica  
via alla Cascata, 56/c - 38123 Povo (TN)  
Tel.0461/314900 - Fax.0461/314930  
bozzoli@fbk.eu

Ricevuto: 10 luglio 2012 / Accettato: 12 ottobre 2012

Pubblicato online: 30 dicembre 2012

© Associazione Acque Sotterranee 2012

## Introduzione

Gli impianti geotermici a bassa entalpia rappresentano una proposta innovativa di risparmio energetico nel settore edilizio e delle costruzioni, che richiedono sul mercato standard elevati di certificazione degli impianti.

Attualmente i più diffusi protocolli di certificazione energetica degli edifici (LEED 2010, CASACLIMA 2011, Direttiva UE 2010/31) sottovalutano il ruolo dello sfruttamento del calore dal terreno, riconoscendo nell'installazione di impianti geotermici solamente un vantaggio in termini di maggiore rendimento energetico.

Inoltre, frequentemente si assiste a casi di realizzazioni con esito positivo ed a casi meno fortunati, fino a dei veri e propri fallimenti, legati essenzialmente ad incertezze non risolte inerenti la verifica esecutiva del modello geologico-geotermico e la non corretta posa in opera delle sonde di progetto. In tale quadro, i metodi di certificazione attuali, riferiti ai materiali per la realizzazione delle sonde geotermiche, alle pompe di calore ed al marchio di qualità delle ditte di perforazione, quest'ultimo introdotto in Svizzera già dal 2001 (*Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz FWS* 2007), consentono certamente una crescita progressiva nella qualità realizzativa degli impianti geotermici, ma possono non risultare sufficienti a garantire i fabbisogni energetici richiesti.

Il metodo ESBE (Certificazione Energetica di Efficienza di Sonde geotermiche a Bassa Entalpia) di seguito proposto, è finalizzato proprio ad eliminare tali incertezze esecutive, certificando, in modo oggettivo e standardizzato, il campo sonde geotermico di progetto durante le fasi realizzative dell'impianto, nel rispetto delle normative ambientali vigenti ed ispirandosi alle norme tecniche di settore tra cui le direttive tecniche tedesche VDI4640 (2001), le norme svizzere SIA D0136 (1996), le norme USA ASHRAE(1997), per la copertura dei fabbisogni energetici dell'edificio a garanzia dell'investimento effettuato.

Le modalità di certificazione dipendono dalla potenza e dalla complessità dell'impianto geotermico da realizzare. Il metodo ESBE definisce per il campo sonde certificato tre classi di efficienza energetica (E, EE, EEE) a cui corrispondono requisiti tecnico-normativi progressivamente più impegnativi, che devono essere verificati da tecnici abilitati mediante la compilazione del relativo modello di certificazione. Inoltre, per gli impianti di maggior rilievo, con l'adozione di un sistema di monitoraggio nel tempo del sistema di geoscambio, è previsto l'accreditamento delle ulteriori classi EE(+) ed EEE(+). Il modello di certificazione compilato, contenente in allegato tutta la documentazione richiesta, viene quindi inviata all'Ente Certificatore, rappresentato dall'Unità REET di FBK di Trento. L'Ente Certificatore, attraverso un Comitato Scientifico appositamente designato, valuta le pratiche ed emette la certificazione ESBE relativa alla differenti classi di efficienza energetica previste.

Con l'entrata in vigore del protocollo di certificazione ESBE, gli strumenti di pianificazione urbanistica (Piani Regolatori, Piani Urbanistici sovraordinati) potranno premiare la realizzazione di edifici dotati di sonde geotermiche certificate,

mediante l'elevazione puntuale dell'indice di fabbricabilità, altre forme di vantaggio urbanistico, benefici fiscali e contributi, con il grado progressivo previsto dalle classi di efficienza energetica E, EE, EEE. Come riflesso nel campo immobiliare, relativamente alla classificazione energetica degli edifici, il raggiungimento della certificazione ESBE può inoltre configurarsi come traguardo di un percorso di elevato standard di qualità e di risparmio energetico a garanzia dell'investimento.

La Fondazione Bruno Kessler, con più di 350 ricercatrici e ricercatori, svolge attività di ricerca nell'ambito di Materiali e Microsistemi. Nell'ambito di FBK, REET è l'unità che svolge attività di ricerca applicata per le energie rinnovabili e delle tecnologie ambientali. I progetti di ricerca sviluppati coinvolgono collaborazioni con aziende e centri di ricerca locali e internazionali. L'approccio dell'unità REET tiene in particolare considerazione l'integrazione di sistema e lo sfruttamento di più fonti rinnovabili (solare, biomassa, geotermia). Le potenzialità di questo approccio sono state riconosciute a livello europeo, determinando l'assegnazione di significativi finanziamenti al gruppo (come nel caso del progetto europeo DiGeSpO nell'ambito del solare termodinamico).

L'unità REET considera la geotermia a bassa entalpia una delle fonti rinnovabili più promettenti, come dimostrato dalla sua estesa applicazione in territorio svizzero.

REET ricopre il ruolo di Ente Certificatore per il metodo ESBE promuovendosi anche come Ente Gestore responsabile del monitoraggio nel tempo di impianti geotermici in fase di esercizio. In particolare, REET ha sviluppato un innovativo metodo di monitoraggio e controllo tuttora in fase di sperimentazione, che verrà adottato anche per il campo sonde in corso di certificazione per la classe ESBE EEE(+) del caso applicativo B di seguito trattato.

Le funzioni principali spettanti all'Ente Certificatore, oltre alla promozione della realizzazione di impianti geotermici a bassa entalpia certificati ESBE, attraverso workshop informativi e pubblicazioni, sono quelle di istituire un elenco di "tecnici abilitati ESBE" mediante corsi di formazione ed aggiornamento professionale, di raccogliere il dato scientifico proveniente dai lavori certificati e renderlo disponibile per la comunità scientifica.

Nella pratica usuale la progettazione delle sonde geotermiche viene guidata da una logica prettamente impiantistica e non legata all'effettiva interazione sonda-terreno. Dalle esperienze di cantiere effettuate, infatti, si sono evidenziati rilevanti potenzialità di miglioramento e di ottimizzazione in corso d'opera degli impianti geotermici, sia in termini di rendimento, che di dimensionamento (n. di sonde, profondità, tipologia di riempimento utilizzato).

Per tali ragioni, ai fini di conseguire gli obiettivi di standard elevato richiesti dalla certificazione ESBE, si rende necessario l'impiego di tecnici abilitati da corsi di formazione (geologi e ingegneri), in grado di soddisfare le richieste del protocollo di verifica e collaudo. Nel particolare, risulta di fondamentale importanza il ruolo della DL geologica e geotermica in corso d'opera e la si-

nergica collaborazione con il Progettista degli impianti per la verifica del modello geologico-geotermico di riferimento, mediante l'esecuzione di indagini (riscontri diretti, verifica della sequenza stratigrafica ed idrogeologica locale, *logs* termici in foro, prove GRT). Tali attività sono finalizzate al miglioramento delle modalità realizzative delle perforazioni e di posa in opera delle sonde geotermiche, all'ottimizzazione ed eventuale adeguamento, in collaborazione con il Progettista, delle previsioni progettuali alla reale situazione geologica locale rilevata in corso d'opera, sulla base dei risultati dei vari test di verifica e collaudo, in modo da garantire i fabbisogni energetici e l'efficienza del sistema di geoscambio nel medio-lungo periodo.

## Metodi

Per meglio comprendere i requisiti richiesti dalla certificazione ESBE, di seguito vengono descritti in dettaglio i contenuti del modello di certificazione della classe di efficienza energetica EEE, il più completo e complesso della gamma disponibile, che contiene tutti i passaggi tecnico-amministrativi previsti. I modelli delle classi inferiori possono essere compilati con maggior facilità, presentando rispettivamente requisiti meno stringenti, facendo specifico riferimento alle varie categorie di analisi, verifica e controlli previste per la rispettiva classe di certificazione. Tutti i modelli della certificazione ESBE, relativi alle differenti classi di efficienza energetica E, EE, EEE, sono disponibili online sul sito internet dell'Unità REET della fondazione FBK di Trento (<http://www.fbk.eu>).

Il modello di certificazione ESBE, relativo alla classe di efficienza energetica più completa EEE, richiede la compilazione dei dati del cantiere e delle caratteristiche principali dell'impianto geotermico per le categorie di seguito illustrate:

### 1 - Ammissibilità normativa e autorizzativa dell'impianto geotermico

Questo punto richiede l'esito positivo della verifica dell'ammissibilità normativa e autorizzativa dell'impianto geotermico nel sito di costruzione. In Italia le norme che determinano l'ammissibilità degli impianti geotermici a bassa entalpia sono di carattere provinciale o regionale. In funzione del territorio in cui si inserisce il progetto dell'impianto, il tecnico abilitato dovrà verificare le normative di settore qualora esistenti ed i vincoli vigenti, valutare l'ammissibilità dell'intervento nel sito previsto e soddisfare le richieste di documentazione degli Enti competenti, quali comunicazione/dichiarazione/studi specifici/relazioni tecniche.

A titolo di esempio, nel territorio della Provincia Autonoma di Trento, cui fanno riferimento i due casi applicativi di seguito illustrati, si richiede la verifica dei vincoli della "Carta delle limitazioni all'installazione di sonde geotermiche a circuito chiuso" del Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento, ai sensi della Deliberaz. della G.P. n. 320 di data 26/02/10 ed, inoltre, la dichiarazione di avvenuta comunicazione al Servizio Geologico ai sensi della Determinazione del Dirigente n.19 del 19/05/10.

### 2 - Classificazione della potenza dell'impianto geotermico

Al punto 2 si classifica la potenza dell'impianto, maggiore o minore della soglia dei 30KW. Tale suddivisione è finalizzata a definire, in funzione della potenza dell'impianto, l'approfondimento necessario delle indagini geologico-geotermiche (*logs* in foro, prove GRT). La certificazione ESBE nella classe di efficienza più bassa (E) consente, per il dimensionamento di impianti di potenza inferiore ai 30KW, di basarsi su valori tabellari, come da norma tedesca VDI 4640 (2001). Tale condizione non è invece ammessa per classi di certificazione superiori.

### 3 - Campo sonde pilota: prove GRT e logs in foro

Al punto 3 si richiede di elencare il numero delle prove GRT (Ground Response Test) e dei *logs* in foro effettuati ed i loro esiti. Al fine di soddisfare tale richiesta risulta necessario effettuare un "campo sonde pilota", cui farà seguito una dettagliata valutazione dei risultati ottenuti in corso d'opera rispetto a quelli stimati di progetto.

### 4 - Simulazioni con software di calcolo e conseguente adeguamento e ottimizzazione del dimensionamento del campo sonde geotermico

In funzione della valutazione di cui al punto 3, il punto 4 richiede di effettuare delle simulazioni, con software di calcolo, al fine di verificare che l'impianto di progetto, inserito nel modello geologico-geotermico verificato in corso d'opera, soddisfi i fabbisogni energetici richiesti. La scelta del software e del tipo di approccio di calcolo e simulazione devono essere commisurati all'importanza dell'opera. A tal riguardo si precisa che le verifiche devono far riferimento non solo alla potenza massima installata ma anche agli effettivi fabbisogni energetici con distribuzione mensile nel corso dell'anno, che devono essere stimati per garantire l'efficienza nel tempo del geoscambio.

In caso di verifica con esito negativo, dovrà essere progettata una nuova configurazione del sistema geotermico, adeguato ed ottimizzato, sulla base dei riscontri del campo sonde pilota, che rappresenterà il nuovo riferimento di progetto esecutivo da adottare.

### 5 - Verifiche in corso d'opera e collaudi tecnico-costruttivi

Il punto 5 entra nel merito delle verifiche e dei collaudi tecnico-costruttivi da effettuare in corso di realizzazione dell'impianto, facendo al riguardo riferimento alle specifiche costruttive di ANIPA (Chiarughi 2008).

**Fornitura di materiali in cantiere** (corredata da relative schede tecniche): nel caso di materiali diversi da quelli previsti in progetto si richiede copia del verbale di accettazione di tali materiali da parte del DL. Di particolare rilevanza risulta la richiesta della copia del verbale di accettazione da parte della DL dell'idoneità, dal punto di vista sia idrogeologico, sia della conduttività termica, delle miscele di riempimento (*grouting*) adottate.

**Metodi di perforazione:** si richiede di selezionare il metodo di perforazione utilizzato, a distruzione di nucleo o a carotaggio continuo, con diametro di perforazione che consenta la realizzazione di un'intercapedine utile tra sonde e parete del foro di spessore almeno pari a circa 30mm.

Nella sezione successiva sono richiesti i **dati stratigrafici ed idrogeologici principali** provenienti dalle perforazioni dalle eventuali altre indagini di carattere geologico, idrogeologico e geofisico, finalizzati alla caratterizzazione del volume significativo di terreno coinvolto nello scambio geotermico.

**Modalità di posa in opera:** si richiede la verifica in corso d'opera delle modalità di posa in opera ed iniezione delle sonde geotermiche conformemente ai tradizionali capitolati d'appalto, ovvero mediante l'adozione di metodi di iniezione e cementazione ottimizzati in fase esecutiva ed approvati dalla DL geologica e geotermica in corso d'opera.

Una volta terminate le lavorazioni di posa in opera, si rende necessario verificare la profondità, l'eventuale ostruzione (prova di flusso) e collaudare la tenuta idraulica (prova di tenuta) delle sonde realizzate.

**La profondità della sonda geotermica** viene misurata in cantiere calando all'interno delle tubazioni una semplice cordella metrica zavorrata.

**La prova di tenuta idraulica** viene eseguita con acqua per una durata non inferiore a 12 ore, con pressione di prova (P) non superiore a 1.5 volte quella di esercizio, comunque non inferiore a 4.5 bar, eseguita mediante l'utilizzo di un manometro registratore dedicato e valvola idraulica di massima pressione tarata sulla pressione nominale del tubo dedotta del carico idrostatico a fondo sonda. La prova di tenuta risulta positiva con una tolleranza sulla diminuzione di pressione pari a 0.5bar. In caso di esito negativo della prova di tenuta la sonda testata andrà cementata e dismessa.

**La prova di flusso** viene eseguita semplicemente immettendo acqua nel circuito aperto al solo fine di verificare la presenza di eventuali ostruzioni del tubo.

## **6 - Eventuali misure di compensazione per l'ottimizzazione del campo sonde geotermico dimensionato come indicato al punto 4**

Nel caso venissero accertate, durante le verifiche ed i collaudi previsti al punto 5, profondità delle sonde inferiori a quelle previste, eventuali ostruzioni, o danneggiamenti (rottture), si dovranno adottare opportune misure di compensazione nella nuova configurazione di progetto del campo sonde, al fine di garantire la corretta esecuzione del dimensionamento verificato.

## **7 - Produzione energie rinnovabili**

Al fine dell'accreditamento certificato della classe di efficienza **EEE**, si richiede al punto 7 che l'edificio di progetto sia dotato di impianti di produzione di energie rinnovabili, capaci di compensare completamente il consumo medio annuo del sistema di pompe di calore dell'impianto geotermico. In caso di risposta negativa decade la classe **EEE**.

## **8 - Monitoraggio nel tempo del modello di geoscambio (eventuale)**

Al fine dell'eventuale accreditamento certificato della classe di efficienza individuata dal segno + (es: **EEE+**), si richiede al punto 8 che l'impianto sia dotato di dispositivi per il monitoraggio e controllo nel tempo del modello di geoscambio e della risposta termica con impianto in esercizio (M.Menichetti, A.Renzulli, 2009). In questo caso dovrà essere incaricato un Ente gestore e responsabile del monitoraggio.

## **9 - Idoneità tecnico-normativa per la certificazione energetica ESBE classe EEE**

Il punto 9 chiude il modello di certificazione e contiene una serie di dichiarazioni finali da parte dei tecnici abilitati, quali il geologo incaricato, il Direttore dei Lavori ed il Progettista, che attestano l'idoneità tecnico-normativa per la certificazione ESBE, in questo caso per la classe **EEE**.

Raccolta tutta la documentazione e le dichiarazioni sopra indicate, l'Ente certificatore emette la certificazione energetica ESBE assegnando la classe accreditata di efficienza energetica, riferita al campo sonde geotermico realizzato e collaudato nell'ambito dell'opera in esame.

## **Presentazione e discussione dei risultati dei casi applicativi**

Il protocollo di certificazione ESBE, secondo le modalità indicate al capitolo precedente, viene ora applicato a titolo esemplificativo a due casi reali di studio, riferiti a due rilevanti campi di sonde geotermiche verticali (SGV) realizzati per opere pubbliche nella provincia di Trento nel corso degli ultimi anni. Nei due casi trattati si entra nel merito delle problematiche affrontate in corso d'opera per la realizzazione del campo sonde geotermico e si sviluppano le tematiche di maggiore rilevanza ai fini del conseguimento positivo della certificazione ESBE.

Si tratta, nel particolare, degli impianti geotermici realizzati rispettivamente per il nuovo studentato universitario di Trento a S. Bartolomeo (CASO A: potenza di progetto 600KW e 8.000m di SGV) e per la nuova rimessa bimodale della linea ferroviaria Trento-Malè a Croviana (TN) (CASO B: potenza di progetto 200KW e 5.000m ca. di SGV), vedi Fig.1.

In entrambi i casi, vista la rilevanza della potenza dell'impianto prevista, è stato realizzato un "campo sonde pilota", preventivo alla realizzazione delle sonde di progetto, finalizzato alla verifica del modello geologico-geotermico locale ed alla misura dell'effettiva risposta geotermica in funzione delle possibili profondità di sfruttamento (verifica della sequenza stratigrafica ed idrogeologica locale, logs in foro e prove GRT).

I risultati ottenuti nei due casi trattati di seguito hanno validato l'efficacia del metodo di certificazione ESBE nel far emergere le problematiche realizzative delle sonde geotermiche e nel condurre, tramite protocollo standardizzato, alle migliori soluzioni esecutive al fine di garantire i fabbisogni energetici degli edifici.



Fig. 1 - Area di studio.

Fig. 1 - Study area.

### CASO A – studenato S.Bartolomeo (600KW, 8.000m di SGV)

Il progetto esecutivo prevedeva la realizzazione di n.80 sonde geotermiche verticali di 100m di profondità ciascuna, per complessivi 8.000m, per una potenza complessiva dell'impianto geotermico pari a 600KW. Per questo impianto è sta-

to realizzato un campo sonde pilota costituito da n.8 SGV, realizzate con tubi a doppia U Diam.=32mm, di profondità variabili tra 100 e 150m dal p.c., posizionate in modo da verificare, mediante *logs* in foro e prove GRT, la misura della temperatura con la profondità e della conduttività termica ( $\lambda$ ) delle differenti porzioni di area di cantiere ritenute eterogenee dal punto di vista stratigrafico-idrogeologico e geotermico. Si trattava, infatti, di un piano campagna impostato in roccia sulla Formazione di Werfen, tra i calcari marnosi e le calcareniti bioclastiche giallastre del Membro di Val Badia ed i calcari grigio-marroni dei Membri di Tesero e Mazzin, in contatto tettonico per faglia.

Le sonde pilota sono state realizzate con differenti metodi di perforazione a distruzione di nucleo (aria compressa, acqua e polimero), testando anche differenti tipologie commerciali di materiali di riempimento del foro (*grouting*), al fine di individuare la migliore soluzione esecutiva da adottare in corso d'opera per adeguare ed ottimizzare il campo geotermico previsto in progetto.

I risultati ottenuti sono riportati nella Tab.1 ed in Fig.2.

### Analisi dei risultati

La conduttività termica del terreno ( $\lambda$ ) misurata nelle prove GRT presenta generalmente valori molto elevati, sempre superiori a 3.0W/mK, a fronte di una resistenza termica che si mantiene in una range 0.07-0.09Km/W. Il *log* di temperatura mostra la presenza di una "neutral zone" compresa tra i 50 ed i 100 m di profondità dal p.c., oltre la quale la temperatura tende a salire secondo un gradiente geotermico medio prossimo a  $\nabla = +1,4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . Avvicinandosi alla zona di faglia individuata (Tab.1 zona nord), si segnala una tendenza all'aumento dei valori di conduttività termica, fino a valori di picco pari a

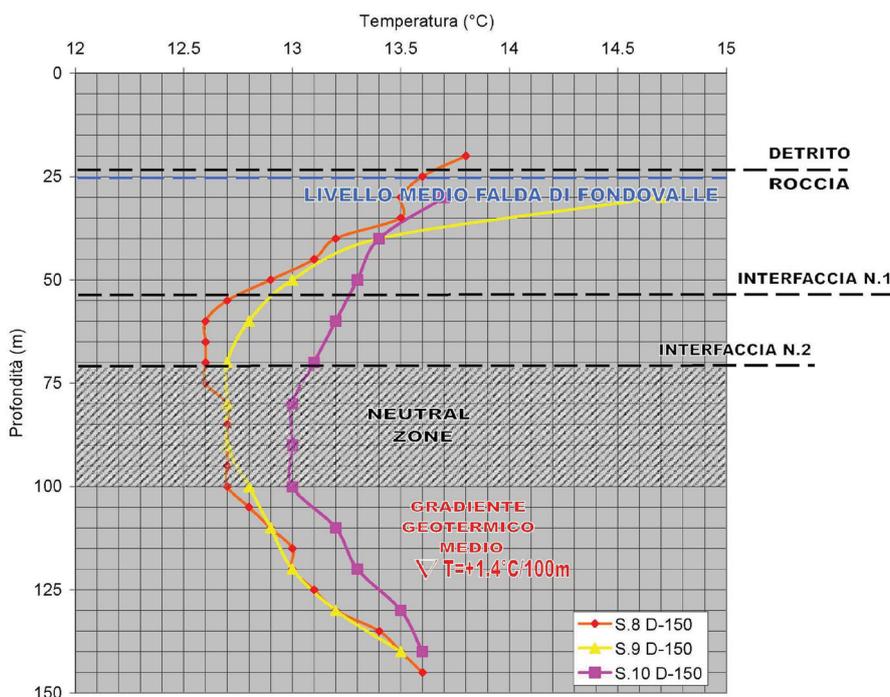


Fig. 2 - Caso A, modello geologico-geotermico.

Fig. 2 - Case A, geological and geothermal model.

Tab. 1 - Caso A, prove GRT.

Tab. 1 - Case A, Test GRT.

ZONA DI CANTIERE	Denominazione sonda-profondità (m)	Materiale di riempimento ( <i>grouting</i> )	Conducibilità termica ( $\lambda$ ) [W/mK]	Resistenza termica [Km/W]
ZONA NORD [46°02'48"N 11°07'58"E]	1-A-100	TIPO 1	3.22	0.09
	2-A-150	TIPO 1	3.31	0.09
	3-B-100	TIPO 2	3.13	0.08
	4-B-150	TIPO 2	4.70	0.07
	5-C-100	TIPO 1	3.07	0.09
ZONA SUD [46°02'45"N 11°07'58"E]	6-B-150	TIPO 2	4.05	0.07
	7-D-150	TIPO 1 dal fondo fino a circa -40m dal p.c.; TIPO 2 per la chiusura superficiale del foro.	3.70	0.07
	8-D-150	TIPO 1 dal fondo fino a circa -40m dal p.c.; TIPO 2 per la chiusura superficiale del foro.	3.64	0.07

TIPO 1 = materiale di riempimento commerciale premiscelato costituito da bentonite, leganti minerali cementizi ed altri composti minori ( $\lambda=2\text{W/mK}$ );  
 TIPO 2 = materiale di riempimento commerciale premiscelato costituito da bentonite, cemento da alti forni e sabbia quarzosa fine ( $\lambda=2\text{W/mK}$ );  
 A = perforazione ad aria compressa e *grouting* tipo 1;  
 B = perforazione ad aria compressa e *grouting* tipo 2;  
 C = perforazione ad acqua e polimero con tricorno e *grouting* tipo 2;  
 D = perforazione ad aria compressa e *grouting* eterogeneo: tipo 1 dal fondo (da -150m fino a circa -40m); tipo 2 per la chiusura superficiale del foro.

100-150 = indica la profondità in metri dal p.c. della sonda geotermica verticale (SGV).

$\lambda=4.7\text{W/mK}$ , per effetto probabilmente dell'intensificarsi del grado di fratturazione della roccia e del conseguente aumento della conducibilità idraulica dell'ammasso.

Entrando nel particolare della sensitività del dato, rispetto alle variabili legate al metodo di perforazione ed al tipo di materiale di riempimento utilizzato, è possibile riportare le seguenti considerazioni di merito.

Il **metodo di perforazione** a rotazione ad acqua e polimero con tricorno, che viene normalmente adottata nell'esecuzione delle sonde geotermiche verticali, risulta la migliore tecnica al fine del contenimento dei volumi di riempimento dei fori e del minimo disturbo del terreno perforato ma, come emerge dai dati provenienti dalla sonda 5-C-100 (Tab.1), tale tecnica, a parità di altri parametri, non ha portato benefici sulla capacità di scambio geotermico, determinando i minimi valori di conducibilità ed i massimi valori di resistività misurati. Infatti, in un mezzo roccioso intensamente fratturato ed aperto con circolazione d'acqua, come quello caratterizzante il modello geologico-geotermico in esame, il miglior metodo di perforazione, per l'intervento in esame, risulta quello ad aria compressa, dove il maggior disturbo arrecato al foro determina localmente il dilavamento e l'apertura delle fessure dell'ammasso e favorisce la circolazione dell'acqua, con un sensibile contributo positivo della convezione sul processo di scambio termico.

Per quanto riguarda i **materiali di riempimento** dei fori di sonda (*grouting*), sono state utilizzate due miscele com-

merciali, costituite da materiali premiscelati a base bentonitica, entrambe con conducibilità termica dichiarata pari a circa  $2.0\text{W/mK}$ , denominati di seguito materiali tipo 1 e tipo 2 (Tab.1). I test GRT non hanno mostrato una diretta correlazione tra il valore di conducibilità termica e l'adozione dell'uno o dell'altro prodotto, dove le condizioni geologiche locali e le eventuali difficoltà riscontrate nelle lavorazioni di perforazione del foro incidono in modo prevalente sulla maggior o minor efficacia del riempimento in termini di scambio termico. D'altra parte è possibile notare come il prodotto tipo 2 mostri in tutti i casi testati una riduzione dei valori di resistenza termica (pari a  $0.07\text{Km/W}$  per le sonde da 150m) rispetto a quelli ottenuti con il tipo 1 (variabile  $0.07-0.09\text{Km/W}$ ), a netto vantaggio dello scambio termico tra sonda e terreno, molto probabilmente favorito dalle proprietà ottimizzate della miscela in termini di viscosità e di ritiro una volta iniettata, grazie alla presenza di inerte quarzoso, che ne evita il trascinarsi da parte delle acque di circolazione. A sostegno di quanto sopra, in Fig.3 viene illustrato lo stato fessurativo indotto dal fenomeno di ritiro plastico, a seguito della perdita di acqua dopo circa 7 giorni, operante su campione ricostruito in ambiente confinato in laboratorio geotecnico riferito alle due miscele esaminate. Risultano evidenti le migliori condizioni di tenuta del materiale tipo 2 in raffronto allo stato di fessurazione cui è sottoposta la miscela tipo 1 a parità di tempo di presa. I dati sono correlati anche ad un altro prodotto premiscelato, denominato materiale tipo 3,

caratterizzato da una miscela calce-cemento non bentonitica con conduttività termica dichiarata pari a circa 2.3W/mK. I test effettuati nei campi sonde pilota dei casi di studio A e B, iniettate con le differenti tipologie di materiali di riempimento, sembrano confermare la tendenza alla diminuzione dei valori di resistenza termica delle sonde ( $R_b$ ) con la diminuzione della frazione bentonitica della miscela e con l'arricchimento in frazione quarzosa, cui corrisponde un aumento della velocità di presa della stessa.

Accertata l'efficacia del metodo costruttivo delle sonde geotermiche, è stata condotta, con l'utilizzo del simulatore di calcolo EED 3.0 (Blocon et alii, 2008), la **verifica di sostenibilità energetica** di una nuova configurazione del campo sonde adeguata ed ottimizzata in corso d'opera, prevedendo l'approfondimento degli scambiatori fino a 150m di profondità, con il conseguente beneficio dell'aumento dell'interdistanza tra le sonde da  $I_p=6.5-7.0m$  (interdistanza di progetto) a  $I_A=10.0m$  (interdistanza adottata). Grazie al favorevole modello geologico-geotermico locale, infatti, le simulazioni hanno verificato la possibilità di operare una riduzione, dell'ordine del 10÷15%, della lunghezza complessiva delle sonde geotermiche previste in progetto, garantendo al contempo la copertura dei fabbisogni energetici dell'edificio nel medio-lungo termine, sviluppando una potenza specifica pari a 66.7W/m.

Il dimensionamento adeguato in corso d'opera è risultato essere migliorativo rispetto alla configurazione di progetto anche sotto il profilo della sostenibilità energetica nel medio-lungo termine e l'efficacia di tale ottimizzazione è quantificabile in termini di aumento della temperatura del fluidovettore (miscela acqua e glicole monopropilenico al 25%) in condizioni di esercizio dell'impianto geotermico simulato nel medio-

lungo periodo (Fig.4).

Le verifiche ed i collaudi effettuati secondo il protocollo ESBE hanno accertato la generale corretta posa in opera del campo sonde, evidenziando d'altra parte la necessità dell'adozione di ulteriori, sebbene contenute, misure di compensazione, finalizzate a garantire l'esecuzione a regola d'arte. Si è potuto verificare, infatti, la presenza di una sonda corta ( $L=80m$  circa), per ragioni legate all'incagliamento delle tubazioni ad doppio U, per franamento del foro durante la calata dall'alto, ed alla conseguente impossibilità operativa di approfondimento o di estrazione della sonda dal foro, cui ha fatto seguito la realizzazione di una nuova sonda geotermica verticale.

### Conclusioni e certificazione finale

I risultati molto positivi provenienti dal campo sonde pilota hanno consentito di adottare una nuova configurazione del campo sonde geotermico, in grado di massimizzare il volume elementare di geoscambio disponibile *REV (Representative Elementary Volume)* e di evitare possibili interferenze termiche negative nel medio-lungo periodo, dettate dalla eccessiva vicinanza tra i singoli scambiatori vista l'ottima conduttività termica dei terreni attraversati.

Alla luce dell'esito positivo dei rilievi, delle simulazioni, delle verifiche e dei collaudi, compilato con successo il protocollo ESBE come da modello riportato nel sito internet <http://www.fbk.eu>, tenuto conto che il progetto dell'opera non prevede un sistema di monitoraggio nel tempo dell'impianto geotermico e non prevede l'installazione di impianti di produzione di energie rinnovabili, l'Ente preposto può emettere il certificato ESBE per la classe di efficienza energetica EE.

### FENOMENO DI RITIRO dopo 7giorni (su campioni ricostruiti in ambiente confinato in laboratorio geotecnico).

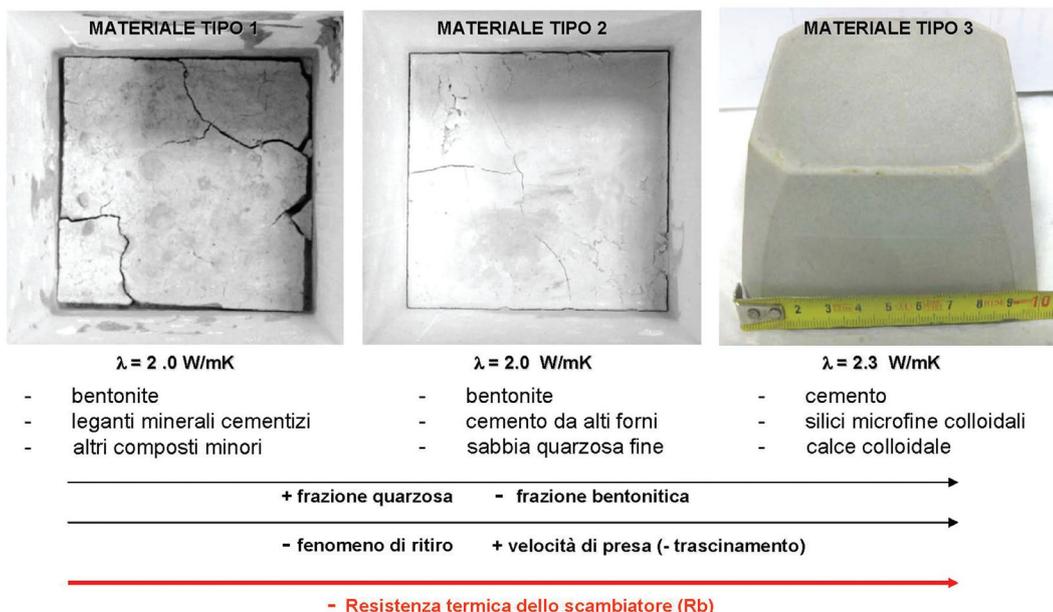


Fig. 3 - Caso A, modello geologico-geotermico.

Fig. 3 - Case A, geological and geothermal model.

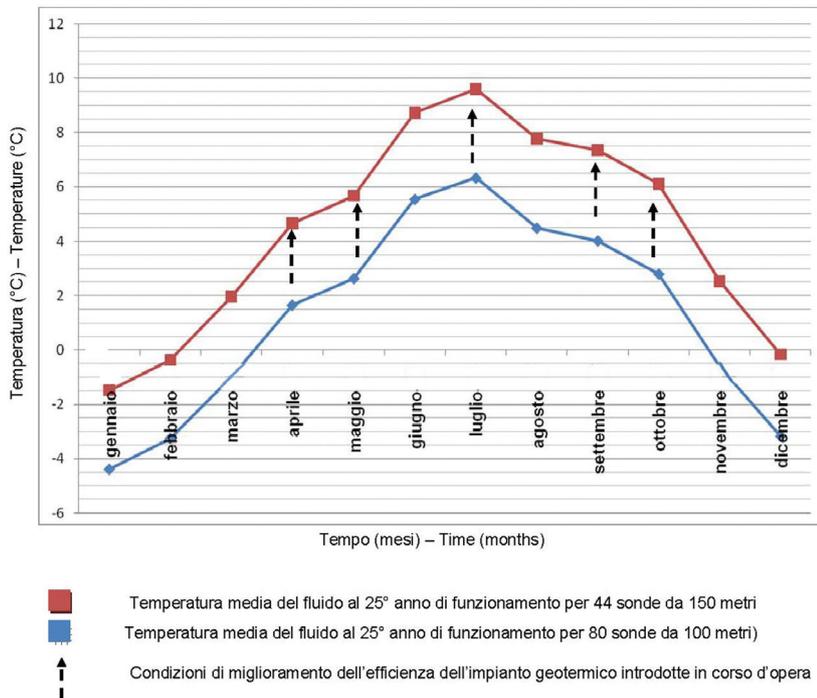


Fig. 4 - Caso A, temperature (25° anno).

Fig. 4 - Case A, temperature (25th year).

### CASO B – rimessa bimodale Croviana (200KW, 5.000m ca. di SGV)

Il progetto esecutivo prevedeva la realizzazione di 70 sonde geotermiche verticali di 70m di profondità ciascuna, per complessivi 4.900m, per una potenza complessiva dell'impianto geotermico pari a 200KW. Il cantiere del caso in esame risulta ancora in essere ed il campo geotermico deve ancora essere posato in opera. Ad oggi sono stati effettuati il campo sonde pilota e le simulazioni di calcolo, conformemente a quanto richiesto dal protocollo ESBE.

La generale condizione di omogeneità della sequenza stratigrafica locale (limi e sabbie di origine fluvio-lacustre, sature, di spessore pari a circa 70m, soprastanti depositi di origine fluvioglaciale) e delle caratteristiche idrogeologiche di filtrazione della falda, individuata a partire da 5 m circa di profondità dal p.c., non richiedeva particolari approfondimenti nell'ambito dell'area di cantiere. L'unica incertezza era legata alla presenza di una possibile circolazione idrica profonda, all'interno di materiali di origine fluvioglaciale, probabilmente condizionata da oscillazioni di temperatura stagionali non trascurabili, legate a contributi di alimentazione da parte di acque fredde di fusione delle nevi, presunta in sede di studio geologico preliminare e successivamente verificata in corso d'opera a partire da 70m di profondità (Fig. 5). Per tali ragioni, il campo pilota si componeva di n.2 SGV, realizzate con tubi a doppia U diam.=32mm, di profondità variabili tra 70 e 125m dal p.c. in modo da verificare, mediante logs in foro e prove GRT, la misura della temperatura e della conducibilità termica con la profondità ed individuare la migliore soluzione di sfruttamento della risorsa geotermica a bassa entalpia (Tab.2). La miscela di riempimento adottata per l'iniezione delle sonde era quella del tipo 3 indicata in Fig. 3 (miscela calce-cemento non bentonitica).

### Analisi dei risultati

Il log termico, effettuato con sonda termometrica calata direttamente nel tubo delle sonde geotermiche, mediante letture puntuali eseguite con passo di 5m di profondità ad avvenuta stabilizzazione termica dello scambiatore, ha confermato il modello geotermico di previsione, in cui si registra un abbassamento di temperatura a partire da una quota pari a circa 70m dal p.c., secondo un gradiente geotermico medio prossimo a  $\nabla = -1,0^\circ\text{C}/100\text{m}$  (Fig. 5). I dati forniti dall'esecuzione delle prove GRT del campo pilota hanno registrato valori di conducibilità termica pari a circa  $\lambda_{125\text{m}} = 2.17\text{W/mK}$  e  $\lambda_{70\text{m}} = 2.12\text{W/mK}$  (Tab. 2). In termini assoluti tale dato è migliorativo rispetto alla stima cautelativa di progetto ( $\lambda = 1.8\text{W/mK}$ ). D'altra parte, i valori di  $\lambda$  misurati non presentano variabilità di rilievo con la profondità, dimostrando che, con l'approfondimento delle sonde oltre i 70m dal p.c., si assiste ad una "compensazione" tra l'abbassamento della temperatura del terreno e l'atteso aumento di conducibilità termica.

Sulla base di tali risultati appaiono fattibili ed equivalenti l'ipotesi di progetto e quella relativa ad un eventuale approfondimento del campo sonde.

In corso d'opera sono intervenute esigenze di cantiere per cui il campo geotermico di progetto, previsto all'interno dell'impronta del nuovo edificio, doveva essere riposizionato completamente all'esterno dello stesso. Qui, all'interno della ristretta area esterna a disposizione, è stata concepita una nuova distribuzione del campo sonde adeguata in corso d'opera, che prevede la realizzazione di SGV di lunghezza pari 125m con interdistanza  $I = 9.0\text{m}$  in modo da massimizzare, come per il caso A, il volume elementare di geoscambio disponibile REV (Representative Elementary Volume).

D'altra parte, la verifica di sostenibilità energetica richiesta dal protocollo ESBE per la nuova configurazione del campo

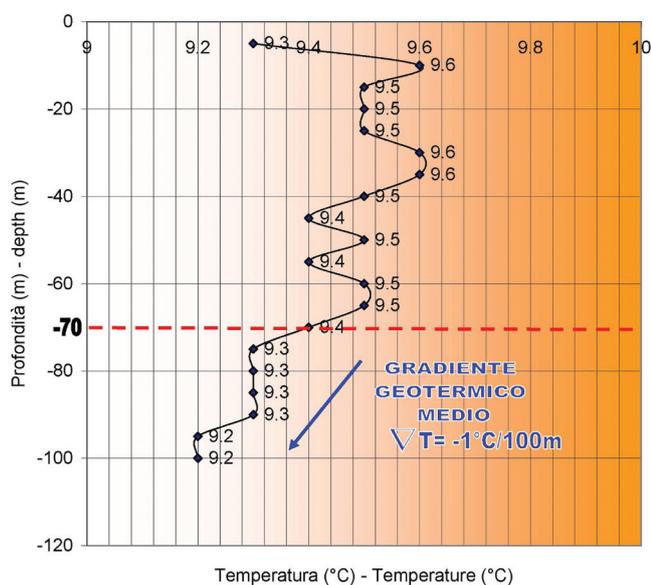


Fig. 5 - Caso B, modello geologico-geotermico.

Fig. 5 - Case B, geological and geothermal model.

sonde, effettuata con simulatore di calcolo EED 3.0 (Blocon et alii, 2008), sulla base di un modello geologico-geotermico di per sé poco favorevole al geoscambio e dei valori di conduttività e resistenza termica effettivi misurati in corso d'opera, ha evidenziato una **leggera sofferenza del campo geotermico simulato**, in virtù di un dimensionamento che necessitava di essere di poco aumentato (circa +5%), al fine di soddisfare i fabbisogni energetici dell'edificio nel medio-lungo termine, con una potenza specifica pari a 29.0W/m. Anche nel caso B l'efficacia dell'ottimizzazione operata in corso d'opera è quantificabile in termini di aumento della temperatura del fluido-vettore in condizioni di esercizio dell'impianto geotermico nel medio-lungo periodo (Fig.6).

Le verifiche ed i collaudi, che saranno prossimamente effettuati secondo il protocollo ESBE, avranno il compito di accertare la corretta posa in opera del campo sonde simulato e di adottare eventualmente le necessarie misure correttive ammesse dal protocollo di certificazione.

## Conclusioni e certificazione finale

La verifica del modello geologico-geotermico locale e le simulazioni condotte in corso d'opera, sulla base dei risultati ottenuti dal campo sonde pilota, hanno consentito di ottimizzare la configurazione delle sonde geotermiche conformemente alle caratteristiche di bassa potenzialità di sfruttamento geotermico del sito di costruzione. Inoltre, l'adozione di un dispositivo per il monitoraggio nel tempo del modello di geoscambio del campo sonde con impianto in esercizio, sviluppato dall'Unità REET di FBK e in fase di sperimentazione, si pone come ulteriore strumento di controllo dell'efficacia dell'intervento realizzato nel garantire i fabbisogni energetici dell'edificio.

Verificati tutti i requisiti tecnico-amministrati richiesti dalla certificazione ESBE, tenuto conto che la nuova configurazione del campo sonde geotermico comprende un sistema di monitoraggio nel tempo e che il progetto dell'opera prevede anche l'installazione di un impianto fotovoltaico per la produzione di energie rinnovabili in grado di compensare il consumo energetico del sistema di pompe di calore, l'Ente preposto potrà quindi emettere il **certificato ESBE per la classe di efficienza energetica EEE(+)**.

## Conclusioni

Il protocollo di certificazione ESBE è concepito in modo da garantire la corretta esecuzione delle sonde geotermiche a bassa entalpia e l'effettiva copertura dei fabbisogni energetici dell'edificio a garanzia dell'investimento effettuato.

L'applicazione di tale protocollo ai due casi di studio trattati (caso A e caso B) ha condotto all'individuazione delle principali problematiche che caratterizzano le fasi di posa in opera delle sonde ed alla loro soluzione esecutiva. Inoltre, le misure di ottimizzazione adottate in corso d'opera, compatibilmente alle caratteristiche del modello geologico e geotermico locale individuato, hanno condotto, con il supporto di verifiche, controlli, simulazioni di calcolo e collaudi finali, al conseguimento positivo delle migliori classi di efficienza ESBE previste per la tipologia di impianto installata, rispettivamente EE ed EEE(+).

Nel particolare, il raffronto dei valori delle potenze specifiche relative alla resa degli impianti dei casi A e B, rispettiva-

Tab. 2 - Caso B, prove GRT.

Tab. 2 - Case B, Test GRT.

ZONA DI CANTIERE	Denominazione sonda-profondità (m)	Materiale di riempimento ( <i>grouting</i> )	Conduttività termica ( $\lambda$ ) [W/mK]	Resistenza termica [Km/W]
[46°20'43"N 10°54'35"E]	1-A-125	TIPO 3	2.17	0.08
	2-A-70	TIPO 3	2.12	0.07

TIPO 3 = materiale di riempimento commerciale premiscelato costituito da cemento, silici microfine colloidali, calce colloidale ( $\lambda=2.3$ W/mK);  
 A = perforazione ad aria compressa e *grouting* tipo 3;  
 70-125 = indica la profondità in metri dal p.c. della sonda geotermica verticale (SGV).

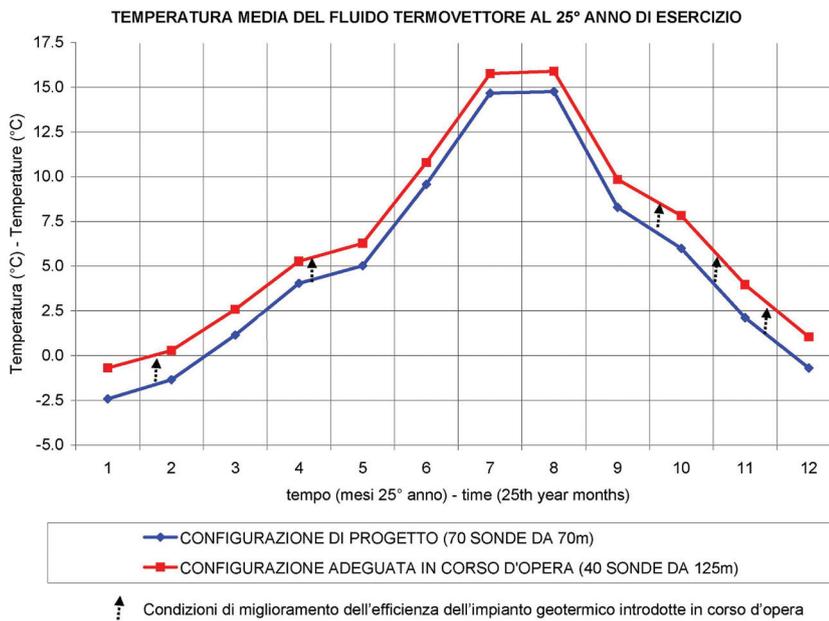


Fig. 6 - Caso B, temperature (25°anno).

Fig. 6 - Case B, temperature (25th year).

mente 66.7KW/m e 29.0KW/m, offre un interessante spunto di riflessione sull'elevata eterogeneità delle effettive potenzialità di sfruttamento del calore dal terreno in funzione del sito individuato e sulla conseguente inderogabilità dello studio del modello geologico-geotermico locale a supporto delle fasi di progettazione e di realizzazione di sonde geotermiche a bassa entalpia, cardine del metodo di certificazione ESBE.

Inoltre, in un'ottica di più ampio respiro, in cui operano le attività di ricerca applicata per le energie rinnovabili, trova particolare rilevanza il ruolo assunto dall'Ente Certificatore ESBE (Unità REET di FBK) nell'acquisire, gestire e divulgare il dato scientifico, proveniente dai lavori di realizzazione e dai monitoraggi di impianti geotermici certificati esistenti sul territorio. In tale ambito, la creazione di un database geografico (GIS) potrà favorire lo sviluppo di studi e cartografie tematiche sulla potenzialità dello sfruttamento geotermico a scala regionale aggiornati nel tempo.

**Ringraziamenti:** Si ringraziano l'impresa CLE di Bolzano e l'Opera Univesitaria di Trento per la disponibilità all'utilizzo dei dati scientifici del cantiere per la realizzazione dello studentato di S.Bartolomeo di Trento.

Si ringrazia la Trentino Trasporti SpA di Trento per la disponibilità all'utilizzo dei dati scientifici del cantiere per la realizzazione della rimessa bimodale di Croviana (TN).

## Bibliografia

- Blocon T.B., Claesson J., Eskilson P., Hellström G., Sanner B. (2008) Earth Energy Designer 3.0.
- CasaClima KlimaHaus (2011) - Direttiva Tecnica CasaClima ver 1.3 "Technical Directive ClimateHouse 1.3". <http://www.agenziacasaclima.it>. Citato 15 ottobre 2012.
- Chiarughi S. (2008) - Specifiche tecniche per la costruzione delle sonde geotermiche e la salvaguardia delle falde acquifere elaborate da ANIPA "Technical note for the construction of geothermal probes and protection of aquifers, by ANIPA". Acque Sotterranee 114: 40,41.
- Direttiva 2010/31 UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19/05/2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (rifusione) "EU Directive 2010/31 (05/19/2010) of the European Parliament and of Council, on the energy performance of buildings (recast)". GU UE 18/06/10.
- Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz FWS (2007) – Gütesiegel für Erdwärmesonden - Bohrfirmen – Reglement ver 25. Oktober 2007.<http://www.gsp-si.ch>. Citato 15 ottobre 2012
- Green Building Council Italia e U.S. Green Building Council (2010) Manuale LEED 2009 Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni "LEED Guide, 2009, Italy. New construction and renovation". <http://www.gbciitalia.org>. Citato 15 ottobre 2012.
- Kavanaugh S.P., Rafferty K. (1997) - Ground-source heat pumps, design of geothermal system of commercial and institutional buildings. Atl. Anta. ASHRAE.
- Menichetti M., Renzulli A. (2009) - Geotermia a bassa entalpia e misure di temperatura in pozzo "Low enthalpy geothermal energy and temperature measurements in borehole". Rend. online Soc. Geol. It., 6, 333-334.
- Schweizerischer Ingenieur und Architekten-Verein SIA D0136 (1996) - Grundlagen zur Nutzung der untiefen Erdwärme für Heizsysteme "Fundamentals of the use of low enthalpy geothermal energy for heating systems".
- Verein Deutscher Ingenieure (2001) - Direttive tecniche tedesche VDI 4640 – Thermische Nutzung des Untergrundes Ergekoppelte Wärmepumpenanlagen "German Technical Guidelines VDI 4640 - Thermal utilization of the ground-source heat pump systems".