

ALLEGATO 5

LINEE GUIDA PER LA REALIZZAZIONE DI SONDE GEOTERMICHE A CIRCUITO CHIUSO VERTICALI ED ORIZZONTALI, PALI ENERGETICI E PER L'ESECUZIONE DEL TRT

1. PREMESSE E PRINCIPI FONDAMENTALI

Le presenti LINEE GUIDA definiscono le procedure e gli standard esecutivi minimi necessari per la realizzazione di sistemi di geoscambio secondo specifiche modalità operative richieste dal REGOLAMENTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTI DI SCAMBIO TERMICO A CIRCUITO CHIUSO (Impianti di Geoscambio) della Provincia di Vicenza. Il presente documento è esplicitamente ispirato alle Norme UNI 11466, 11467 e 11468.

2. SONDE GEOTERMICHE VERTICALI

2.1. Premesse

Come di seguito illustrato, la realizzazione di Sonde Geotermiche Verticali si articola nelle seguenti fasi operative:

- perforazione
- installazione e cementazione delle sonde
- prove di collaudo

2.2. Scelta delle metodologia di perforazione

I sistemi più utilizzati nelle perforazioni per l'installazione di Sonde Geotermiche Verticali si possono così suddividere:

- A rotazione con circolazione diretta o inversa di fluidi o con aria compressa, con eventuali additivi;
- A rotazione con circolazione di fluidi e rivestimento totale della colonna in avanzamento (camicia), con eventuali additivi;
- A rotopercolazione, con martello fondo foro (DTH down to hole) o martello in superficie (TH top hammer).

Si precisa che altri sistemi di perforazione saranno ammissibili, fermi restando i principi ed i requisiti prestazionali descritti nel presente documento.

In generale le perforazioni devono essere eseguite con tecnologie e procedure adeguate per evitare la messa in comunicazione delle eventuali falde, mediante sigillatura all'esterno su tutta la superficie della perforazione con materiali e metodologie idonee.

In particolare nei territori dei comuni ubicati prevalentemente in corrispondenza nelle aree di ricarica degli acquiferi (colore VERDE), posti a monte del limite superiore delle risorgive, e nella aree collinari/montuose (Colore AZZURRO) ovvero caratterizzate dalla presenza di un'unica falda a carattere freatico oppure di acquiferi in roccia, potranno essere utilizzati metodi a rotazione con circolazione diretta o inversa di fluidi o con aria compressa oppure metodi a rotopercolazione.

Nei territori dei comuni ubicati prevalentemente in corrispondenza di aree di risorgiva, nelle aree degli acquiferi multistrato (colore GIALLO), poste a valle delle linea superiore delle risorgive, e nelle aree di massima tutela degli acquiferi (colore ROSSO) dovranno essere utilizzate metodologie di perforazione a rotazione con circolazione di fluidi e rivestimento totale della colonna in avanzamento (camicia). In tal modo, durante la perforazione di strati impermeabili che separano falde di rilevanza acquedottistica, sarà possibile evitare, o ridurre al minimo possibile, la messa in comunicazione temporanea delle stesse con falde di diversa condizione piezometrica e/o qualità idrochimiche differenti.

In ogni caso, nell'eventualità di perforazione di acquiferi contenenti falde artesiane in senso stretto, ovvero con prevalenza superiore al piano campagna, la fuoriuscita di acque naturalmente salienti dovrà essere contrastata e/o impedita mediante misure idonee ed accorgimenti preventivi, quali ad esempio l'utilizzo di fluidi a base bentonitica.

In casi di perforazione in formazioni rocciose soggette fenomeni carsici (colore ARANCIONE), ovvero in presenza di cavità sotterranee, dovranno essere utilizzate metodologie atte a contenere la perdita di fluidi di perforazione in avanzamento, tramite rivestimento totale del foro (camicia). In casi specifici, ovvero in presenza di cavità sotterranee di dimensioni importanti e tali da non consentire la cementazione, dovranno essere utilizzati "packers" (otturatori) per la sigillatura settoriale del perforo.

Come riportato all'art. 4 comma 3, ai fini della massima tutela della risorsa idrica, nelle "Aree di massima tutela dei corpi idrici sotterranei destinati alla produzione di acqua potabile" (colore Rosso) viene fatto divieto di installare sonde geotermiche oltre la profondità del tetto degli acquiferi pregiati; tali aree, sono identificate ai sensi dell'art. 15 del PTA, al paragrafo 3.6.3 degli "Indirizzi di Piano" come indicato nella tabella seguente:

Rif PTA: Tabella 3.2.2 - Acquifero multifalde della pianura veneta, profondità delle falde da sottoporre a tutela della provincia di Vicenza

Comune	Profondità corpi idrici tutelati (m dal p.c.)
Bressanvido	50 - 60
Caldogno	70 - 150
Dueville	70 - 150
Lonigo	40 - 110
Monticello Conte Otto	100 - 190
Orgiano	20 - 70
Sandrigo	70 - 150
Tezze sul Brenta	60 - 80
Vicenza	50 - 240
Villaverla	50 - 150

La tabella seguente riassume le correlazioni tra la zonizzazione di riferimento di cui all'**ALLEGATO 1a** e le modalità esecutive richieste dalle presenti linee guida.

Zonizzazione	Descrizione	Tipologia di perforazione	Limiti di profondità	Relazione Geologica	Ulteriori accorgimenti
VERDE	Pianura-Acquifero freatico	Qualsiasi	NO	Tipo 1/Tipo2	-
GIALLO	Pianura-Acquiferi multistrato	Rivestimento in avanzamento	NO	Tipo 1/Tipo2	In acquiferi artesiani utilizzo di adeguate tecnologie per il contrasto alla risalienza delle falde e per la ricostruzione dei livelli impermeabili di separazione
BLU	Aree collinari e montuose	Qualsiasi	NO	Tipo 1/Tipo2	-
ARANCIONE	Aree carsiche	Rivestimento in avanzamento	NO	Sempre Tipo 2	Eventuale utilizzo di otturatori durante la cementazione
ROSSO	Aree di massima tutela (art. 15 PTA Dgrv 842/2012)	Rivestimento in avanzamento (fino a profondità consentite)	Vedi art.4 comma 3	Sempre Tipo 2	-

2.3. Fase di perforazione

Durante la perforazione deve essere evitata qualsiasi conseguenza negativa per il suolo ed il sottosuolo. In particolare vanno implementate misure di sicurezza per evitare perdite di olio e carburanti dalla macchina perforatrice, oltre a perdite di altri prodotti specifici per la perforazione (es. lubrificanti, oli idraulici, additivi).

Il terreno sotto la perforatrice in corrispondenza del foro deve essere sistematicamente protetto da eventuali infiltrazioni inquinanti (per esempio mediante teli impermeabili e vasche di raccolta). Vanno altresì impediti le infiltrazioni di acque superficiali tramite una idonea strutturazione della zona attorno al foro di perforazione stesso. In cantiere devono sempre essere a disposizione idonei prodotti oleo-assorbenti.

2.4. Fluidi di perforazione

In ogni caso l'utilizzo di fluidi di perforazione diversi dall'acqua dovrà essere dichiarato in sede di richiesta di autorizzazione, previa fornitura della scheda tecnica degli additivi. Tali indicazioni dovranno essere annotate sul giornale di cantiere, descritto a seguire.

La preparazione dei fluidi di perforazione deve essere realizzata in appositi contenitori di dimensioni tali da non disperdere il liquido nel suolo circostante, a esclusione della sola acqua.

Nel caso di perforazioni a rotazione a circolazione diretta ed inversa, il fluido di perforazione dovrà essere preparato avendo cura di impiegare sostanze non tossiche e biodegradabili se costituite da prodotti di sintesi (ad es additivi polimeri e schiumogeni). È altresì consentito l'utilizzo di fanghi di perforazione a base bentonitica, rispettando i principi di cui sopra.

In generale il fluido dovrà essere tenuto costantemente sotto controllo con appositi test per verificarne le caratteristiche chimico- fisiche. L'impresa dovrà porre massima cura nell'evitare anormali assorbimenti di fluido di perforazione che potrebbero contaminare la falda attraversata in corso di avanzamento. La viscosità dei fluidi di perforazione dovrà essere mantenuta più bassa possibile, in rapporto al diametro di perforazione ed alla portata del fluido, ciò per consentire la separazione dei cuttings che, rimanendo altrimenti in circolazione ed in sospensione, potrebbero condizionare lo sviluppo successivo della perforazione.

Nella perforazione con aria compressa è possibile aggiungere tensioattivi non tossici e biodegradabili che favoriscono il sollevamento dei detriti (cuttings) nel perforo. Gli stessi tensioattivi possono essere impiegati per l'abbattimento delle polveri.

I fluidi di perforazione vanno contenuti durante la lavorazione preferibilmente in vasche di materiale idoneo, al di sopra del piano campagna. Sono escluse fosse e scavi all'interno del terreno, se non impermeabilizzati con teli sintetici.

In generale i materiali estratti, se separati dai fluidi di perforazione, possono essere lasciati in sito, purché ciò sia previsto dal progetto, ai sensi dell'art. 41bis della Legge 98/2013. Qualora invece siano miscelati con i fluidi di perforazione o non sia presente un progetto di recupero, devono essere smaltiti secondo la legislazione vigente e trasportati con mezzi idonei provvisti delle necessarie autorizzazioni. La gestione dei residui dei fluidi di perforazione è soggetta alle vigenti norme in materia, ovvero il D.LGS 152/2006 e s.m.i., nonché ad eventuali normative regionali e/o provinciali vigenti nell'area di intervento.

2.5. Materiali

La tipologia delle sonde geotermiche verticali da impiegare negli impianti di scambio termico a circuito chiuso saranno oggetto di specifica progettazione e, in generale, potranno avere le seguenti caratteristiche tipologiche:

- Sonde in PE-PP-PEX pressione PN16 ad U semplice o doppia o coassiali, annegate su cilindro di miscela cemento-bentonitica stagna con sigillatura verso il terreno;
- Sonde con camicia di acciaio zincato/inox/PE con sonda interna in tubo di acciaio/inox/PE; sigillatura esterna alla camicia verso il terreno con miscela cemento-bentonitica;
- Pali di fondazione con camicia di acciaio sigillata all'esterno con miscela cemento-bentonitica, con l'inserimento della sonda geotermica in acciaio o in PE (Pali caldi);
- Sonde geotermiche per scambio terreno/aria per applicazioni negli impianti di ventilazione controllata e per abbinamento con pompe di calore geotermiche aria/acqua, costruite con camicia in Alluminio-PE-Acciaio con profondità limitata a 30 m;

Sono altresì ammissibili altre tipologie di sonde geotermiche, fermi restando i requisiti in termini di prestazioni energetiche e di salvaguardia dell'ambiente.

La tipologia di sonda geotermica dovrà essere preventivamente dichiarata in sede di richiesta di autorizzazione.

Tutte le sonde dovranno essere corredate da scheda tecnica rilasciata dal produttore, esclusi i collegamenti orizzontali ai collettori.

2.6. Fluido Termovettore

Con riferimento alle prescrizioni di progetto, è fatto obbligo di utilizzare come fluido di scambio termico delle sonde acqua oppure acqua addizionata con glicole atossico di tipo propilenico o polipropilenico biodegradabile, tipicamente utilizzato nell'industria alimentare. Dovrà essere fornita alla Provincia di Vicenza la scheda tecnica e di sicurezza dell'additivo utilizzato.

In ogni caso il fluido termovettore dovrà ottemperare ad eventuali prescrizioni dei regolamenti nazionali e/o regionali se vigenti nell'area di intervento.

2.7. Posizioni delle sonde

Le perforazioni e gli scavi sono realizzate oltre la distanza legale dal limite di proprietà, così come definita dall'art. 889 del Codice Civile. L'eventuale riduzione di tale distanza è ammessa solamente se la richiesta è accompagnata da apposito atto di assenso del proprietario del terreno confinante.

2.8. Installazione della sonda nel foro di perforazione

Le sonde verticali devono essere poste in opera mediante l'uso di srotolatore, previo loro riempimento con acqua. Prima di installare le sonde, deve esserne verificata la funzionalità mediante la prova di tenuta effettuata secondo le prescrizioni indicate a seguire (ad aria o ad acqua). Nel caso in cui la prova dia esito negativo la sonda geotermica deve essere sostituita integralmente.

Durante il posizionamento della sonda nel foro di perforazione la superficie esterna delle tubazioni non deve in alcun modo essere scalfita. Le condotte dovranno essere maneggiate con cura per evitare di generare sulla superficie intagli che ridurrebbero le caratteristiche stesse delle tubazioni.

Il peso della zavorra, che deve essere agganciata all'estremità inferiore della sonda, deve essere determinato in rapporto alla lunghezza del perforo e alla spinta di galleggiamento della sonda riempita d'acqua, in riferimento al fluido presente nel foro al fine di favorire l'agevole inserimento della sonda nel perforo stesso.

Non è consentito posizionare le sonde in materiale plastico a pressione dall'alto tramite la macchina operatrice, al fine di evitare di danneggiare le sonde stesse.

Le tubazioni all'interno del foro verticale dovranno essere mantenute ad una distanza reciproca il più costante possibile ricorrendo eventualmente all'utilizzo di opportuni distanziatori, se indicato nel progetto. Qualora i distanziali non siano previsti non è consentito legare in alcun modo tra loro le tubazioni delle sonde.

Contestualmente all'inserimento della sonda verticale dovrà essere inserita la tubazione necessaria per la cementazione del foro a partire dal fondo della perforazione.

Alla fine dell'installazione dovranno essere tappate la estremità della sonda in modo da renderla ermetica rispetto all'ambiente.

2.9. Cementazione foro di perforazione

Durante il ritombamento del foro di perforazione verticale deve essere posta la massima attenzione a garantire un'ottimale impermeabilizzazione, continua ed omogenea. Dovrà essere utilizzata una miscela di cementazione (grouting) ad alta conduttività termica che dovrà essere dichiarata in sede di richiesta di autorizzazione, previa fornitura della scheda tecnica.

La miscela andrà iniettata in pressione mediante pompa a pistone od altra stazione di pompaggio a partire dal fondo del foro sino al piano di campagna. Dovrà essere garantita la continuità delle cementazioni e l'assenza di bolle d'aria all'interno del foro di posa. Il materiale di riempimento deve risultare stabilmente visibile a giorno per almeno 30 min dopo la conclusione dei lavori.

In casi di cementazione di perforazioni verticali eseguite in formazioni rocciose soggette fenomeni carsici, ovvero in presenza di cavità sotterranee, dovranno essere utilizzate metodologie atte a contenere la perdita di fluidi di cementazione tramite l'utilizzo di otturatori gonfiabili (packers).

La composizione della miscela di cementazione deve garantire, dopo l'indurimento, una struttura compatta, duratura e che sia chimicamente e fisicamente stabile, nonché caratteristiche di elevata impermeabilità idraulica.

2.10. Prove di Collaudo

Dopo il posizionamento della sonda nel foro di perforazione dovranno essere eseguite la prova di portata/flusso e la prova di tenuta idraulica.

La prova di portata/flusso, eseguita dall'impresa, consiste nel verificare la portata del fluido circolante nella geosonda, nelle condizioni previste da progetto.

La prova prevede di leggere e registrare su apposita scheda di prova il valore di portata indicato dal flussometro e i due valori di pressione indicati dai manometri posti a monte e a valle del geoscambiatore.

Si deve indicare sulla scheda di prova il tipo, le caratteristiche e il numero identificativo degli strumenti utilizzati.

La prova di tenuta idraulica, eseguita dall'impresa, sarà effettuata in cantiere su ogni singolo circuito idraulico che compone la sonda geotermica.

Su ciascuna sonda deve essere svolto un test di tenuta idraulica utilizzando acqua, per una durata non inferiore a 2 ore, con pressione di prova non superiore ad 1,5 volte la pressione di esercizio e comunque non superiore a 500 kPa (5 Bar). In ogni caso la pressione sul piede della sonda non deve superare la pressione nominale della sonda stessa.

Il collaudo è positivo quando la pressione all'interno della sonda non cala in maniera significativa (diminuzione di pressione tollerata: 0,5 Bar), tenuto conto della normale plasticità del manufatto e delle eventuali differenze di temperatura.

Qualora un test di tenuta desse esito negativo, dalla sonda difettosa va estratto il fluido di collaudo (acqua) e la stessa va ricolmata definitivamente con sospensione di cemento, acqua e bentonite.

Al RAPPORTO DI CORRETTA ESECUZIONE (ALLEGATO 6), a firma del Geologo responsabile dell'installazione, dovrà essere allegato un elaborato tecnico da parte della ditta installatrice contenente i risultati delle prove di collaudo (flusso e tenuta), per ogni sonda collaudata.

2.11. Collegamenti orizzontali

Gli allacciamenti orizzontali devono essere realizzati con pendenza minima dell'1% (punto più basso in corrispondenza della geosonda) per favorire l'evacuazione dell'aria presente nel circuito a terreno.

All'interno della trincea le tubazioni devono essere poste su un letto di materiale adatto a non danneggiarle; qualora la natura del terreno non lo consenta, si deve provvedere alla stesura di un letto di sabbia o di materiale idoneo.

Medesima cautela deve essere posta per il materiale di copertura fino alla stesura del nastro segnalatore. A 30 cm sopra la direttrice del tubo deve essere posto un nastro monitore indicante la presenza della tubazione. In assenza di indicazioni specifiche del progetto, la profondità minima della posa delle tubazioni prive di coibentazione, al fine di assicurare un adeguato grado di isolamento, deve essere non minore di 1 m.

3. SONDE GEOTERMICHE ORIZZONTALI

3.1. Premesse

Come di seguito illustrato, la realizzazione di Sonde Geotermiche Orizzontali si articola nelle seguenti fasi operative:

- Posa in opera
- prove di collaudo

3.2. Posa in opera

La posa in opera di sonde geotermiche orizzontale può avvenire secondo due modalità:

- Attraverso sbancamento di una superficie; sul fondo dell'area sbancata vengono posati i circuiti di norma ad U fra loro collegati in parallelo;
- Attraverso l'escavazione di una o più trincee; all'interno di ciascuna trincea vengono posate le tubazioni con diverse tipologie e modalità di posa (a 4 tubi, a 6 tubi oppure a spirale "slinky").

Le distanze fra i circuiti nel primo caso e la distanza fra trincee dovranno essere conformi alle prescrizioni di progetto e opportunamente documentate (es. tramite documentazione fotografica).

I singoli circuiti risultanti devono avere una lunghezza massima di tubazione compatibile con le perdite di carico massime previste in ragione del fluido termovettore impiegato e di norma non superiori a 100 m.

Realizzato lo sbancamento o la trincea, la posa in opera avviene secondo le stesse prescrizioni previste per i collegamenti orizzontali di impianti con sonde verticali di cui al paragrafo 2.11.

3.3. Collaudo

La prova di tenuta e collaudo sono realizzate con le stesse modalità previste per le sonde verticali (rif. paragrafo 2.10).

4. PALI ENERGETICI

4.1. Premesse

I pali energetici possono essere di due tipi:

- pali energetici prefabbricati, realizzati in fabbrica e successivamente conficcati nel sottosuolo, dove non è richiesto un lavoro specifico per le sonde geotermiche in quanto esse sono già inserite all'interno del palo;
- pali energetici costruiti in opera, per cui il calcestruzzo viene gettato direttamente in appositi fori o preforme, realizzati nel terreno dopo il posizionamento dell'armatura e delle tubazioni nel perforo. I pali energetici di tipo CFA (Continuous Fly Auge) prevedono che l'armatura e la sonda, una volta eseguito il perforo, vengano inserite nel foro successivamente al riempimento del perforo mediante calcestruzzo.

4.2. Materiali

I materiali normalmente impiegati per i pali energetici prevedono l'impiego di tubazioni plastiche in PE-PP-PEX pressione PN16 ad U (di norma in un singolo palo possono esserci 4 U o 6 U) oppure a spirale o elica.

L'impiego di materiali metallici deve essere adeguatamente motivato specificando le caratteristiche tecniche degli stessi e l'interazione con il manufatto anche in termini di mantenimento delle proprietà strutturali.

4.3. Prescrizioni specifiche

I pali energetiche sono prima di tutto elementi con specifica funzionalità strutturale e solo in secondo luogo scambiatori di calore a terreno.

Al fine di preservare le prestazioni strutturali ed a garanzia del mantenimento delle stesse nel tempo è necessario che le temperature del fluido termovettore che scorre all'interno delle tubazioni annegate nel palo sia comprese nell'intervallo 1 °C – 28 °C. Temperature superiori a 28 °C sono ammissibili qualora, sulla base di valutazioni più dettagliate, si riesca a dimostrare il mantenimento delle prestazioni strutturali dei pali. In ogni caso la temperatura del fluido non deve superare i 40 °C.

Nel caso in cui il fluido termovettore sia costituito da sola acqua la temperatura minima ammessa è pari a 4 °C. Risulta necessario che sia previsto un sistema di protezione dal gelo di tipo attivo che al raggiungere di temperature pari ai valori minimi sopra descritti innalzi di almeno 1 °C in sicurezza preveda l'interruzione della circolazione e la segnalazione immediata del problema.

Per quanto attiene alla progettazione, nel caso di pali energetici è necessario corredare le valutazioni energetiche con calcoli strutturali per la verifica del mantenimento delle prestazioni statiche delle palificazioni in presenza dei carichi aggiuntivi di tipo termico.

4.4. Collaudo

Per quanto riguarda il collaudo si opera come previsto per le sonde geotermiche verticali al punto 2.10.

Il collaudo va in ogni caso eseguito prima della gettata di cemento della platea e successivamente ripetuto dopo la posa della stessa.

5. TEST DI RISPOSTA TERMICA (TRT)

Nel caso di impianti di categoria 3 e 4 dovranno essere considerati i risultati del Thermal Response Test (Test di risposta termica - TRT), che permette di rilevare le proprietà termo-fisiche di scambio del sottosuolo e, conseguentemente, procedere al corretto dimensionamento dell'impianto, evitando sovradimensionamenti che incrementerebbero inutilmente il costo finale dell'opera oppure sottodimensionamenti che andrebbero ad inficiare la funzionalità dell'installazione.

La prova dovrà essere condotta su una sonda "pilota", che successivamente potrà entrare a far parte del campo sonde complessivo.

L'elaborazione del test deve fornire in output i seguenti valori:

- resistenza termica dello scambiatore geotermico;
- conduttività termica media del sottosuolo;
- temperatura media del sottosuolo indisturbato.

Il TRT potrà essere eseguito simulando condizioni di riscaldamento/raffrescamento, immettendo energia termica nel sottosuolo o prelevandone. In ogni caso si deve garantire la costanza della potenza di prova durante tutta la durata del test che non dovrà essere inferiore alle 50 ore.

Al fine di garantire la raccolta di dati sufficienti per consentire l'elaborazione statistica degli stessi, il numero di acquisizioni non deve essere inferiore a una per minuto.

La misura delle portate circolanti nel circuito deve avvenire con sensore con precisione non inferiore al 2%.

La misura delle temperature deve essere effettuata utilizzando sonde di temperatura con precisione di almeno 0,02°C.

Le attività di prova con il TRT non possono essere iniziate prima di 15 giorni per le sonde geotermiche e di 30 giorni per i pali energetici, a partire dal momento dall'ultimazione del riempimento.

Le tubazioni impiegate per il collegamento tra le attrezzature per il TRT e la geosonda in prova devono essere di tipo flessibile; i collegamenti devono essere a tenuta e quindi esenti da perdite e i raccordi devono essere coibentati.

I risultati del TRT andranno valutati in relazione alle condizioni idrogeologiche con particolare riferimento all'eventuale effetto del moto dell'acqua di falda e della direzione prevalente di flusso della stessa.

L'esecuzione del TRT potrà essere preliminare alla realizzazione dell'impianto di geoscambio oppure contemporanea, fermo restando che i risultati del test, sotto forma di relazione tecnica, dovranno essere allegati al Rapporto di Corretta Esecuzione (**ALLEGATO 6**) di cui al presente Regolamento.