

Rapporto finale, 22 agosto 2018

Trivellazioni per sonde geotermiche: come proteggere le acque

Panoramica dei sistemi di sigillatura
per proteggere le acque sotterranee



energieschweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autori

Dott. Maurus Hess, CSD Ingegneri SA

Fabrice Rognon, CSD Ingegneri SA

Calame Nicole, CSD Ingegneri SA

Questo studio è stato commissionato da SvizzeraEnergia.

Gli autori sono gli unici responsabili del contenuto.

Indirizzo

SvizzeraEnergia, Ufficio federale dell'energia UFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Indirizzo postale: 3003 Berna

Infoline 0848 444 444. www.svizzeraenergia.ch/page/it-ch/consulenza-svizzeraenergia

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.svizzeraenergia.ch/it-ch/

Indice

1	Introduzione.....	6
1.1	Situazione iniziale e motivazione	6
1.2	Finalità.....	7
1.3	Modo di procedere	8
2	Basi.....	10
2.1	Sfruttamento dell'energia geotermica mediante sonde e protezione delle acque	10
2.2	Sonde geotermiche in acque sotterranee, il punto di vista energetico	11
2.3	Basi legali e tecniche	11
2.3.1	Aiuto all'esecuzione sullo sfruttamento del calore dal suolo e dal sottosuolo, UFAM, 2009 ..	11
2.3.2	Norma SIA 384/6 sonde geotermiche, 2010.....	12
2.4	Profili di rischio	13
2.4.1	Inquinamento delle acque sotterranee dovuto a infiltrazioni superficiali	13
2.4.2	Collegamento tra diversi livelli di acque sotterranee	13
2.4.3	Deflusso della sospensione di riempimento	13
2.4.4	Pozzi artesiani.....	14
2.5	Procedura e spiegazione (interviste)	14
2.6	Protagonisti	15
2.6.1	Committente.....	15
2.6.2	Autorità.....	15
2.6.3	Aziende di perforazione	16
2.6.4	Uffici geologici	16
2.6.5	Produttori e altri utilizzatori dei sistemi di sigillatura	17
2.7	Criteri.....	17
2.7.1	Idoneità pratica.....	17
2.7.2	Attendibilità.....	18
2.7.3	Costi	18
2.7.4	Limiti.....	18
2.7.5	Fatturato.....	18

2.7.6	Raccomandazioni.....	19
3	Valutazione dei sistemi di sigillatura	20
3.1	Tubazione permanente	20
3.1.1	Descrizione del sistema	20
3.1.2	Idoneità pratica.....	20
3.1.3	Affidabilità in termini di protezione delle acque.....	21
3.1.4	Costi	21
3.1.5	Frequenza d'uso	21
3.1.6	Discussione delle possibili applicazioni in rapporto ai profili di rischio	21
3.2	Calza per sonde geotermiche	22
3.2.1	Descrizione del sistema	22
3.2.2	Idoneità pratica.....	22
3.2.3	Affidabilità in termini di protezione delle acque.....	23
3.2.4	Costi	24
3.2.5	Frequenza d'uso	24
3.2.6	Discussione delle possibili applicazioni in rapporto ai profili di rischio	24
3.3	Sacco otturatore in tessuto geotessile	25
3.3.1	Descrizione del sistema	25
3.3.2	Idoneità pratica.....	25
3.3.3	Affidabilità in termini di protezione delle acque.....	26
3.3.4	Costi	26
3.3.5	Frequenza d'uso	27
3.3.6	Discussione delle possibili applicazioni in rapporto ai profili di rischio	27
3.4	Sacco otturatore per trivellazioni.....	27
3.4.1	Descrizione del sistema	27
3.4.2	Idoneità pratica.....	28
3.4.3	Affidabilità in termini di protezione delle acque.....	29
3.4.4	Costi	29
3.4.5	Frequenza d'uso	29
3.4.6	Discussione delle possibili applicazioni in rapporto ai profili di rischio	29
3.5	Altri sistemi di sigillatura.....	29

3.5.1	Riempimento speciale.....	30
3.5.2	Iniezioni	30
4	Sintesi delle possibili applicazioni.....	31
5	Conclusioni.....	34
6	Fonti.....	36
7	Appendice A - Elenco dei partner intervistati	37

1 Introduzione

1.1 Situazione iniziale e motivazione

Lo sfruttamento di energia dal terreno sotto forma di energia geotermica è un aspetto importante della politica energetica svizzera ed è uno degli elementi adottati dal Consiglio federale nell'ambito della Strategia energetica 2050.

Il presente studio si occupa dello sfruttamento dell'energia geotermica in prossimità della superficie, mediante sonde geotermiche (SG). Negli ultimi anni sempre più spesso si sono costruiti - nel frattempo anche ristrutturati - impianti di riscaldamento con pompe di calore con SG (cfr. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** SG sono sempre più utilizzate anche per il raffreddamento degli edifici e il sottosuolo viene utilizzato come accumulatore di calore.

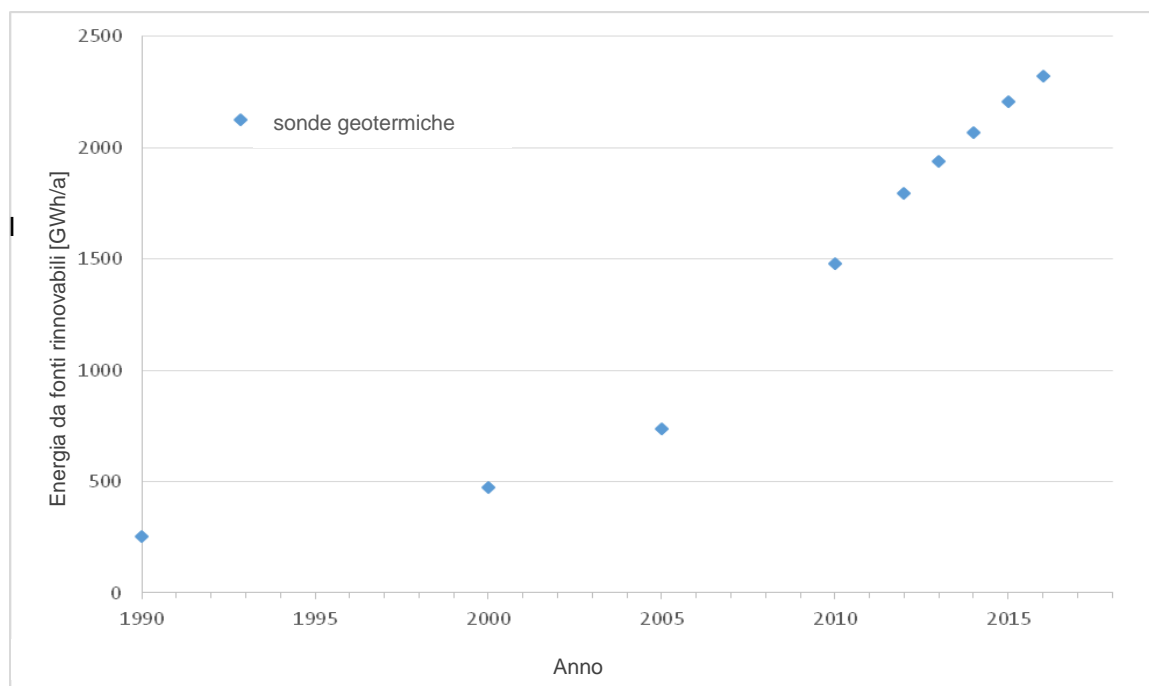


Figura 1: sviluppo dello sfruttamento dell'energia geotermica tramite sonde e pompe di calore con soluzione salina/acqua dal 1990 (Fonte: UFE: Statistica svizzera sulle energie rinnovabili. Edizione 2013, Berna, settembre 2014).

Nel 2016 in Svizzera si sono interrati circa 2'500'000 metri lineari di SG. Tuttavia, non è noto a quanto ammonti la percentuale di sonde installate all'interno di riserve idriche sotterranee.

Per le SG la qualità di progettazione è essenziale. Da un lato, è determinante per un buon collegamento termico delle SG al terreno e quindi per il rendimento delle SG e l'efficienza del sistema complessivo di riscaldamento-raffreddamento. Dall'altro, la protezione dell'ambiente e delle acque sotterranee in particolare, ha la massima priorità. La progettazione professionale dei lavori di perforazione e realizzazione è un fattore essenziale per soddisfare i requisiti di protezione ambientale delle trivellazioni per le SG.

Il deterioramento delle condizioni delle acque sotterranee nel caso di trivellazioni per SG è causato dalle seguenti cause, approssimativamente riassunte a titolo esemplificativo:

- inquinamento delle acque sotterranee durante il processo di perforazione, durante l'ampliamento e il relativo riempimento o durante il funzionamento dell'impianto a SG;
- collegamento dei diversi livelli delle acque sotterranee o delle acque superficiali con le acque sotterranee attraverso la perforazione;
- crescita della falda confinata o della falda artesianiana.

Ciò comporta un gran numero di possibili rischi per le acque sotterranee, in particolare per le falde acquifere superiori. Alcune delle cause summenzionate possono colpire non solo le falde acquifere, ma anche le acque superficiali.

Se vi è il rischio che le acque sotterranee siano danneggiate da trivellazioni per SG, queste non sono generalmente consentite o lo sono solo a determinate condizioni. La definizione dei requisiti speciali è di competenza dei Cantoni. La base per la concessione delle autorizzazioni è costituita dall'aiuto all'esecuzione della Confederazione sullo sfruttamento del calore dal suolo e dal sottosuolo (disponibile unicamente in tedesco *Wärmenutzung aus Boden und Untergrund* e in francese *Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol*), che viene brevemente illustrato nel capitolo 2.3.

La corretta pianificazione e realizzazione di un impianto a SG può ridurre considerevolmente questi rischi. Negli ultimi anni si sono compiuti notevoli progressi anche nel campo degli ausili tecnici per sigillare la trivellazione. Diversi fornitori hanno commercializzato vari prodotti che possono essere utilizzati per i diversi profili di rischio. L'applicazione delle misure di sigillatura descritte e valutate nel presente rapporto costituisce una possibile condizione speciale imposta dalle autorità cantonali.

L'obiettivo principale del presente rapporto è quello di elencare i singoli profili di rischio e di metterli in relazione con i prodotti disponibili sul mercato. Questi prodotti sono valutati in termini di idoneità pratica, affidabilità e rapporto costi-benefici.

In linea di massima, il riempimento delle SG deve avvenire in modo tale da sigillare il foro verticalmente e orizzontalmente. Di fatto, tuttavia, il riempimento non è mai perfetto (vedi anche Hess et al. 2015 per SvizzeraEnergia) e, in particolare per le trivellazioni nelle acque sotterranee, è necessario aumentare i requisiti per la tenuta.

1.2 Finalità

Nell'ambito del progetto vengono presentati e valutati sistemi di tenuta per proteggere le acque sotterranee quando si eseguono trivellazioni per SG. A tal fine si consultano diversi operatori del settore: aziende di perforazione, autorità, uffici geologici e fornitori di sistemi di sigillatura. In questo modo si esamina lo stato attuale delle conoscenze e dell'esperienza e si ottiene una panoramica dei sistemi di tenuta attualmente in uso. Non si tratta quindi né di stabilire un ordine di priorità tra i diversi sistemi, né di fornire orientamenti tecnici per il loro utilizzo.

Lo scopo è solo quello di elencare, classificare e valutare le principali misure di sigillatura per proteggere le acque sotterranee nel caso di trivellazioni per SG. Altri potenziali pericoli (come per es. la fuga di gas) non rientrano in questo studio, anche se i singoli sistemi di tenuta qui presentati possono anche rivelarsi utili per evitarli o ridurli.

Si sono presi in considerazione prodotti e processi commercializzati e collaudati sul mercato, in vendita e attualmente in uso (nessun prodotto speciale o unico e nessun prototipo).

1.3 Modo di procedere

Il fulcro di questo lavoro è l'esperienza degli attori nel settore delle SG, composto da aziende di perforazione, autorità, geologi, produttori e acquirenti dei sistemi di sigillatura. L'obiettivo è quello di ottenere il maggior numero possibile di informazioni dalle esperienze pratiche acquisite con questi sistemi. Per raccogliere i dati si è utilizzata una tabella che mette a confronto i diversi sistemi di tenuta in uso con i relativi criteri di valutazione.

Si sono analizzati i quattro sistemi di tenuta seguenti:

- tubazioni permanenti
- calza per sonde geotermiche
- sacco otturatore in tessuto geotessile per sonde geotermiche
- sacco otturatore per trivellazioni

I termini sono stati ricavati dai promemoria pubblicati da SvizzeraEnergia (www.bfe.admin.ch). Inoltre, il capitolo "altri sistemi di tenuta" ha offerto l'opportunità per discutere dei sistemi che non fanno parte dei promemoria.

Si sono impiegati i seguenti criteri di valutazione:

- idoneità pratica
- affidabilità
- costi
- limiti
- punti critici
- volumi di vendita e raccomandazioni
- osservazioni

Sulla base dei riscontri degli attori, si è poi svolta un'intervista telefonica per la concretizzazione e lo scambio di esperienze.

La procedura, i criteri di valutazione e la selezione dei possibili attori si sono svolti in accordo con l'Ufficio federale dell'energia. Nell'ambito del presente studio si è cercato di realizzare uno scambio di esperienze il più ampio e dettagliato possibile. Tuttavia, i riscontri effettivi degli attori

non sono di responsabilità degli autori e non si può garantire che siano esaustivi. Tutti i soggetti coinvolti nel presente studio figurano nell'allegato A.

La valutazione critica e le conclusioni degli autori sono riportate nell'ultimo capitolo del presente rapporto.

2 Basi

2.1 Sfruttamento dell'energia geotermica mediante sonde e protezione delle acque

Il sottosuolo, comprese le acque sotterranee, ha un grande potenziale come fornitore di energia sostenibile e rispettosa dell'ambiente per riscaldare o raffreddare gli edifici.

Le sonde geotermiche sono la forma più comune di utilizzo dell'energia geotermica. Di norma si tratta di tubi di plastica che vengono installati in fori a forma di U (sonda a singola o doppia U) o concentricamente come tubi interni ed esterni (sonda coassiale). Dopo l'installazione della sonda, i fori vengono riempiti per garantirne la tenuta stagna.

La figura 2 mostra schematicamente il funzionamento di una SG, un sistema chiuso che funge da scambiatore di calore con il sottosuolo. La SG consente di estrarre energia geotermica dal terreno (riscaldamento dell'edificio) e di immettere calore nel terreno (raffreddamento dell'edificio). Il numero e la profondità necessari per le SG per un determinato fabbisogno energetico dipendono dalle proprietà termiche del sottosuolo, dalla sua configurazione, dal fluido termovettore, dalla

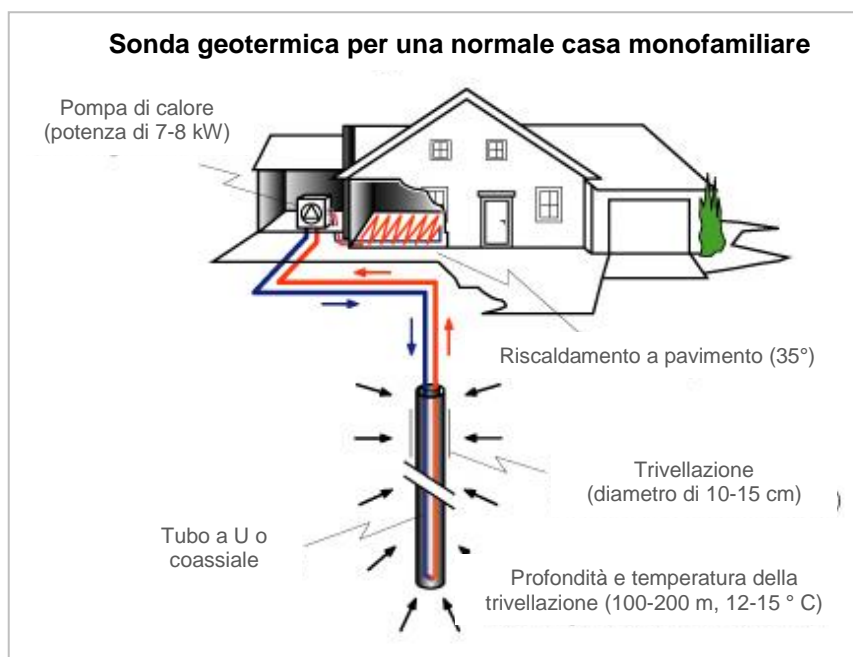


Figura 2: schema dell'impianto di riscaldamento di una casa monofamiliare con SG e pompa di calore (fonte: www.geothermie-schweiz.ch).

geometria del foro e da altri parametri.

La trivellazione necessaria per le SG rappresenta quindi un intervento nel sottosuolo; se vi scorrono acque sotterranee, esse sono potenzialmente a rischio. L'installazione e il funzionamento delle SG sono quindi importanti per la protezione delle acque. La protezione delle acque

sotterranee e dell'acqua potabile ha la massima priorità in tutte le procedure di autorizzazione e di concessione.

2.2 Sonde geotermiche in acque sotterranee, il punto di vista energetico

Le acque sotterranee hanno anche un effetto positivo sulla funzionalità delle SG. Da una serie di analisi (ad es. Poppei 2017 UFE e ufficio per l'ingegneria edile di Zurigo 2017) si deduce che le SG e i campi di SG, se dimensionati secondo la norma SIA 384/6, hanno spesso una maggiore efficienza se si trovano in flussi idrici perché risultano rigenerati naturalmente. Questi studi forniscono anche una preziosa panoramica delle esperienze teoriche e pratiche raccolte finora e dell'influenza del flusso delle acque sotterranee sui parametri geotermici del sottosuolo.

2.3 Basi legali e tecniche

Il rilascio di autorizzazioni e concessioni per le SG in Svizzera è di competenza delle autorità cantonali. Di norma, le trivellazioni per le SG non sono autorizzate dalle autorità cantonali per la protezione delle acque se sussiste un rischio di contaminazione delle acque sotterranee e dell'acqua potabile. Le autorità cantonali preposte alla protezione delle acque hanno il compito di classificare le proprie riserve idriche sotterranee e di consentire - a precise condizioni - l'installazione di SG in zone attraversate da acque sotterranee. Di fatto, alcuni Cantoni vietano le SG nelle zone in cui scorrono acque sotterranee, altri le autorizzano a particolari condizioni (ad es. nelle zone periferiche poco produttive) o con requisiti particolari, come ad esempio i sistemi di sigillatura.

SvizzeraEnergia ha pubblicato quattro promemoria che descrivono i sistemi di sigillatura: Tubazione permanente, Calza per sonde geotermiche, Sacco otturatore in tessuto geotessile e Sacco otturatore per trivellazioni. Il presente studio si avvale di questa classificazione.

La legislazione in materia di protezione delle acque è esaustiva. I requisiti di base per la protezione delle acque sono contenuti nell' Aiuto all'esecuzione dell'UFAM del 2009. I requisiti tecnici per la realizzazione di trivellazioni per SG, compresi gli interventi in caso di incidente, sono sanciti nella norma SIA 384/6. Entrambi i documenti sono esaminati più dettagliatamente nei prossimi capitoli, che presentano inoltre i relativi riferimenti alle leggi e alle ordinanze in vigore.

2.3.1 Aiuto all'esecuzione sullo sfruttamento del calore dal suolo e dal sottosuolo, UFAM, 2009

Questo aiuto all'esecuzione (disponibile unicamente in tedesco *Wärmenutzung aus Boden und Untergrund* e in francese *Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol*) fornisce una panoramica delle basi legali a livello federale (Costituzione federale, Legge federale sulla protezione delle acque e Ordinanza sulla protezione delle acque) e costituisce la base per l'approvazione da parte dei Cantoni. Le aree in cui si possono approvare SG a determinate condizioni sono definite come segue:

1. zone comprendenti acquiferi non profondi (tecnicamente inutilizzabili per lo sfruttamento dell'acqua potabile) situati all'interno del settore di protezione delle acque AU;
2. zone urbane all'interno della parte sfruttabile del settore di protezione delle acque AU, nelle quali non è possibile lo sfruttamento dell'acqua potabile;
3. zone con acquiferi a strati;
4. zone con acquiferi artesiani;
5. zone con acquiferi fortemente mineralizzati;
6. zone in cui la composizione geologica o idrogeologica del sottosuolo non è sufficientemente nota, nonché zone con fenomeni carsici o fessurazioni a livello locale;
7. zone con impianti sotterranei esistenti;
8. zone in cui si prevedono problemi geogenici (ad es. gas naturale, rocce oleose, formazioni soggette a rigonfiamento);
9. siti inquinati, a condizione che siano soddisfatti i requisiti dell'articolo 3 dell'ordinanza sui siti contaminati.

Per quanto possibile, in queste zone si fa riferimento, in termini generali, alla posa di tubazioni permanenti, otturatori o cementazioni sotto pressione secondo le indicazioni dell'autorità o del geologo incaricato.

2.3.2 Norma SIA 384/6 sonde geotermiche, 2010

Il materiale di riempimento è essenziale per sigillare opportunamente una trivellazione. Oltre all'integrazione, alla protezione e al fissaggio termico sul supporto, lo scopo principale del riempimento è la sigillatura (si veda anche Hess et al. 2015 per SvizzeraEnergia).

Secondo il punto 4.3.1.2 della norma SIA 384/6, in casi particolari devono essere utilizzati ausili tecnici, ad esempio in caso di afflusso di acqua, acquiferi artesiani, afflusso di gas, strati di ghiaia e fessure. Tra i tipici ausili per la perforazione figurano le miscele di sospensione adattate e i sacchi otturatori in tessuto geotessile.

L'appendice E.3 riporta anche l'attrezzatura minima di perforazione necessaria nel caso di incidenti nei pozzi artesiani:

- per un intervento immediato, bisogna disporre di un sacco otturatore in tessuto geotessile per sigillare la trivellazione per la SG;
- in caso di risanamento (se necessario) le SG sono utilizzate mediante un sacco otturatore in tessuto geotessile (in caso di sigillatura con installazione di SG) o con un otturatore completo (in caso di sigillatura senza installazione di SG). Sono inoltre elencati i dispositivi per miscelare il materiale di riempimento rafforzato o tissotropico e il relativo materiale aggiuntivo (ad es. barite).

2.4 Profili di rischio

Questa sezione contiene un elenco delle possibili situazioni di pericolo che, secondo lo stato attuale delle conoscenze, si verificano principalmente in caso di trivellazione di SG e in cui si possono utilizzare con successo i sistemi di tenuta illustrati nel presente studio.

2.4.1 Inquinamento delle acque sotterranee dovuto a infiltrazioni superficiali

Un foro non completamente sigillato può creare un collegamento tra le acque superficiali e quelle sotterranee e compromettere il naturale effetto filtrante del terreno. Se le acque superficiali sono inquinate o hanno una composizione chimica diversa da quella delle acque sotterranee, ciò può costituire un rischio considerevole per le acque sotterranee stesse.

Esempi di inquinamento sono le fuoriuscite di olio da macchine o da componenti idrauliche o anche le acque meteoriche, che naturalmente hanno una diversa composizione chimica e possono anche assorbire sostanze pericolose attraverso il contatto con strade, tetti o simili.

Nel rischio includiamo anche la fuoriuscita di fluido termovettore dai tubi flessibili delle SG o dalle relative linee di collegamento. Il fluido termovettore è scelto in modo tale che non si possa formare ghiaccio sull'evaporatore e che i materiali utilizzati nel circuito della SG non corrodano. Nella maggior parte dei casi è costituito da una miscela di acqua e antigelo. Poiché la perdita di pressione nelle SG comporta generalmente un problema alla pompa di calore, il volume totale che può fuoriuscire è limitato.

È possibile ridurre considerevolmente questo rischio con la dovuta accortezza e con interventi appropriati. Se tuttavia si verifica un caso di contaminazione, la diffusione può essere contrastata con fori ben sigillati. Se nella zona delle possibili infiltrazioni sono presenti punti di approvvigionamento per l'acqua potabile, si raccomandano misurazioni comparative prima, durante e dopo i lavori di trivellazione per valutare la qualità dell'acqua delle sorgenti interessate o nelle stazioni di misurazione delle acque sotterranee.

2.4.2 Collegamento tra diversi livelli di acque sotterranee

Questo rischio è fondamentale in quanto può avere effetti irreparabili sulle acque sotterranee. Si tratta della creazione di nuovi flussi d'acqua, tra i livelli delle acque sotterranee ma anche tra diversi sistemi carsici o fessurativi. La mescolanza di diverse acque sotterranee può influenzare le condizioni idrauliche nel sottosuolo e modificare le composizioni chimiche che a loro volta possono avere effetti sulla roccia circostante. Si dovrebbe quindi assolutamente evitare che i diversi livelli delle acque sotterranee siano collegati tra loro tramite le trivellazioni per le SG.

2.4.3 Deflusso della sospensione di riempimento

I compiti centrali del riempimento sono la protezione della SG, la sigillatura del foro e il collegamento termico della sonda al suolo. Ciò deve avvenire conformemente all'aiuto all'esecuzione dell'UFAM sullo sfruttamento del calore dal suolo e dal sottosuolo (disponibile unicamente in tedesco *Wärmenutzung aus Boden und Untergrund* e in francese *Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol*). Ulteriori prescrizioni tecniche figurano anche nell'appendice F3 della norma SIA 384/6.

Tuttavia, senza ulteriori misure di tenuta, la sospensione può penetrare nel terreno circostante in formazioni carsiche, fessure, cavità o rocce altamente permeabili prima di indurirsi. Un deflusso significativo può di solito essere rilevato dalla società di perforazione a causa della degradazione della sospensione o a causa di un successivo abbassamento del riempimento nel foro. Il potenziale pericolo dovuto a cavità di grandi dimensioni può essere rilevato dal capo trivellatore anche in corso d'opera.

Il profilo di rischio è estremamente complesso. A causa della composizione chimica del riempimento, il deflusso deve essere comunque considerato critico in termini tecnici di protezione delle acque. Spesso questo è anche legato a un riempimento incompleto, che è da evitare a causa di ulteriori percorsi e perdite, nonché di un deterioramento della connessione termica della SG.

2.4.4 Pozzi artesiani

Gli acquiferi artesiani si formano quando le acque sono sigillate verso l'alto da uno strato impermeabile e quindi non possono raggiungere il loro livello di pressione idrostatica effettivo. Se questo livello di pressione è superiore alla superficie del terreno, si parla di pozzo artesiano. Se lo strato piano viene perforato, l'acquifero sottostante perforato sale fino al suo livello di pressione idrostatica nella trivellazione. In un pozzo artesiano, le acque sotterranee fuoriescono in superficie. Inoltre, la perforazione di acquiferi artesiani comporta una riduzione della pressione idraulica nella falda acquifera e può influenzare le condizioni delle acque sotterranee a lungo termine.

La fuoriuscita in superficie delle acque sotterranee può provocare non solo un inquinamento diffuso, ma anche danneggiare gli edifici esistenti. Se si perforano acquiferi artesiani, spesso è difficile risalire con precisione al punto del foro da cui defluisce l'acqua. Non solo dal punto di vista della protezione delle acque, quindi, è generalmente necessaria cautela con gli acquiferi artesiani, le aziende di perforazione devono inoltre essere in grado di intervenire con misure immediate.

2.5 Procedura e spiegazione (interviste)

Questo studio fornisce una panoramica dei sistemi di sigillatura per la protezione delle acque sotterranee e una valutazione delle loro proprietà per vari campi di applicazione (profili di rischio). Tuttavia, l'uso di un sistema di tenuta specifico è solo raramente prescritto dalla legge. Per trovare la giusta soluzione sono quindi essenziali una solida competenza e un buon accordo tra i vari attori. La soluzione mira sempre a soddisfare le esigenze di protezione delle acque con un ragionevole rapporto costi-benefici.

Al fine di garantire l'idoneità pratica di questo studio anche per il pubblico e gli attori coinvolti dell'industria geotermica, le conoscenze e l'esperienza degli attori nel campo della trivellazione di SG costituiscono una componente centrale. Si tratta principalmente delle autorità di esecuzione, che garantiscono la protezione delle acque a determinate condizioni (rappresentanti dei Cantoni); delle aziende di perforazione, che le attuano; degli uffici geologici, che accompagnano le trivellazioni per le SG e individuano, valutano e richiedono misure adeguate per la protezione delle acque, nonché del committente, che di solito ne sostiene i costi.

Il capitolo 2.6 spiega più dettagliatamente i soggetti coinvolti nella trivellazione di SG e i loro diritti e doveri.

Nell'ambito di questo progetto si è potuto intervistare solo un numero limitato di attori, non si tratta pertanto di un'indagine rappresentativa. Prima dell'intervista le persone hanno ricevuto una tabella di riferimento, che mette a confronto i singoli sistemi di sigillatura con diversi criteri di valutazione. Per informazioni più dettagliate sui criteri si rimanda al capitolo 2.7. I sistemi di sigillatura sono descritti nel capitolo 3 all'interno dei risultati.

Questa tabella è stata compilata dagli attori e ha costituito la base per le interviste, che sono riassunte e presentate nei capitoli seguenti. Dalle interviste non è quindi possibile risalire alle risposte delle singole persone. Le affermazioni fornite non sono di responsabilità degli autori dello studio e non si può garantire che siano esaustive.

2.6 Protagonisti

Nel selezionare i partner da intervistare, si è cercato di consentire uno scambio di esperienze il più ampio possibile, sia dal punto di vista geografico che in relazione alle esigenze di attuazione dei progetti. Sono stati intervistati rappresentanti di autorità, aziende di perforazione, produttori e geologi. Come spiegato brevemente di seguito, questi hanno una funzione diversa nel contesto delle trivellazioni per SG.

2.6.1 Committente

Il committente deve essere menzionato come primo attore. L'acquirente dell'impianto a SG sostiene l'onere finanziario e il rischio di localizzazione ed è quindi il principale interessato a scegliere un sistema che funzioni a lungo termine. Il committente è anche responsabile di un'implementazione conforme alla protezione delle acque ed è interessato a un'esecuzione professionale. Tuttavia, se i requisiti legali di protezione delle acque in un luogo sono troppo elevati per un impianto economicamente efficiente, ben presto il committente opterà a favore di un'altra fonte di energia.

2.6.2 Autorità

I Cantoni hanno il compito di proteggere le acque superficiali e sotterranee. I Cantoni sono responsabili di approvare un impianto a SG conformemente alla normativa in materia di protezione delle acque e di imporre condizioni specifiche. A seconda della legislazione cantonale, i Comuni interessati sono coinvolti nel processo di autorizzazione. Da uno studio condotto da CSD Ingegneri SA su incarico dell'Ufficio federale dell'energia è emerso quanto segue (stato 2015; presentazione di CSD al seminario sulle sonde geotermiche organizzato da SvizzeraEnergia, 10 settembre 2015, Berna).

- In circa la metà dei Cantoni, la domanda di permesso di trivellazione conforme alla protezione delle acque deve essere presentata da un'autorità cantonale, nell'altra metà da un'autorità comunale.
- In 16 Cantoni il Comune rilascia un permesso di costruzione per ciascuna SG (serve sempre una domanda di costruzione) o almeno è consultato nell'ambito della procedura di

autorizzazione. Negli altri 10 Cantoni, il Comune viene consultato solo in determinati casi (ad es. solo quando la distanza è inferiore al limite o nel caso di nuove costruzioni) o la competenza comunale non è completamente chiara sulla base dei documenti disponibili.

Ciò significa che i permessi di trivellazione sono rilasciati dai Cantoni. Tuttavia, l'effettivo processo di domanda può variare notevolmente all'interno della Svizzera.

2.6.3 Aziende di perforazione

In Svizzera operano numerose aziende di perforazione per la realizzazione di impianti a SG. Il loro compito consiste solitamente nella preparazione e nella sicurezza del cantiere, nei lavori di trivellazione, nell'inserimento della sonda, nel riempimento e nella prova della pressione e del flusso continuo, compresa la protocollatura.

La maggior parte delle aziende di perforazione fa parte dell'Associazione professionale svizzera delle pompe di calore (APP). Viene inoltre rilasciato il relativo marchio di qualità APP, con il quale "può essere raggiunto e garantito anche in futuro un livello qualitativo elevato relativamente alla fabbricazione e all'utilizzo di impianti a sonda geotermica" (www.fws.ch). Queste aziende di perforazione garantiscono, tra l'altro, una realizzazione ecologica delle SG, l'affondamento dei fori secondo il più recente stato dell'arte e l'utilizzo di materiali per le sonde di alta qualità tecnica.

Di regola, le aziende di perforazione sono incaricate dal committente, dal suo rappresentante o dal progettista del sistema di riscaldamento.

2.6.4 Uffici geologici

I servizi richiesti dalle autorità all'ufficio geologico si limitano di norma al monitoraggio geologico dei lavori di trivellazione. In genere, ciò include le istruzioni per il capo trivellatore - prima dell'inizio dei lavori - sulla geologia prevista e sui possibili pericoli, la registrazione del profilo geologico e un rapporto. Il geologo agisce spesso come una sorta di collegamento tra i soggetti coinvolti nel progetto, il che è particolarmente importante in caso di problemi. In molti casi, l'ufficio geologico è anche tenuto a preparare una perizia preliminare.

Dipende quindi anche dalla legislazione cantonale se e in quale forma si debba coinvolgere un ufficio geologico nei lavori di perforazione. Da uno studio condotto da CSD Ingegneri SA su incarico dell'Ufficio federale dell'energia è emerso quanto segue (stato 2015; presentazione di CSD al seminario sulle sonde geotermiche organizzato da SvizzeraEnergia, 10 settembre 2015, Berna).

- In 17 Cantoni ogni trivellazione per SG deve essere seguita sotto il profilo geologico. A seconda dell'ubicazione e della profondità, 6 di essi richiedono una perizia preliminare.
- In 9 Cantoni l'accompagnamento geologico è obbligatorio solo in zone delimitate. A seconda del luogo e della profondità, 3 di essi richiedono una perizia preliminare.

In linea di principio, è opportuno consultare sempre un geologo in luoghi privi di fori preesistenti nelle immediate vicinanze. Ciò è particolarmente vantaggioso nel caso di impianti di grandi dimensioni già nella fase iniziale di progettazione, in quanto le condizioni del sottosuolo

influenzano non solo l'attuazione della tecnica di perforazione e protezione delle acque, ma anche il dimensionamento dell'impianto.

L'ufficio geologico viene solitamente incaricato dal committente, dal suo rappresentante, dal progettista del sistema di riscaldamento o dall'impresa di trivellazione.

2.6.5 Produttori e altri utilizzatori dei sistemi di sigillatura

Diverse aziende in Svizzera e all'estero realizzano prodotti per sigillare le trivellazioni. La maggior parte dei sistemi di tenuta utilizzati in Svizzera sono fabbricati in Germania o in Svizzera. Lo stato dell'arte dipende quindi non solo dalle esigenze di protezione delle acque e dalle esigenze delle aziende di trivellazione, ma anche in larga misura dalla forza innovativa di queste aziende manifatturiere.

Nell'ambito del presente studio, i produttori di sistemi di sigillatura o i loro clienti sono stati consultati o intervistati. Tuttavia, le informazioni fornite non sono sufficienti per un confronto tecnico tra i singoli prodotti, tipi o materiali oggetto della presente indagine.

In una fase successiva, l'Ufficio federale dell'energia intende consultare i produttori di sistemi di sigillatura per conoscere i dettagli tecnici dei singoli prodotti e fornire una panoramica.

2.7 Criteri

In questo capitolo vengono illustrati i sette criteri di valutazione su cui si sono basate le interviste svolte e serviti per valutare i vari sistemi di sigillatura.

La valutazione di un metodo dipende naturalmente dall'approccio adottato. È pertanto prevedibile che i singoli criteri siano interpretati in modo diverso dai vari soggetti interessati. Poiché questo margine di interpretazione costituisce una parte importante del presente studio, i criteri non sono stati deliberatamente definiti in modo più preciso durante le interviste.

2.7.1 Idoneità pratica

L'idoneità pratica è un criterio centrale. Il foro, la SG e i relativi sistemi di tenuta sono interrati e non sono accessibili né direttamente visibili. I dati sulle condizioni del sottosuolo sono generalmente limitati (se non del tutto assenti) alla percezione del capo trivellatore e all'interpretazione geologica del cutting di perforazione (noti anche come detriti di perforazione). Per cutting di perforazione s'intende la roccia frantumata durante il processo di perforazione e portata in superficie dal fango di perforazione. Di norma, è necessario o raccomandato rimuoverla a intervalli di due metri.

Di conseguenza, al momento dell'installazione dei sistemi di sigillatura ci sono spesso ancora incertezze per quanto riguarda la roccia, nonché l'estensione e la profondità di circolazione delle acque sotterranee. Il sistema di tenuta deve essere installato correttamente a una certa profondità, in un foro di diametro limitato.

In questo ambito, le autorità interpretano l'idoneità pratica, soprattutto per quanto riguarda il posizionamento e la capacità funzionale per un certo profilo di rischio. Per l'impresa di trivellazione che esegue i lavori, tuttavia, l'idoneità pratica è definita più dalla possibilità di effettuare

l'installazione senza complicazioni. In questo contesto al geologo spetta l'importante compito di proporre un sistema adeguato alla situazione.

Per poter presentare i risultati in modo uniforme, durante la posa del sistema di sigillatura viene presentata l'idoneità pratica con i risultati tecnici dell'azienda di trivellazione.

2.7.2 Attendibilità

L'attendibilità descrive essenzialmente se il sistema di tenuta può risultare efficace con la maggiore percentuale possibile di riuscita per ciascuna installazione e a lungo termine, in caso di corretta installazione. Ciò è spesso difficile da giudicare ed è in una certa misura di responsabilità dell'osservatore. Sebbene siano già stati effettuati test per diversi sistemi di sigillatura, spesso i sistemi stessi sono ancora troppo recenti per essere esaminati sul lungo periodo. Inoltre, è tecnicamente impossibile controllare in modo rappresentativo il funzionamento dei sistemi installati nel foro.

Al fine di presentare i risultati in modo uniforme, l'attendibilità emerge al momento della presentazione dei risultati, in termini di protezione delle acque.

2.7.3 Costi

I costi sono generalmente un punto importante. Vengono utilizzati generalmente solo sistemi di tenuta con un ragionevole rapporto costi-benefici, tuttavia non facile da misurare. Il rendimento è misurato con il tasso di successo della costruzione di un impianto sostenibile e funzionale che soddisfi tutti i requisiti ufficiali (essenzialmente della legislazione in materia di protezione delle acque). Da un lato, i costi si misurano con le spese dirette per l'acquisto del sistema di tenuta. Dall'altro, con quelle supplementari sostenute dalla società di trivellazione e dagli altri partecipanti al progetto per l'installazione del sistema.

2.7.4 Limiti

I limiti dei sistemi di sigillatura sono stati generalmente interpretati tecnicamente. Nel valutare i vantaggi e gli svantaggi dei singoli sistemi, non si devono trascurare i limiti d'uso effettivi. I limiti d'uso possono essere interpretati spazialmente (ad es. posa possibile solo oltre una certa profondità di trivellazione) o in base all'intensità (ad es. potenza del pozzo artesiano).

2.7.5 Fatturato

Sul mercato sono disponibili numerosi sistemi e prodotti per sigillare i fori delle SG. I prodotti più comunemente utilizzati sono venduti direttamente alle società di trivellazione dalle aziende manifatturiere. Tuttavia, esiste anche un numero considerevole di prodotti fabbricati dalle società di trivellazione stesse. Non di rado si tratta di prodotti unici che non possono essere chiaramente assegnati a un sistema specifico secondo la definizione di cui sopra.

I dati effettivi sulle vendite da parte delle imprese manifatturiere non sono generalmente accessibili. Tuttavia, questo studio può fornire un quadro approssimativo delle quote di mercato dei singoli sistemi.

2.7.6 Raccomandazioni

Il presente studio intende fornire una panoramica dei sistemi di tenuta a disposizione degli operatori del settore geotermico. Trattandosi di uno studio orientato alla pratica, gran parte delle informazioni sono ottenute anche da questi attori. Di conseguenza, durante le interviste è stata attribuita grande importanza alle loro raccomandazioni.

3 Valutazione dei sistemi di sigillatura

In questo capitolo presentiamo i sistemi di tenuta attualmente disponibili sul mercato, che sono stati discussi anche durante le interviste. Una delle principali preoccupazioni di questo studio sono le definizioni dei termini. La maggior parte dei sistemi di tenuta può essere classificata nell'ambito dei quattro promemoria di "SvizzeraEnergia". Altri sistemi di tenuta sono stati aggiunti come parte dello studio. La varietà di prodotti, tipi e materiali è molto ampia e non può essere trattata in dettaglio, altrimenti verrebbe meno la preoccupazione centrale di fornire un quadro d'insieme.

3.1 Tubazione permanente

3.1.1 Descrizione del sistema

Dal punto di vista concettuale, la tubazione permanente è un sistema semplice per sigillare un foro. L'elemento principale è un tubo a sezione completa che separa la SG, compreso il riempimento, dalla roccia e quindi dalle acque sotterranee circostanti.

In questo studio, le tubazioni permanenti sono definite come segue: le tubazioni permanenti comprendono anche tubi a sezione completa incorporati per sigillare la SG e il riempimento rispetto alla roccia circostante. La SG può essere utilizzata normalmente.

Per il tubo si possono utilizzare vari tipi di materiale. Si tratta essenzialmente di acciaio (ad es. tubi di acciaio installati in aggiunta o anche tubi di rivestimento lasciati nel terreno) o di plastica (PVC, PE) per la posa dopo la trivellazione.

Se utilizzati in SG, i tubi di plastica vengono normalmente installati nel foro attraverso la profondità da sigillare in una fase di lavoro separata. Lo spazio tra la tubazione permanente e la SG viene poi riempito. In questo modo si evita la fuoriuscita incontrollata, orizzontale della sospensione nella roccia circostante. Ciò corrisponde alla cosiddetta "variante semplificata" riportata nel promemoria di Svizzera Energia.

Per impedire completamente la circolazione dell'acqua (anche in direzione verticale) è necessaria una cementazione sotto pressione dello spazio anulare tra il tubo e la parete del foro e una cementazione alla base dell'estremità inferiore del tubo.

3.1.2 Idoneità pratica

La tubazione permanente viene solitamente inserita nel foro prima che la sonda venga interrata e riempita. Nella maggior parte dei casi, i tubi di plastica (p.es. PVC, PE) vengono installati in una fase di lavoro separata, dopo la foratura, alla profondità desiderata. Rientra in questa categoria anche l'inserimento nel sottosuolo della tubazione di rivestimento di acciaio, che viene trasportata nelle rocce incoerenti durante la perforazione con martello fondo foro. In entrambe le varianti, le singole sezioni di tubo devono essere avvitate insieme. La variante con tubi di plastica comporta il rischio tecnico di installazione che nelle trivellazioni eseguite con martelli fondo foro venga inserito nel tubo di rivestimento il tubo di plastica di diametro leggermente inferiore (sono tubi comuni dal

diametro di 125 mm), in modo da poter spostare nuovamente le tubazioni permanenti rimuovendo il tubo di rivestimento provvisorio. Tuttavia, si stima che questo rischio sia basso in caso di posa a profondità ridotte. Di conseguenza, l'installazione di tubazioni permanenti è generalmente più adatta per applicazioni in prossimità della superficie.

Un altro argomento contro l'idoneità pratica delle tubazioni permanenti è che sono relativamente grandi e ingombranti e quindi non è sempre possibile trasportarle normalmente. Un incarico richiede solitamente una consegna speciale con i relativi costi e tempi di attesa.

Va inoltre notato che nel caso di trivellazioni per le SG si utilizzano generalmente diametri di foratura compresi tra 135 e 178 mm, il che limita lo spazio nel foro, in particolare per i diametri maggiori dei tubi per le SG (40 mm o più). Per gli stessi motivi, le tubazioni permanenti con i flessibili per le SG sono piuttosto rigide, il che esclude praticamente la combinazione con altri sistemi di tenuta allo stesso livello di profondità.

3.1.3 Affidabilità in termini di protezione delle acque

Le singole sezioni dei tubi di acciaio e di plastica possono essere avvitate saldamente tra loro e, se montate correttamente, offrono un sistema di tenuta affidabile. Il prerequisito è che per le tubazioni si scelga un materiale inerte a determinate condizioni chimiche.

Tuttavia, la tenuta attraverso il tubo stesso è limitata alla direzione orizzontale tra la SG riempita e la roccia circostante o la falda acquifera. Non fornisce una tenuta affidabile nei flussi d'acqua verticali senza spazio anulare e cementazione alla base.

Si ricorda inoltre che eventuali danni verificatisi durante la posa non sono individuabili e pertanto riparabili.

3.1.4 Costi

I costi per l'utilizzo di tubi di acciaio sono relativamente elevati (circa 200 CHF/m per diametri standard). I tubi di plastica sono molto più economici (circa 20-30 CHF /m per diametri standard). Per questi ultimi, tuttavia, i costi di posa aggiuntivi devono essere considerati in una fase di lavoro separata. I costi dipendono anche dalla lunghezza della trivellazione da sigillare.

3.1.5 Frequenza d'uso

Le tubazioni permanenti come sistema di tenuta delle trivellazioni per SG sono utilizzate relativamente di rado. Il motivo è il prezzo dei tubi di acciaio, per quelli di plastica l'onere aggiuntivo è dovuto alla fase di lavoro separata relativamente onerosa e alle possibili complicazioni durante la posa a causa dello spazio limitato disponibile nel foro.

Non esistono dati effettivi sulla quota di mercato delle tubazioni permanenti per sigillare le trivellazioni per SG. Tuttavia, si stima che sia inferiore al 5%.

3.1.6 Discussione delle possibili applicazioni in rapporto ai profili di rischio

Poiché la tubazione permanente non fornisce una sigillatura aggiuntiva in direzione verticale, non rappresenta una soluzione adeguata per la tenuta dei flussi d'acqua verticali (ad es. acquiferi artesiani) o per la separazione di diversi livelli di acque sotterranee.

Tuttavia, le tubazioni permanenti sono molto utili per proteggere una falda acquifera dal contatto con il riempimento o con altre sostanze pericolose per le acque sotterranee presenti all'interno della trivellazione per le SG (ad es. fluido termovettore in caso di perdite). Inoltre, è possibile evitare in modo affidabile che la sospensione di riempimento si disperda nella roccia circostante, nelle acque sotterranee o nelle fessure e nelle cavità. Poiché con l'aumentare della profondità la posa corretta diventa sempre più impegnativa sotto il profilo tecnico e soggetta a possibili danni, l'uso è consigliato solo in zone superficiali.

Se utilizzata correttamente, la tubazione permanente è un sistema di tenuta tra la falda acquifera e la trivellazione per le SG complessivamente pratico e affidabile, ma anche relativamente oneroso.

3.2 Calza per sonde geotermiche

3.2.1 Descrizione del sistema

La calza per sonde geotermiche (fig. 2) è un materiale impermeabile all'acqua e al cemento che ha la forma di una guaina o di un geotessile, estensibile e facilmente infilabile sulla SG. La calza impedisce la fuoriuscita della sospensione di riempimento e sigilla la sonda, incluso il riempimento rispetto alla roccia circostante e all'acquifero. La SG può essere utilizzata normalmente.

La calza per sonde geotermiche ha quindi una funzione analoga a quella delle tubazioni permanenti, vale a dire quella di mantenere la sospensione intorno alla SG e quindi di garantire la tenuta delle SG, compreso il riempimento rispetto a rocce circostanti e acque sotterranee. A differenza delle tubazioni permanenti, la calza viene solitamente infilata sull'intera sonda e interrata nel foro insieme ad essa. La calza viene poi riempita con una sospensione, con la quale può premere contro la parete del foro e fornire anche una tenuta verticale.

In pratica, la calza spesso non viene utilizzata per l'intera lunghezza della SG, ma solo a una certa profondità. Per garantire la funzione di tenuta, deve essere possibile fissare e sigillare la calza in modo preciso e affidabile in posizione corretta.

Una forma speciale di calza per SG è quella a membrana (brevettata da Broder AG). Si tratta (in maniera semplificata) di una sonda coassiale (a differenza della sonda a doppia U) in cui il tubo esterno viene sostituito da una membrana di tessuto poliestere impermeabile all'acqua, che si preme contro la parete del foro tramite la circolazione del fluido termovettore (acqua).

3.2.2 Idoneità pratica

La calza per sonde geotermiche è posizionata nel foro attraverso i flessibili per le SG alla profondità desiderata e in contemporanea. Non si tratta quindi di una vera e propria fase di lavoro separata, ma al massimo di un onere supplementare per la preparazione dei flessibili per SG, prima della loro posa nel foro attraverso una bobina e durante il riempimento.

Questo onere supplementare è generalmente considerato accettabile. Tuttavia, questo dipende anche dalla lunghezza dell'installazione. A causa del diametro limitato del foro, diventa sempre più difficile infilare la calza sulla sonda nel foro senza fare danni. Anche per questo motivo le calze vengono spesso installate solo in sezioni. Le calze hanno in genere una lunghezza di 100 m e quelle di circa 30-50 m sono ancora considerate accettabili. Un altro grande vantaggio è che la calza è relativamente maneggevole



e può quindi essere trasportata dal team di trivellazione come dotazione standard e può essere combinata con altri sistemi di tenuta.

Va inoltre notato che anche i tubi di iniezione supplementari per la calza stessa e per la zona di trivellazione al di sotto della calza devono essere interrati, il che richiede uno spazio supplementare nel foro. La corretta posa e soprattutto il corretto riempimento della calza e della zona sovrastante e sottostante è estremamente importante per la funzionalità e richiede competenza ed esperienza da parte dell'azienda di trivellazione.

Figura 2: posa di una calza per sonde geotermiche (fonte: CSD Ingegneri SA)

3.2.3 Affidabilità in termini di protezione delle acque

Una volta installate correttamente, le calze di tessuto sono un metodo affidabile per la posa lungo l'intera lunghezza del foro, per evitare che la sospensione fuoriesca nel sottosuolo.

Tuttavia, se la calza è installata solo in sezioni e fissata ai flessibili della sonda, è difficile controllare se si muove rispetto al flessibile della sonda durante la posa e se è posizionata correttamente. Anche la tenuta alle singole estremità è difficile da garantire. In linea di principio, si consiglia di installare la calza lungo l'intera lunghezza delle SG.

Durante la posa della sonda e lo smontaggio della tubazione di copertura si rischia in generale di danneggiare il geotessile. Trattandosi di un sistema con tessuto flessibile, allo stato attuale delle conoscenze non è possibile verificare in modo affidabile la tenuta dopo la posa, ad esempio

tramite la pressione di riempimento della sospensione. Di conseguenza, eventuali danni non possono essere rilevati o riparati.

Analogamente alle tubazioni permanenti, la calza è un sistema affidabile per sigillare la falda acquifera dalla SG, incluso il suo riempimento su tutta la profondità di perforazione. La sigillatura verticale non è invece lo scopo primario di questo sistema. A differenza delle tubazioni permanenti, la calza può anche aiutare a prevenire il flusso verticale dell'acqua, perché spinge contro la parete del foro attraverso il materiale di riempimento.

L'affidabilità non può essere valutata con certezza. Ciò è dovuto al fatto che i danni che si verificano durante la posa sono difficilmente identificabili e riparabili.

3.2.4 Costi

I costi di utilizzo delle calze per SG sono generalmente considerati accettabili, se non relativamente bassi e ammontano a circa 20-50 CHF/m. I costi dipendono anche dalla lunghezza del foro da sigillare. Durante la posa e il riempimento si deve tener conto di un certo onere supplementare per il team di trivellazione.

3.2.5 Frequenza d'uso

La calza per SG viene utilizzata relativamente spesso come sistema di tenuta nel caso di trivellazioni per SG. È relativamente economica e può essere installata senza grandi oneri aggiuntivi. Pertanto, molte aziende di perforazione hanno tali prodotti in dotazione in cantiere o almeno in magazzino. Di solito viene utilizzata efficacemente per ordine delle autorità o su istruzione del geologo. Solo raramente, ma sempre più frequentemente, è installata dall'impresa di trivellazione di propria iniziativa, ad esempio per contrastare la perdita di sospensione in cavità e fessure.

Non sono disponibili dati effettivi sulla quota di mercato delle calze in tessuto utilizzate per sigillare le trivellazioni per le SG. Tuttavia, si stima che si aggiri intorno al 30-50%.

3.2.6 Discussione delle possibili applicazioni in rapporto ai profili di rischio

La calza per SG serve principalmente a sigillare orizzontalmente, prevenendo la perdita di sospensione nella roccia circostante. Può essere utilizzata anche per la sigillatura verticale a profondità maggiori, o almeno in combinazione con altri sistemi. Le possibili applicazioni sono quindi molteplici e vantaggiose in quanto affidabili in molte situazioni di pericolo. La falda acquifera è sigillata dalla SG e dal riempimento e la perdita di sospensione in rocce incoerenti, zone carsiche, fessure o cavità possono essere evitati in modo affidabile. Grazie alla tenuta della parete di trivellazione, può anche contrastare il flusso verticale nel caso di acquiferi artesiani. La calza può contribuire a separare con sicurezza i livelli delle acque sotterranee e dei pozzi artesiani, ma dovrebbe essere utilizzata solo in combinazione con altri sistemi (ad es. sacco otturatore in tessuto geotessile o sacco otturatore per trivellazioni).

Se installata in modo professionale e senza danni, la calza per SG offre una protezione affidabile e versatile delle acque sotterranee e può essere utilizzata a grandi profondità.

3.3 Sacco otturatore in tessuto geotessile

3.3.1 Descrizione del sistema

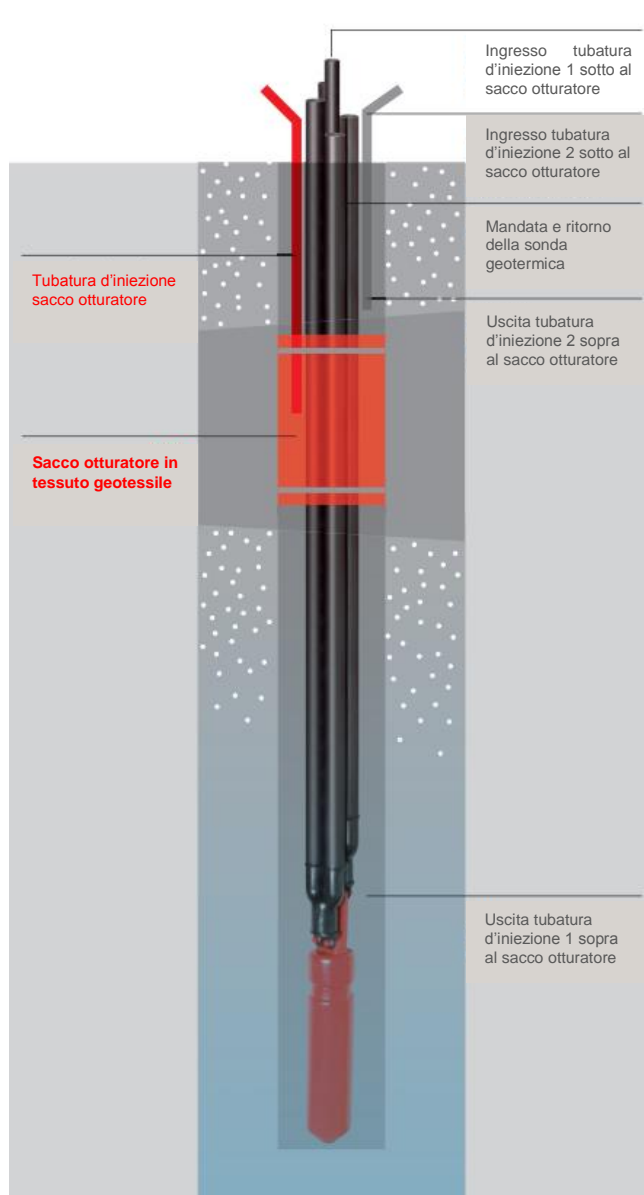


Figura 3: schema di sacco otturatore in tessuto geotessile (fonte: HakaGerodur AG)

Il sacco otturatore in tessuto geotessile è un tubo in tessuto filtrante (o simile) che viene fissato a una certa profondità di perforazione (o a una certa posizione della SG).

A differenza dei sistemi di tenuta discussi finora, il sacco otturatore in tessuto geotessile ha essenzialmente lo scopo di prevenire il flusso verticale dell'acqua. A questo scopo, viene fissato direttamente alla sonda nell'area della profondità da sigillare e interrato insieme alla sonda. Il sacco otturatore è costituito da un tessuto stabile e viene quindi riempito con una sospensione di cemento sotto pressione. Si espande così fino alla parete della trivellazione e sigilla il foro verso il basso e verso l'alto (verticalmente). La SG può essere utilizzata anche con un sacco otturatore, fissato alla sonda mediante manicotti di tenuta. In linea di principio, ad una sonda possono essere collegati più sacchi otturatori.

3.3.2 Idoneità pratica

Analogamente alla calza, il sacco otturatore in tessuto geotessile è posizionato nel foro con il flessibile della SG alla profondità desiderata. Ciò significa che il sacco otturatore non prevede una fase di lavoro a sé stante. L'azienda di trivellazione sostiene oneri aggiuntivi durante la preparazione della SG prima della sua introduzione nel foro attraverso una bobina e durante il riempimento.

Il sacco otturatore è solitamente corto. Il prodotto "Geotight" (fig. 3) ha una lunghezza standard di 2,5 m, ma può essere fornito in lunghezze maggiori. L'onere aggiuntivo necessario per la posa

non dipende quindi in genere dalla lunghezza. Il lavoro supplementare necessario per questo sistema di tenuta è generalmente considerato accettabile e non dipende dalla profondità della posa. Il rischio di danni durante l'installazione è relativamente basso nel caso del sacco otturatore in tessuto geotessile. È considerato maneggevole e richiede relativamente poco spazio, come la calza, e può quindi far parte della dotazione standard del team di trivellazione.

È difficile controllare se il sacco otturatore in tessuto geotessile è installato correttamente e nella giusta posizione. Di conseguenza, non è possibile rimediare a eventuali problemi. Va inoltre notato che anche i tubi di iniezione supplementari per il sacco stesso e per la zona di perforazione sottostante devono essere interrati, il che richiede uno spazio supplementare nel foro. La corretta posa e soprattutto il corretto riempimento del sacco, come pure della zona superiore e inferiore, sono estremamente importanti per la funzionalità e richiedono competenza ed esperienza da parte dell'azienda di trivellazione.

Il sacco otturatore in tessuto geotessile per SG può essere quindi utilizzato a qualsiasi profondità per la sigillatura verticale e può anche essere combinato con altri sacchi otturatori in tessuto geotessile o sistemi di altro tipo.

3.3.3 Affidabilità in termini di protezione delle acque

A differenza delle tubazioni permanenti e della calza per SG, il sacco otturatore in tessuto geotessile è utilizzato principalmente per la sigillatura verticale e non per quella orizzontale.

Se installato correttamente, può prevenire in modo affidabile e nel tempo il flusso verticale dell'acqua, perché sotto pressione può sigillare l'area intorno alla SG fino alla parete del foro. È quindi adatto soprattutto per la separazione di diversi livelli di acque sotterranee, per l'impermeabilizzazione da acque superficiali inquinate o per l'impermeabilizzazione nel caso di acquiferi artesiani. Siccome il sacco otturatore in tessuto geotessile è posizionato intorno alla sonda, questo sistema consente di utilizzare la SG anche nel caso di pozzi artesiani forati. Tuttavia, in caso di elevata pressione artesiani, la posa della sonda e quindi del sacco otturatore in tessuto geotessile potrebbe non essere possibile. In questo caso è particolarmente importante che il sacco otturatore in tessuto geotessile venga iniettato completamente e con rapporti di pressione e di miscelazione ottimali.

Infine, va ricordato che l'affidabilità non può essere valutata in modo esaustivo. I danni che si possono verificare durante la posa sono difficilmente individuabili e quindi anche difficilmente riparabili. Il sacco otturatore è realizzato in tessuto stabile. Durante l'iniezione a pressione, la tenuta può quindi essere controllata tramite un manometro. Inoltre, il tessuto è permeabile all'acqua. Questo accelera il processo di indurimento, che nel caso di interventi immediati risulta utile e consente un miglior controllo.

3.3.4 Costi

I costi per l'uso dei sacchi otturatori in tessuto geotessile sono generalmente considerati sostenibili, ma sono più elevati di quelli di una calza per SG di lunghezza comparabile. Durante la posa e il riempimento si deve tener conto di un certo onere supplementare per il team di trivellazione.

3.3.5 Frequenza d'uso

Il sacco otturatore in tessuto geotessile è utilizzato con una certa frequenza come sistema di tenuta nel caso di trivellazioni per SG, poiché può essere installato senza grandi oneri. Pertanto, la maggior parte delle aziende ha sempre in dotazione tali prodotti in cantiere o almeno in magazzino. Di solito viene utilizzato efficacemente per ordine delle autorità o su istruzione del geologo.

La quota di mercato effettiva dei sacchi otturatori in tessuto geotessile non è calcolabile con certezza. Tuttavia, si stima che si aggiri intorno al 30-50%.

3.3.6 Discussione delle possibili applicazioni in rapporto ai profili di rischio

Il sacco otturatore in tessuto geotessile è utilizzato principalmente per la sigillatura verticale. Offre una protezione affidabile contro l'ingresso di acque superficiali, il collegamento di diversi livelli di acque sotterranee o le fuoriuscite da acquiferi artesiani.

Tuttavia, la lunghezza effettiva di tenuta nel foro è di pochi metri, che è molto meno dello spessore tipico delle falde acquifere degne di protezione. Non è quindi idoneo a proteggere l'intera falda acquifera dalla SG che la penetra e dal suo riempimento.

Il sacco otturatore in tessuto geotessile può essere combinato con altri sistemi di tenuta o con altri sacchi, tenendo conto dello spazio disponibile nel foro. Con una corretta posa del sacco otturatore in tessuto geotessile, è possibile garantire un'affidabile tenuta verticale a qualsiasi profondità.

3.4 Sacco otturatore per trivellazioni

3.4.1 Descrizione del sistema

La forma più comune di sistema di tenuta per trivellazioni è il sacco otturatore per trivellazioni (cfr. fig. 4). Analogamente al sacco in tessuto geotessile, lo scopo principale è quello di impedire il flusso verticale dell'acqua ad una certa profondità. A tale scopo, il sacco otturatore per trivellazioni viene posizionato nel foro aperto tramite un flessibile o un'asta (ad es. sull'attrezzatura di perforazione) nella posizione corrispondente tramite mezzo di pressione (ad es. aria compressa proveniente da un compressore) o anche tramite compressione lungo l'asse longitudinale fino al completo riempimento del foro. In linea di principio può essere installato più volte e spostato liberamente.

I sacchi otturatori per trivellazioni utilizzati per le SG sono spesso chiamati anche "sacchi otturatori flessibili" o più colloquialmente "palloncini".



Figura 4: sacco otturatore per trivellazioni (fonte: Comdrill Bohrausrüstungen GmbH)

Questo sistema di tenuta è formato essenzialmente da un tubo di tessuto espandibile, infilato su un tubo di acciaio ed espanibile con un flessibile aggiuntivo. Il tubo di acciaio per il corretto posizionamento nel foro viene collegato alle aste di montaggio mediante filettatura e può essere nuovamente scollegato al termine della sigillatura.

3.4.2 Idoneità pratica

Analogamente al sacco otturatore in tessuto geotessile, anche il sacco otturatore per trivellazioni viene installato a una certa profondità di perforazione per una sigillatura puntuale. A differenza del sacco in tessuto tuttavia, il montaggio non avviene tramite la SG, ma in una fase di lavoro separata, ad esempio tramite il collegamento dell'attrezzatura di perforazione nella posizione desiderata. Con questo sistema, quindi, ci si deve sempre aspettare un notevole onere aggiuntivo, almeno rispetto alla calza o al sacco in tessuto, che vengono installati insieme alle sonde.

Inoltre, il sacco otturatore per trivellazioni non viene solitamente riempito con una miscela di cemento, ma con altro materiale (ad es. aria). Pertanto, è necessario inserire anche un flessibile supplementare, che comporta un certo rischio di strappo. L'esperienza ha dimostrato che a volte sono necessari diversi tentativi prima che si riesca a effettuare la posa.

Per il resto, il sacco otturatore è considerato maneggevole, richiede relativamente poco spazio e il team di trivellazione può quindi averlo come dotazione standard. Tuttavia, è la soluzione ideale per la sigillatura verticale, senza la posa di sonde. Per questo motivo è molto pratico e affidabile per arrestare un pozzo artesiano a qualsiasi profondità.

Se il sacco otturatore è installato correttamente e nella giusta posizione, si può anche utilizzare in superficie all'ingresso dell'acquifero artesiano. Per determinare la posizione, è indispensabile una buona collaborazione tra il capo trivellatore e il geologo. La profondità di perforazione da sigillare può essere definita in modo ottimale solo combinando i risultati dei lavori di perforazione con le conoscenze di base del geologo sul sottosuolo.

In linea di principio, per l'installazione di una SG si può utilizzare il foro sopra il sacco otturatore, ma questa possibilità deve essere tuttavia valutata a seconda della situazione.

Il sacco otturatore può quindi essere utilizzato a qualsiasi profondità per la sigillatura verticale. Tuttavia, non è possibile utilizzare alcuna SG, motivo per cui questo sistema è di solito utilizzato solo nel caso di pozzi artesiani.

3.4.3 Affidabilità in termini di protezione delle acque

Il sacco otturatore per trivellazioni è una buona soluzione per un primo intervento in caso di fuoriuscita di acqua da pozzi artesiani ed è solitamente utilizzato quando l'installazione di una SG non è più consentita a causa del pozzo artesianesimo o un altro sistema è escluso a causa dell'elevata pressione del pozzo artesianesimo. Esperienze diverse anche con pozzi artesiani forti mostrano una tenuta buona e immediata, oltre a un'elevata efficacia complessiva.

Infine, va ricordato che l'affidabilità non può essere valutata in modo definitivo a causa della mancanza di studi a lungo termine.

3.4.4 Costi

Il costo dell'utilizzo di sacchi otturatori per trivellazioni è determinato principalmente dal lavoro supplementare del team di trivellazione ed è quindi difficile da quantificare. Poiché questi sono generalmente efficaci solo se il foro non può più essere utilizzato con una SG - o almeno non per tutta la sua lunghezza. In queste circostanze particolari, l'onere supplementare e le possibili complicazioni durante la posa sono accettabili.

3.4.5 Frequenza d'uso

Nel complesso, il sacco otturatore per trivellazioni viene utilizzato relativamente poco come sistema di tenuta nel caso di trivellazioni per SG. Non esistono dati reali sulla quota di mercato. Tuttavia, si stima che sia inferiore al 5% in relazione a tutte le misure di sigillatura adottate. Ciò è dovuto principalmente al fatto che viene utilizzato solo quando a una data profondità non si possono più installare SG.

3.4.6 Discussione delle possibili applicazioni in rapporto ai profili di rischio

Il sacco otturatore per trivellazioni viene utilizzato esclusivamente per la sigillatura verticale e non consente di installare una SG. Pertanto, questo sistema è utilizzato praticamente solo quando non c'è altro modo di sigillare o non vi sono altre alternative consentite. Viene quindi solitamente utilizzato in caso di fuoriuscite da acquiferi artesiani.

In questo modo, il foro può essere sigillato in modo affidabile a qualsiasi profondità durante un primo intervento.

3.5 Altri sistemi di sigillatura

Di seguito vengono brevemente presentati altri due metodi che possono essere utili per sigillare i fori.

3.5.1 Riempimento speciale

Il riempimento svolge già di per sé un ruolo importante quando si eseguono trivellazioni per SG. Oltre alla protezione della SG e al suo collegamento termico con il terreno, ha anche una funzione di sigillatura rispetto all'ambiente circostante e in particolare rispetto alle acque sotterranee.

L'aiuto all'esecuzione dell'UFAM per l'utilizzazione del calore nel sottosuolo descrive la miscela standard di bentonite, cemento e acqua. Il capo trivellatore ha la possibilità di variare la pressione d'iniezione o, con la composizione, la densità e la viscosità della sospensione. Tuttavia, per quanto riguarda i requisiti di protezione delle acque, in generale non è sufficiente sigillare in modo dimostrabile e a lungo termine la sonda geotermica rispetto alle acque sotterranee.

Inoltre, sono in commercio diversi prodotti che per il momento sono già in grado di soddisfare determinati requisiti per il riempimento. Ad esempio, ci sono additivi in miscele pronte di sostanze che si espandono (ad es. minerali argillosi) e possono impedire alla sospensione di defluire in piccole fessure o cavità a causa dell'aumento del volume a contatto con l'acqua. Esistono anche additivi che aumentano la densità della sospensione (ad es. la "barite"). Nel caso di acquiferi artesiani bassi, è sufficiente come contropressione per sigillarle.

Va tuttavia osservato che questi additivi nel riempimento non possono sostituire i sistemi di sigillatura summenzionati. Non è possibile verificare se la loro applicazione abbia successo in modo duraturo, ma possono essere tuttavia un buon complemento. Ad esempio, dopo che un pozzo artesiano è stato sigillato con un sacco otturatore, l'area del foro soprastante può essere riempita con una sospensione arricchita di barite.

Per qualsiasi additivo al riempimento, tuttavia, si deve sempre chiarire con precisione la compatibilità con le acque sotterranee. Occorre inoltre tener conto di altri requisiti tecnici, quali le condizioni di pressione all'interno della sonda geotermica e lungo il suo perimetro.

3.5.2 Iniezioni

Le iniezioni vengono normalmente utilizzate nella trivellazione per SG solo se l'acquifero artesiano continua a fuoriuscire dal foro completato e riempito. Di regola, le plastiche liquide (schiuma PU o resina sintetica) vengono iniettate nella trivellazione già indurita o nel terreno circostante. In questo modo si indurisce e si aumenta il volume, con conseguente compattazione e sigillatura.

Da tempo si ricorre con successo a metodi di iniezione di questo tipo o simili per stabilizzare l'area edificabile o per sigillare gli edifici dal terreno.

Con questo metodo, i pozzi artesiani possono spesso essere sigillati con successo a posteriori. Tuttavia, può essere applicato solo a profondità comprese tra 10 e 20 m. In linea di principio, dovrebbe essere considerata una soluzione di emergenza relativamente costosa e onerosa quando si sono esaurite tutte le altre possibilità.

4 Sintesi delle possibili applicazioni

La seguente tabella riassume le principali proprietà dei sistemi di sigillatura, sulla base delle interviste condotte.

Sistema di sigillatura	Sigillatura orizzontale	Sigillatura verticale
Tubazione permanente (QM < 5%)	Adatto Possibile nella zona superficiale Affidabile a qualsiasi distanza Possibilità di posa di sonde Oneroso	Non adatto
Calza per sonde geotermiche (QM = 30-50%)	Adatto Possibile a qualsiasi profondità Affidabile a qualsiasi distanza Possibilità di posa di sonde Poco oneroso	Adatto a determinate condizioni Possibile a qualsiasi profondità Affidabile a qualsiasi distanza Possibilità di posa di sonde Per pozzi artesiani deboli Poco oneroso
Calza per sonde geotermiche (QM = 30-50%)	Non adatto, o solo su brevissime distanze	Molto adatto Possibile a qualsiasi profondità Molto affidabile su una distanza limitata Possibilità di posa della sonda Per artesiani deboli-medi Poco oneroso
Sacco otturatore per trivellazioni (QM < 5%)	Non adatto	Adatto Possibile a qualsiasi profondità Molto affidabile su una distanza limitata Impossibile la posa di sonde Per artesiani deboli-forti Poco oneroso

Tabella 3: sintesi dei sistemi di sigillatura e relative caratteristiche. QM = quota di mercato stimata sulla base delle interviste (non sono disponibili dati effettivi).

Ci limitiamo alle quattro categorie di sistemi di tenuta di cui ai capitoli 3.1-3.4 (elenco), in quanto i prodotti disponibili sul mercato possono di norma essere assegnati anche a queste categorie.

Un risultato importante di questo lavoro è che la ripartizione tra sigillatura orizzontale e verticale è utile per valutare le proprietà dei singoli sistemi. I profili di rischio possono essere assegnati come segue.

Particolarmente importante è la sigillatura orizzontale del foro nella zona della falda acquifera da proteggere:

- deflusso della sospensione nelle acque sotterranee, nelle cavità, nelle fessure, ecc.
- ingresso nel foro dell'acqua superficiale contaminata o del fluido termovettore

La sigillatura verticale è particolarmente importante in caso di:

- collegamento di diversi livelli di acque sotterranee e corsi d'acqua
- pozzi artesiani
- ingresso nel foro dell'acqua superficiale contaminata o del fluido termovettore

L'assegnazione non è univoca. Ad esempio, la sigillatura orizzontale e verticale può essere altrettanto importante contro l'ingresso di acque superficiali contaminate e pertanto figura per entrambe le categorie.

Questo permette di ricavare ed evidenziare i seguenti punti chiave.

- La tubazione permanente e la calza per SG sono adatte per la sigillatura orizzontale. Premendola contro la parete del foro, la calza può anche sigillare in verticale (almeno come supporto, ad esempio insieme a un otturatore).
- La tubazione permanente dovrebbe essere utilizzata prevalentemente nelle zone superficiali.
- La calza dovrebbe essere utilizzata per tutta la profondità della trivellazione e coprire l'intera SG.
- Grazie alla loro lunghezza ridotta, i sacchi otturatori in tessuto geotessile e i sacchi otturatori per trivellazioni sono adatti per la sigillatura verticale, meno per quella orizzontale.
- Tutti i sistemi di tenuta sono disponibili come prodotti ad uso pratico e possono essere installati a costi ragionevoli. Il discorso cambia per le tubazioni permanenti, che richiedono molto spazio anche quando sono smontate e non possono far parte della dotazione standard.
- Per quanto riguarda l'affidabilità, mancano studi o misurazioni a lungo termine e la possibilità di eseguire controlli nella trivellazione ultimata per le SG. Solo nel caso della sigillatura di pozzi artesiani, l'esito positivo è verificabile praticamente immediatamente. Tuttavia, nemmeno l'effetto duraturo è stato dimostrato. Nel complesso, tuttavia, i prodotti sono riconosciuti come maturi e sono considerati altamente affidabili.
- Il rischio di danni durante la posa è considerato più elevato per le calze per SG che per altri sistemi di tenuta, soprattutto a causa della guaina geotessile.

- Le calze di tessuto per SG (per pozzi artesiani deboli), il sacco otturatore in tessuto geotessile (per pozzi artesiani medio-deboli) e il sacco otturatore per trivellazioni sono adatti per sigillare i pozzi artesiani, anche in caso di forte fuoriuscita di acqua.
- Con tutti i sistemi, ad eccezione del sacco otturatore per trivellazioni, la calza per SG può essere applicata e regolata alla profondità originariamente prevista e utilizzata. In genere la calza può essere utilizzata sopra al sacco otturatore per trivellazioni.
- I diversi sistemi possono e devono essere installati più volte e combinati in determinate circostanze. Il limite principale è il diametro limitato del foro e lo spazio corrispondente disponibile nel foro.
- I costi sono difficili da confrontare tra i singoli sistemi di tenuta. Per le calze per SG e le tubazioni permanenti i prezzi sono al metro, per il sacco otturatore in tessuto geotessile e il sacco otturatore per trivellazioni i prezzi sono al pezzo. Soprattutto se l'installazione prevede una fase di lavoro speciale (tubazioni permanenti e sacco otturatore per trivellazioni), il prezzo di acquisto del prodotto da installare non è il fattore decisivo dei costi. Tanto più se sono richiesti tempi di attesa e consegne speciali.

5 Conclusioni

Dal lavoro, dalle ricerche e dalle interviste effettuate, si traggono le seguenti conclusioni.

È chiaramente evidente che negli ultimi anni è aumentata la consapevolezza nei confronti dei problemi di protezione delle acque, anche nelle trivellazioni per SG. Sempre più aziende di trivellazione partecipano attivamente alla ricerca di soluzioni e nuovi prodotti sigillanti e stanno formando i loro capi trivellatori a tal riguardo.

I dettagli tecnici sui singoli sistemi di tenuta e in particolare sui singoli prodotti sono poco noti e dovrebbero essere valutati in una fase successiva insieme ai produttori.

I prodotti per sigillare le trivellazioni per le SG sono diventati altrettanto maturi. Di norma, si possono trovare soluzioni anche nel caso di trivellazioni in acque sotterranee per soddisfare i requisiti di protezione delle acque. Se necessario, è possibile combinare anche diversi sistemi.

La conoscenza dei sistemi di sigillatura, del loro utilizzo e dei loro vantaggi e svantaggi era in parte incompleta. L'esperienza si è spesso limitata a singoli sistemi o anche a singoli prodotti. Tuttavia, nel caso di un evento rilevante per la protezione delle acque, la procedura più efficace è quella di adattare il sistema o le sue combinazioni al profilo di rischio concreto. Anche per quanto riguarda la denominazione dei singoli sistemi e la loro definizione, sorgono molte interpretazioni e incomprensioni. Insieme ai promemoria dell'UFE, questo studio intende contribuire a fare chiarezza.

Le informazioni sulle falde acquifere degne di protezione e sulla geologia del sito di trivellazione e delle immediate vicinanze sono fondamentali. Nella prima fase di preparazione, il committente deve fornire chiarimenti preliminari alle autorità e a un ufficio geologico. Pertanto, quando si contatta un'impresa di trivellazione, si possono già prendere le opportune precauzioni per la protezione delle acque. Questa è la base per una pianificazione seria e per un'esecuzione professionale, oltre ad aumentare la probabilità di identificare o evitare possibili spese aggiuntive in una fase precoce.

Idealmente, è opportuno consultare un ufficio geologico per la pianificazione e l'esecuzione. L'ufficio geologico ha il compito di supportare l'azienda di trivellazione e il committente nella realizzazione di SG senza problemi di impianti e di protezione delle acque. Il requisito preliminare è un'adeguata legittimazione da parte delle autorità e del committente. I compiti, le competenze e le responsabilità tra tutte le parti coinvolte nel progetto devono essere chiaramente definiti.

Per progetti di grandi dimensioni si consiglia di eseguire una trivellazione di prova. Ciò migliora la sicurezza della pianificazione in termini di fattibilità tecnica della perforazione e di protezione delle acque, nonché la base geologica per un dimensionamento sostenibile degli impianti.

Sulla base dell'esperienza e delle conoscenze acquisite dagli impianti esistenti e dal presente studio, proponiamo la seguente procedura per la realizzazione di trivellazioni per SG, con particolare attenzione alla protezione delle acque.

- a. Progettazione da parte di geologi / progettisti specializzati in accordo con le autorità competenti per quanto riguarda le esigenze di protezione delle acque, la fattibilità tecnica e il dimensionamento degli impianti.
- b. Per campi con SG: trivellazione di prova accompagnata da un geologo e affinamento del progetto.
- c. Progetto di trivellazione, inclusa (se necessario) la sigillatura, accordo con le autorità, gara d'appalto per i lavori di trivellazione.
- d. Trivellazione e realizzazione dell'intero impianto, con i requisiti di protezione delle acque e supporto adeguato da parte dell'ufficio geologico.

6 Fonti

- 1) Promemoria SvizzeraEnergia: Tubazione permanente
- 2) Promemoria SvizzeraEnergia: Calza per sonde geotermiche
- 3) Promemoria SvizzeraEnergia: Sacco otturatore in tessuto geotessile
- 4) Promemoria SvizzeraEnergia: Sacco otturatore per trivellazioni
- 5) Hess et al. 2015 per SvizzeraEnergia: Garanzia di qualità per sonde geotermiche. Panoramica dei metodi di misura per il controllo del riempimento (disponibile in tedesco *Qualitätssicherung Erdwärmesonden. Übersicht Messmethoden zur Prüfung der Hinterfüllung*).
- 6) Poppei et al. 2017 per SvizzeraEnergia: Sonde geotermiche in aree densamente edificate - Valutazione delle conseguenze e dei fattori di mitigazione mediante lo studio di casi (disponibile in tedesco *Erdwärmesonden in dicht bebautem Gebiet – Abklärung von Konsequenzen und mindernden Faktoren anhand von Fallbeispielen*).
- 7) Poppei et al. 2017 per la città di Zurigo, Ufficio per l'ingegneria edile della città di Zurigo: Distanze limite per sonde geotermiche. Studio delle nuove basi di misurazione e pianificazione. Rapporto finale (disponibile in tedesco *Grenzabstände bei Erdwärmesonden. Untersuchungen zu neuen Bemessungs- und Planungsgrundlagen. Schlussbericht*).

7 Appendice A - Elenco dei partner intervistati

Organizzazione **Ufficio per la protezione ambientale Uri**
Nome, cognome Walker, Simon
Funzione Responsabile della protezione delle acque
Via, n. Klausenstrasse 4
NPA, città 6460 Altdorf
Indirizzo Internet www.ur.ch/afu

Organizzazione **Amt für Umweltschutz Waadt / Direction générale de l'environnement (DGE), canton de Vaud**
Nome, cognome Castella, Jérôme
Funzione Responsabile del settore Acque sotterranee
Via, n. Valentin 10
NPA, città 1014 Losanna
Indirizzo Internet <https://www.vd.ch/autorites/departements/dte/environnement/responsables-par-domaine/responsables-eau/#c105454>

Organizzazione **Augsburger Forages SA**
Nome, cognome de Varreux, Nicolas
Funzione Direttore divisione tecnica-geotermia
Via, n. Rte d'Yvonand 2
NPA, città 1522 Lucens
Indirizzo Internet www.augsburger-forages.com

Organizzazione **Broder AG**
Nome, cognome Mathias Broder
Funzione Titolare dell'impresa
Via, No. St. Gallerstrasse 128
NPA, città 7320 Sargans
Indirizzo Internet www.broder.ch

Organizzazione **e-therm ag**
Nome, cognome Buchli, René
Funzione Direttore
Via, n. Postgässli 23
NPA, città 3661 Uetendorf
Indirizzo Internet www.e-therm.ch

Organizzazione **Geo Explorers AG**
Nome, cognome Ebert, Andreas
Funzione Codirettore
Via, n. Wasserturmplatz 1
NPA, città 4410 Liestal
Indirizzo Internet www.geo-ex.ch

Organizzazione **Blétry AG**
Nome, cognome Blétry, Didier
Funzione Proprietario
Via, n. Benkenstrasse 52
NPA, città 5024 Küttigen
Indirizzo Internet www.bletryag.ch

Organizzazione **CSD Ingegneri SA**
Nome, cognome Vari collaboratori
Via, n. Hessestrasse 27d
NPA, città 3097 Bern-Liebefeld
Indirizzo Internet www.csd.ch

Organizzazione **Haka Gerodur AG**
Nome, cognome **Menzl, Michael**
Via, n. Mooswiesenstrasse 67
NPA, città 9201 Gossau
Indirizzo Internet <http://www.hakagerodur.ch>

Organizzazione **HDG Umwelttechnik GmbH**
Nome, cognome Müller, Tobias A.
Via, n. Am Rohrbach 14
NPA, città D-88410 Bad Wurzach
Indirizzo Internet www.hdg-gmbh.com

Organizzazione **Bospi AG**
Nome, cognome Nadalet, René
Via, n. Bernstrasse 74
NPA, città 4923 Wynau
Indirizzo Internet www.bospi.ch

Organizzazione	Comdrill Bohrausrüstungen GmbH
Nome, cognome	Vari collaboratori
Via, n.	Im Kressgraben 29
NPA, città	D-74257 Untereisesheim
Indirizzo Internet	www.comdrill.de