

Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung
Centre d'évaluation des choix technologiques
Centro per la valutazione delle scelte tecnologiche
Centre for Technology Assessment



Energia elettrica dal sottosuolo

Sintesi dello studio «Energy from the earth;
Deep geothermal as a resource for the future?» di TA-SWISS

Questa sintesi si basa sullo studio «Energy from the earth: Deep geothermal as a resource for the future?», che è stato realizzato col sostegno dell'Ufficio federale dell'energia (UFE), la Commissione per la tecnologia e l'innovazione (CTI) e l'Accademia svizzera delle scienze tecniche (SATW).

Stefan Hirschberg, Stefan Wiemer, Peter Burgherr (ed.)

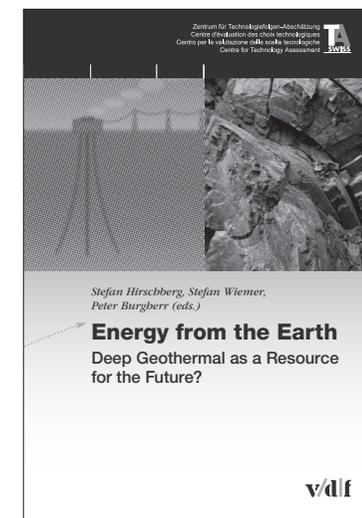
Energy from the earth: Deep geothermal as a resource for the future?

TA-SWISS, Centro per la valutazione delle scelte tecnologiche (ed.). vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2015.

ISBN 978-3-7281-3654-1

Lo studio è disponibile gratuitamente in open access:
www.vdf.ethz.ch

Anche questa sintesi è disponibile in rete: www.ta-swiss.ch



Indice

La geotermia di profondità in breve	5
I vantaggi	5
... i rischi.....	5
... e le principali raccomandazioni	5
Il pianeta blu – una palla di fuoco dalla crosta sottile	7
Una lunga tradizione.....	7
L'acqua come vettore di calore.....	7
Le prime esperienze hanno scosso gli animi	8
Un enorme potenziale energetico all'orizzonte	8
Sapere cosa c'è sotto	9
Costi elevati, profitti elevati	10
Produzione concorrenziale di elettricità	10
Maggiori prestazioni, minor impatto ambientale.....	10
Solo l'acqua bagna il naso alla geotermia	11
L'ecobilancio	11
Brividi sotterranei	12
Ridurre le conseguenze delle scosse.....	12
Il sottosuolo come zona a rischio	12
L'opinione pubblica non è polarizzata.....	13
Percorso a ostacoli tra i paragrafi	14
A chi appartiene il sottosuolo?.....	14
Occorrono numerose concessioni	14
La svolta energetica sollecita la pianificazione	14
La geotermia nel futuro mix energetico svizzero	16
Far luce sul sottosuolo.....	16
Le tecniche vanno consolidate	16
Unificare le procedure di autorizzazione e le basi di pianificazione	16
Imparare a gestire il rischio sismico	16
Comunicare in anticipo e con franchezza.....	16



La geotermia di profondità in breve

A quattro-cinque chilometri di profondità dalla superficie terrestre, il sottosuolo raggiunge temperature elevate (fino a 150 C°): un vasto potenziale energetico, in teoria sufficiente a coprire più volte il fabbisogno svizzero di energia elettrica e di calore.

Poiché in Svizzera non sono noti serbatoi di acqua calda nel sottosuolo utilizzabili per produrre energia elettrica, si può pensare di ricavarla innanzitutto da masse rocciose calde. L'approccio cosiddetto petrotermale, che presuppone appunto l'estrazione di calore dalle rocce, è denominato anche Hot Dry Rock, Deep Heat Mining ed Enhanced Geothermal System (EGS).

I vantaggi ...

La geotermia di profondità è ecosostenibile. Rispetto ad altre forme di energia rinnovabile, impiega una minor quantità di materie naturali – la cui estrazione ha un impatto negativo sulla natura – e genera emissioni minime di CO₂, persino se nel bilancio delle conseguenze ambientali si include, oltre alla normale attività produttiva, anche la costruzione dei relativi impianti.

La geotermia è una delle poche fonti energetiche rinnovabili di nuova generazione che non dipende dalle condizioni meteorologiche e, anzi, garantisce una produzione costante e quantificabile di energia di banda. Ciò assume un ruolo ancora più significativo nell'ottica di dover compensare in futuro l'irregolarità dei picchi energetici dovuti all'impiego di altre fonti rinnovabili.

L'energia del sottosuolo potrebbe rappresentare un importante contributo alla sicurezza dell'approvvigionamento energetico in Svizzera e rafforzarne l'affranca-mento dai fornitori esteri.

Riuscire a immettere nelle reti di teleriscaldamento il calore residuo non utilizzato per la produzione di energia elettrica, sfruttandolo così economicamente, consentirebbe di rendere assai competitivi i costi della geotermoelettricità sul mercato, se non persino inferiori rispetto a quelli della maggior parte delle altre fonti rinnovabili.

... i rischi...

Sebbene già esistano impianti petrotermali in funzione, manca ancora un'esperienza consolidata in materia. Particolarmente delicata è la realizzazione del necessario serbatoio di calore sotterraneo: affinché la roccia calda possa fungere da scambiatore di calore, occorre fratturarla iniettando acqua pressurizzata in profondità, processo che può provocare movimenti tellurici percepibili.

Rimane ancora molto da scoprire sull'esatta conformazione del sottosuolo. Questa incertezza comporta rischi finanziari, per esempio quando, dopo prospezioni dispendiose, un sito si rivela non sfruttabile economicamente. La disomogeneità dei regolamenti cantonali in materia è un ulteriore ostacolo alla fruizione del potenziale geotermico.

L'opinione pubblica manifesta un atteggiamento da neutrale a leggermente favorevole nei confronti della geotermia, ma non immune da una certa ambivalenza. Ciò fa supporre che l'atteggiamento generale potrebbe rovesciarsi rapidamente.

... e le principali raccomandazioni

La prospezione del sottosuolo profondo va proseguita.

Occorre raccogliere ulteriori esperienze sulla costruzione e il funzionamento degli impianti geotermici con l'ausilio di progetti pilota.

Vanno sviluppati modelli in grado di coordinare ed armonizzare in un unico iter praticabile le diverse procedure cantonali di autorizzazione.

Sarebbe opportuno vincolare le concessioni per le prospezioni e lo sfruttamento della geotermia alla pubblicazione dei dati geologici raccolti dalle aziende concessionarie.

L'intero processo di pianificazione, localizzazione e realizzazione dei progetti di geotermia deve essere accompagnato dallo stretto coinvolgimento della società e di tutti i gruppi di interesse. Ciascuna fase di detto processo va pianificata con cura, costantemente monitorata e valutata con esattezza.

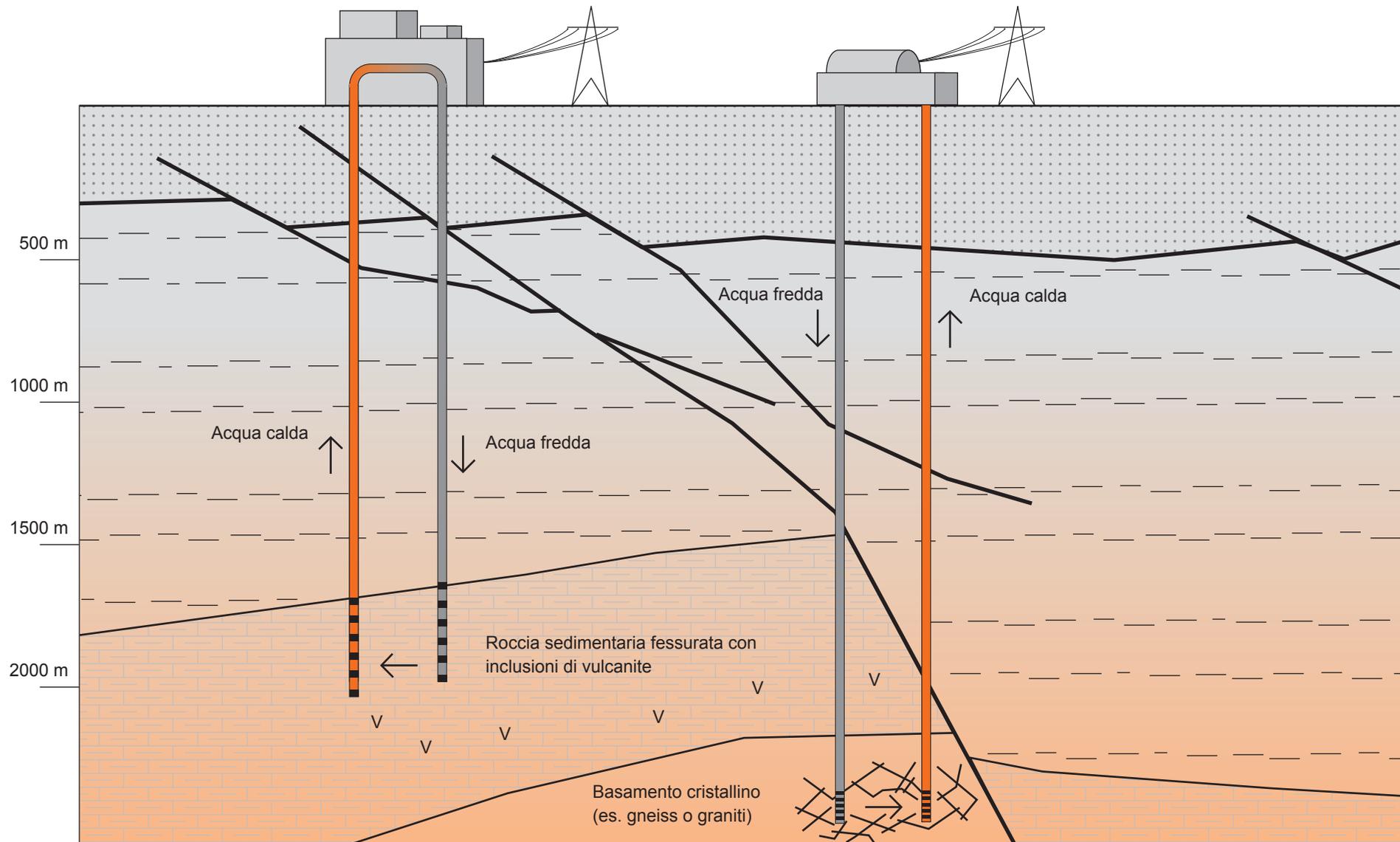
Lo studio «Energy from the earth» si è svolto sotto la direzione di Stefan Hirschberg del Paul Scherrer-Institut, che ha coordinato il lavoro di trentadue ricercatori del Paul Scherrer-Institut (PSI), del Politecnico federale di Zurigo (ETHZ), della Scuola universitaria di scienze applicate di Zurigo (ZhaW) e dell'Istituto Dialogik di Stoccarda. I risultati dell'ampia ricerca sono documentati in una relazione di oltre 450 pagine. Le analisi hanno approfondito non solo il contesto geologico e gli aspetti tecnici, economici ed ecologici della geotermia, ma anche temi come il quadro normativo e l'atteggiamento sociale nei confronti di questa forma innovativa di produzione energetica.

Sistemi idrotermali

Utilizzo diretto del calore (acqua termale) proveniente da strati rocciosi porosi, fessurati o crepati per produrre calore ($>20^{\circ}\text{C}$) o energia elettrica ($>100^{\circ}\text{C}$)

Sistemi petrotermali (HDR, EGS)

Produzione di calore e corrente elettrica che sfrutta la circolazione idrica indotta in uno strato roccioso caldo e in prevalenza asciutto dove è stato creato artificialmente un sistema di fessure



Il pianeta blu – una palla di fuoco dalla crosta sottile

L'uomo sfrutta il calore dell'interno della Terra sin dalla preistoria, ma se non vuole limitarsi a sfruttare le fonti di energia che affiorano naturalmente in superficie senza il suo intervento, deve mobilitare tutto l'armamentario scientifico e tecnico a sua disposizione. Una volta superati gli ostacoli ancora esistenti, potrà avvalersi di risorse pressoché inesauribili per la produzione ecologica di energia. La Svizzera si emanciperebbe così ulteriormente dalla fornitura estera di combustibili ed elettricità.

La Terra è abitabile solo in aree limitate. Il suolo, in particolare, assume caratteristiche inospitali già a scarsa profondità: a uno o due metri dalla superficie possono vivere solo amebe e altri esseri minuscoli che necessitano di poco ossigeno. La roccia sottostante è ritenuta incompatibile con la vita e, scendendo ancor più in profondità, si incontrano condizioni sempre più avverse a causa delle alte temperature. Non a caso i nostri avi collocarono gli inferi sottoterra.

Visto con gli occhi di oggi, il nucleo infuocato del nostro pianeta non è più fonte di paure a sfondo religioso, quanto piuttosto una promessa raggianti per il futuro: il calore dell'interno della Terra potrebbe essere sfruttato per coprire in modo sostenibile il crescente fabbisogno energetico. Il termine tecnico che definisce questa forma di produzione energetica è geotermia, che letteralmente significa «calore della Terra». A partire da circa dieci metri di profondità, dove cessa l'influsso degli agenti meteorologici sul sottosuolo, la temperatura aumenta di circa tre gradi ogni cento metri. In Svizzera, i 150 gradi – temperatura sufficiente all'esercizio efficace degli impianti geotermici con le tecniche odierne – si raggiungono a quattro-cinque chilometri di profondità.

Una lunga tradizione

È probabile che già gli uomini primitivi si concedessero bagni ristoratori nelle fonti termali. Certo è invece, come attestato da documenti scritti e resti archeologici, che sia nell'antica Cina sia nell'Impero romano l'acqua calda proveniente dall'interno della Terra era utilizzata per riscaldare le abitazioni e fare il bagno. La tradizione dei sistemi di riscaldamento romani fu ripresa negli Stati Uniti alla fine dell'Ottocento: a Boise infatti, il capoluogo dell'Idaho, nel 1892 furono costruiti vari edifici cittadini dotati di teleriscaldamento alimentato con le vicine fonti geotermali di Warm Springs. Nella prima metà del Novecento gli ingegneri non si accontentarono più del calore ceduto spontaneamente dal sottosuolo: nel 1946 furono impiegate per la prima volta pompe per riscaldare il nuovo Equitable Building (l'odierno Commonwealth Building) di Portland, nell'Oregon, con il calore estratto a diverse centinaia di metri di profondità.

La geotermia sperimentò invece il suo primo vero impiego industriale in Italia, nella provincia di Pisa. Nel 1830 circa il nobile e industriale francese François de Larderel fece perforare nell'antico sito vulcanico presso Castelnuovo un primo pozzo per sfruttare soffioni boraciferi prossimi alla superficie. Nel 1904 il principe Piero Ginori Conti riuscì poi ad accendere cinque lampadine con una dinamo alimentata dal vapore endogeno. Trascorse tuttavia un altro decennio prima che l'energia geotermoelettrica prodotta a Larderello – questo il nome assunto dall'impianto sorto del frattempo – potesse essere immessa nella rete pubblica.

Le esperienze finora raccolte in Svizzera riguardano essenzialmente la cosiddetta geotermia non profonda. Anche nel nostro Paese, infatti, sempre più edifici pubblici e privati vengono riscaldati da diversi decenni con il calore proveniente da strati terrestri poco distanti

dalla superficie (fino a 400m). Questa forma di sfruttamento del calore geotermico non è però presa in considerazione dallo studio di TA-SWISS. La ricerca qui sintetizzata si concentra sulla geotermia di profondità, ovvero sulla produzione di energia a partire da 400 metri di distanza dalla superficie terrestre, nella quale la Svizzera ha sinora accumulato poche esperienze. Focus dello studio è la produzione di energia elettrica, sebbene venga preso in considerazione anche lo sfruttamento aggiuntivo del calore residuo.

L'acqua come vettore di calore

Per veicolare il calore dal sottosuolo alla superficie è necessario ricorrere a un mezzo di trasporto. In genere questo ruolo è affidato all'acqua. Gli impianti di geotermia di prima generazione sono situati in prossimità di strati rocciosi acquiferi a profondità elevata, associati a un sottosuolo sufficientemente permeabile da veicolare con efficienza l'acqua calda in superficie. Quando la geotermia di profondità opera con serbatoi spontanei di acqua calda si parla di approccio idrotermale. In Svizzera però è raro incontrare siti con caratteristiche adatte a questo tipo di sfruttamento del calore terrestre.

L'alternativa consiste nell'iniettare in profondità acqua fredda pressurizzata e fratturare le rocce incandescenti per trasformare in «scambiatore di calore» una superficie di diversi chilometri quadrati. L'acqua viene dunque convogliata in circuito attraverso questo «serbatoio di calore roccioso»: l'acqua fredda è dapprima trasportata in profondità, affinché estragga il calore dalla roccia fratturata, e poi ripompata calda in superficie, dove è impiegata per produrre energia. L'acqua raffreddata viene quindi reiniettata in profondità, dando inizio a un nuovo ciclo.

Per lo sfruttamento petrotermale non sono necessari strati rocciosi acquiferi caldi e non sono nemmeno indispensabili strutture geologiche permeabili preesistenti: è sufficiente il mero calore del sottosuolo, una risorsa potenzialmente inesauribile. Per questo gli esperti ritengono che tale procedimento, conosciuto anche come «Hot Dry Rock», «Deep Heat Mining» e «Enhanced Geothermal System (EGS)», sia il vero obiettivo a lungo termine da perseguire nello sviluppo della geotermia in Svizzera. Sebbene questa tecnica non sia ancora matura per il lancio sul mercato, i progressi conseguiti dal 2006 in paesi come Germania, Francia, Australia e Stati Uniti fanno ben sperare. In Europa sono due i grandi impianti geotermici attualmente in funzione: dal 2001 la piattaforma di ricerca di Gross Schönbeck, 50 chilometri a nord-est di Berlino, e dal 2008 lo stabilimento di Oberrheingraben nei pressi di Soultz-sous-Forêt, in Alsazia.

Le prime esperienze hanno scosso gli animi

Due progetti di geotermia di profondità condotti negli ultimi anni hanno conquistato le prime pagine dei quotidiani svizzeri. Nel luglio 2013 a Sittertobel, presso San Gallo – sito che si era deciso di sfruttare con l'approccio idrotermale –, improvvisamente il pozzo di trivellazione si è riempito di gas anziché dell'auspicata acqua calda. Per contrastare la pressione è stato necessario iniettare nel foro del cosiddetto fango di perforazione, un miscuglio composto perlopiù da acqua, argilla, spato pesante e altri materiali, provocando lievi scosse telluriche fino a un'intensità di 3,5 gradi della scala Richter. Ciò non ha impedito di portare a termine la perforazione di sondaggio, ma la portata di sei litri al secondo ottenuta si è rivelata del tutto insufficiente a consentire lo sfruttamento geotermico economicamente sostenibile dell'acqua a 140°C; a questo fine ne sarebbero stati necessari almeno cinquanta al secondo. Per contro il

giacimento di gas si è rivelato sorprendentemente fruttuoso, tanto che al momento si sta cercando di capire se possa essere impiegato a lungo termine.

Anche a un progetto precedente non è arreso il successo economico sperato. Nel 2006 fu avviata a Basilea la prima perforazione geotermica svizzera in assoluto, condotta con procedimento petrotermale. Purtroppo però quando la roccia calda di profondità fu fratturata ad alta pressione, la Svizzera nordoccidentale si mise a tremare. Altre scosse seguirono a poche settimane di distanza. In seguito ad approfondite analisi del rischio, nel 2009 il Consiglio di Stato ha deciso di rinunciare al progetto nella forma prevista, sebbene gli esperti insistano nell'osservare che le condizioni geologiche del progetto Deep Heat Mining di Basilea non siano generalizzabili.

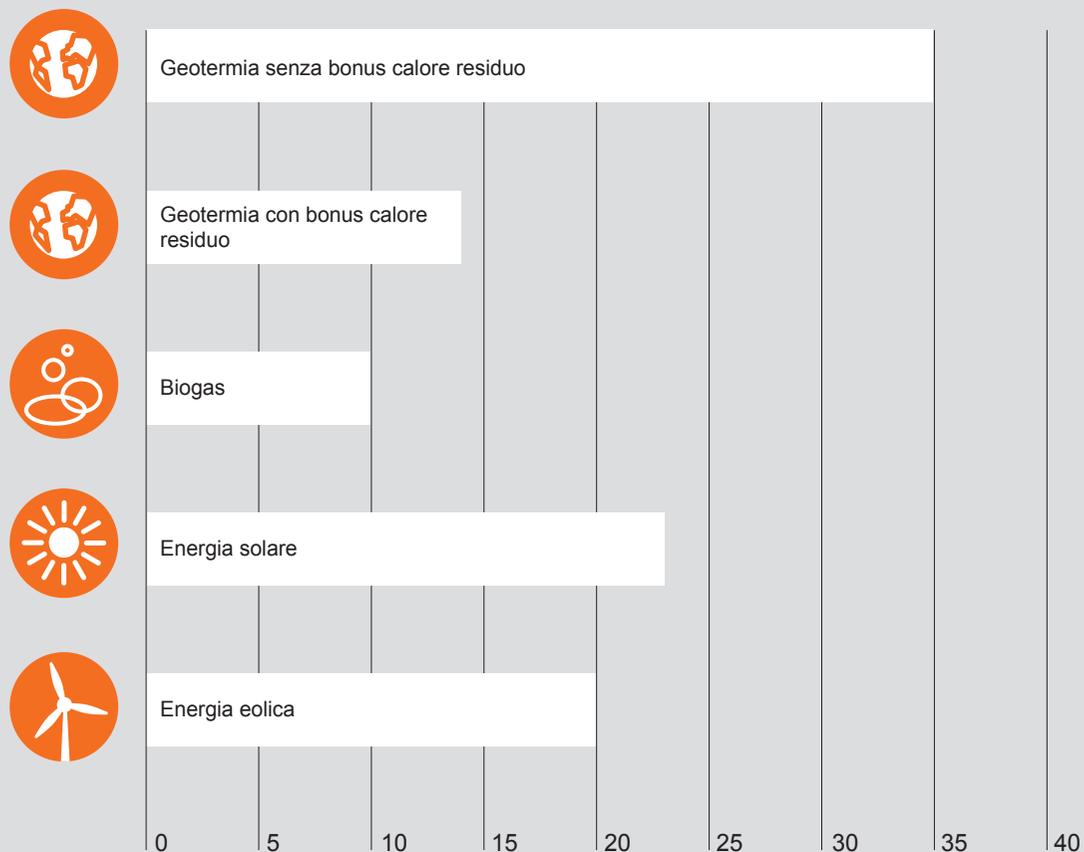
Un enorme potenziale energetico all'orizzonte

Ne segue che stimare in modo affidabile le possibilità di successo della geotermia di profondità richiede necessariamente informazioni geologiche dettagliate. In Svizzera le aree di sottosuolo meglio studiate sono quelle in prossimità dei tunnel, ovvero le rocce cristalline delle Alpi, che poco si adattano a una fruizione geotermica di profondità per la scarsa circolazione dei fluidi al loro interno. Migliori condizioni offrono a questo proposito i profondi trogoli permo-carboniferi distribuiti nel granito alpino, di cui però non si conosce l'esatta collocazione. Caratteristiche geologiche più favorevoli ai fini geotermici potrebbero presentare anche i bacini molassici dell'Altopiano.

La scarsa quantità di dati sulle condizioni geologiche ad elevata profondità è da ricondurre alle pochissime perforazioni eseguite per la prospezione di gas e petrolio nel sottosuolo svizzero. Le stime sul potenziale

geotermico nostrano si ispirano dunque all'esperienza internazionale e prospettano alla Svizzera un immenso potenziale energetico: le masse rocciose situate fra i tre e i dieci chilometri di profondità contengono un calore pari a 28 milioni di TWh (o 28 miliardi di GWh), ossia una quantità pari a centomila volte il fabbisogno svizzero del 2013. Le stime dell'Ufficio federale dell'energia, tenendo conto anche della fattibilità dei progetti, sono di gran lunga più modeste: entro il 2050 si potrebbero produrre dai 4 a 5 TWh di geotermoelettricità all'anno, arrivando pur sempre a coprire quasi il 10% del fabbisogno annuale.

Costo medio dell'energia prodotta (ct/kWh) in Svizzera



Sapere cosa c'è sotto

La sismica a riflessione ad alta precisione è il metodo adottato per l'analisi geologica di aree estese. Misura il modo in cui le onde provocate da scosse telluriche indotte si infrangono nei punti di passaggio tra i diversi strati rocciosi, consentendo di cartografare la struttura geologica delle pieghe e degli strati delle masse rocciose di un determinato territorio. Per realizzare l'atlante sismico dell'Altopiano svizzero sono stati analizzati i dati di oltre 1200 chilometri di profili sismici a riflessione. Con le misurazioni elettromagnetiche si analizzano invece la temperatura e la permeabilità degli strati rocciosi, mentre ancora altre tecniche si adottano per misurare le differenze di tensione sulla crosta terrestre, da cui si deduce la conformazione del sottosuolo.

Sono però le perforazioni a fornire le valutazioni più precise sulle caratteristiche geologiche di una zona; in particolare, questa tecnica è imprescindibile per raccogliere informazioni sulla situazione termica del sottosuolo. Quanto sappiamo oggi sul flusso di calore nel sottosuolo svizzero si fonda sui dati ricavati da 150 pozzi; il Vallese e le Alpi orientali sono ancora completamente privi di simili punti di rilevamento. Tutti i dati disponibili confluiscono infine in un modello tridimensionale del sottosuolo che costituisce la base imprescindibile di qualsiasi progetto geotermico di profondità, in quanto riassume informazioni sugli strati rocciosi locali, sui giacimenti idrici sotterranei e sulle temperature. Permette inoltre di stimare l'impatto del progetto geotermico sulla zona circostante.

Costi elevati, profitti elevati

La geotermia richiede cospicui investimenti, controbilanciati dalla prospettiva di costi energetici sostenibili e vantaggi per l'ambiente. Vista la crescente importanza dell'energia solare ed eolica, il cui rendimento dipende fortemente dalle condizioni meteorologiche ed è perciò irregolare, la geotermia risulta particolarmente allettante per la costanza dell'approvvigionamento energetico che assicura.

Estrarre calore da una massa granitica a 2,5 km di profondità richiede, soltanto per le perforazioni, un investimento medio di oltre 10 milioni di CHF, o quanto meno così ritengono gli esperti, concordi nello stimare che le spese di perforazione siano la voce di spesa più consistente per la realizzazione di un impianto geotermico (fino a 70% dei costi totali).

Queste stime si basano sull'esperienza acquisita nel campo dell'estrazione di gas e petrolio. Tuttavia le perforazioni geotermiche sono tecnicamente più impegnative e di conseguenza più onerose: vengono spesso effettuate nel granito che, con la sua durezza, mette a dura prova le punte di perforazione. Le elevate temperature richiedono inoltre cavi speciali e dispositivi a protezione delle apparecchiature elettroniche. A ciò si aggiunge che il diametro di un pozzo geotermico è compreso fra i 22 e i 34 cm, mentre per l'estrazione di gas e petrolio si praticano in genere fori di diametro inferiore a 20 cm. Le pompe geotermiche richiedono infine una potenza maggiore rispetto a quelle impiegate per l'estrazione di gas e petrolio.

Il ciclo di vita di un impianto geotermico in sé dipende dalla durata della redditività del serbatoio energetico sotterraneo da cui esso ricava il calore. Sebbene infatti il calore estratto venga costantemente ripristinato rifluendo da strati più profondi, l'esperienza ha dimo-
 strato che con l'andar del tempo il rendimento si abbassa oltre la soglia dell'insostenibilità economica. Gli esperti ritengono che in Svizzera sia verosimilmente possibile sfruttare gli impianti per una trentina d'anni, in seguito ai quali è necessario lasciare a riposo il serbatoio energetico per un periodo relativamente lungo affinché si rigeneri.

to che con l'andar del tempo il rendimento si abbassa oltre la soglia dell'insostenibilità economica. Gli esperti ritengono che in Svizzera sia verosimilmente possibile sfruttare gli impianti per una trentina d'anni, in seguito ai quali è necessario lasciare a riposo il serbatoio energetico per un periodo relativamente lungo affinché si rigeneri.

Produzione concorrenziale di elettricità

Lo studio di TA-SWISS ha redatto un modello dei costi dell'energia elettrica prodotta a partire dagli investimenti in impianti geotermici. Per il caso medio di riferimento si stimano costi medi pari a 35 centesimi per chilowattora. Tuttavia l'oscillazione tra il caso migliore e quello peggiore varia tra 18 e 61 centesimi per chilowattora. L'ampiezza considerevole della forchetta è dovuta alle condizioni più o meno favorevoli che caratterizzano i diversi casi presi in esame: i costi sono tanto più alti quanto più a fondo occorre trivellare e quanto più si accorcia il periodo di utilizzo di un impianto. L'energia rincarata anche se l'investitore ambisce a rendimenti maggiori.

I costi subirebbero un calo se, oltre all'energia elettrica, si potesse vendere anche il calore residuo non sfruttato per la produzione dell'elettricità: nel caso medio di riferimento, si conseguirebbe una riduzione da 35 a 14 centesimi per chilowattora. A queste cifre l'elettricità prodotta all'interno della Terra sarebbe concorrenziale con altre fonti di energia rinnovabile: un chilowattora di energia solare comporta infatti costi pari a 23 centesimi, mentre la stessa quantità di energia eolica ne richiede 20 nell'entroterra e 14 centesimi nelle zone costiere. Solo gli impianti di cogenerazione elettricità/calore alimentati a biogas sono, con 10 centesimi, più economici del modello geotermico di base. L'analisi economica si concentra sulle nuove forme di energia

rinnovabile, senza includere l'energia idroelettrica. Parte degli investimenti in questi impianti sono infatti già completamente ammortizzati, rendendo impossibile un paragone con le condizioni economiche degli impianti neocostruiti. Inoltre va considerato che, in vista del futuro, l'ulteriore sviluppo di questa fonte di energia va incontro a dei limiti.

L'impiego del calore geotermico residuo determina tuttavia un conflitto di obiettivi. L'utilizzo efficiente del calore implica da un lato l'esistenza di una rete di teleriscaldamento e, dall'altro, la vicinanza dell'impianto geotermico al mercato acquirente, ossia la sua contiguità a centri abitati e zone industriali. Una domanda di calore costante nell'arco dell'anno costituirebbe inoltre un ulteriore vantaggio, viste le caratteristiche della geotermia, rendendo l'industria un partner interessante. Queste esigenze mal si conciliano però con il rischio di movimenti tellurici associati agli impianti geotermici, che indurrebbe a costruirli lontano da centri abitati di una certa entità e da infrastrutture costose.

Maggiori prestazioni, minor impatto ambientale

L'impatto della geotermia sull'ambiente è stato quantificato con un bilancio ecologico (v. box). Esso è legato ai calcoli economici, nella misura in cui molti parametri rientrano in entrambe le analisi: le stime sul numero dei pozzi necessari e sulla loro profondità e il ciclo di vita previsto per gli impianti sono fattori considerati in entrambe le modellizzazioni. In questo modo è possibile coniugare considerazioni ecologiche ed economiche.

La costruzione dei pozzi esercita il più alto impatto non solo sui costi, ma anche sull'ambiente. Che se ne analizzino le ripercussioni sul cambiamento climatico, il consumo idrico, l'emissione di polveri fini o l'impiego di sostanze nocive, i pozzi sono comunque di gran

lunga i maggiori responsabili dell'impatto ambientale, molto superiore anche a quello che comportano la realizzazione dello scambiatore termico sotterraneo e la costruzione delle installazioni di superficie. A seconda dell'efficienza raggiunta dagli impianti geotermici, si prevede che nel loro ciclo di vita complessivo essi emettano da 8 a 46 grammi di CO₂ equivalenti per chilowattora prodotto; ciò significa che le emissioni di CO₂ delle centrali elettriche geotermiche sono pressoché pari a zero.

In proporzione ai profitti, gli impianti efficienti hanno un impatto sull'ambiente molto inferiore di quelli a capacità più ridotta: il grado di efficienza di un impianto geotermico dipende infatti direttamente dal gradiente termico del sottosuolo. Più lento è l'aumento della temperatura in profondità e più profonde dovranno essere le perforazioni, con conseguente incidenza sul dispendio di materiali ed energia. Anche la durata del ciclo di vita dei pozzi si ripercuote positivamente sul bilancio. Pure la portata idrica dell'impianto ha conseguenze ecologiche: se si trasporta più acqua calda rispetto al livello ottimale, le pompe bruciano molta energia, mentre un flusso troppo contenuto indebolisce il rendimento dell'impianto.

Solo l'acqua bagna il naso alla geotermia

La geotermia raggiunge risultati decisamente migliori della maggior parte delle altre forme di energia rinnovabile. Soltanto l'energia idroelettrica ha un impatto ancora minore sulla natura di quello dell'energia del sottosuolo. A carico dell'elettricità ottenuta negli impianti fotovoltaici si segnalano invece il consumo di grandi quantità di metalli e l'impiego di relativamente tante sostanze ad alta tossicità come il cadmio; il biogas rilascia invece nell'aria particelle sospese ed è quindi meno ecocompatibile della geotermia. Dell'energia

eolica colpisce l'elevato consumo di metalli (vedi figura pagina 12).

La geotermia supera in positivo le altre forme di energia rinnovabile non solo in termini di ecocompatibilità: essa è infatti la sola, oltre all'energia idroelettrica e quella prodotta con il biogas, in grado di fornire con costanza l'energia di banda richiesta. Si tratta di un pregio decisivo per il futuro approvvigionamento energetico in Svizzera, poiché sole e vento producono energia in dipendenza dalle condizioni meteorologiche e, quindi, hanno rendimenti discontinui. Sarà perciò tanto più necessaria una fonte energetica dal rendimento affidabile e calcolabile.

L'ecobilancio

Il bilancio ecologico, altresì conosciuto come analisi del ciclo di vita (LCA, Life Cycle Assessment), esamina il percorso di un prodotto o di un impianto dalla produzione allo smaltimento e/o alla dismissione. La LCA distingue tra varie «fasi di vita» e individua le interazioni con l'ambiente che ne scaturiscono: verifica, in particolare, quali materiali e quanta energia richiedono la produzione, il funzionamento e lo smaltimento di un prodotto. Nel caso della geotermia, la fase preparatoria e quella realizzativa si ripercuotono notevolmente sull'ambiente, poiché in questo lasso di tempo si impiega una quantità elevata di energia e materiali. Al contrario, la fase di esercizio non grava quasi nulla: impianti del genere funzionano infatti senza carburante e non rilasciano pressoché alcuna sostanza nociva. Lo smaltimento degli impianti al termine del ciclo di vita torna invece a pesare sull'ambiente.

Brividi sotterranei

I terremoti sono l'effetto di disturbo più spettacolare legato alla geotermia, ma certamente non l'unico. Dall'esperienza maturata nell'estrazione di gas e petrolio si possono trarre misure precauzionali per prevenire molti rischi. L'opinione pubblica è animata da atteggiamenti contrastanti, sebbene riconosca alla nuova fonte di energia la potenzialità di fornire contributi importanti alla svolta energetica.

Le esperienze finora raccolte in Svizzera nella geotermia sono state deludenti. Soprattutto le scosse telluriche indotte hanno fatto molto parlare di sé. I fenomeni sismici introducono un rischio finora sconosciuto nel nostro territorio, mentre gli abitanti delle regioni minerarie devono convivere da sempre. Ma se le scosse che accompagnano l'estrazione di carbone, sale di potassio o altre risorse del sottosuolo rappresentano un effetto collaterale indesiderato, nella costruzione degli impianti petrotermali esse sono un imprescindibile strumento di lavoro: le forti vibrazioni indotte artificialmente provocano la fratturazione necessaria ad aumentare la permeabilità della roccia e a trasformarla in potente scambiatore di calore.

Ridurre le conseguenze delle scosse

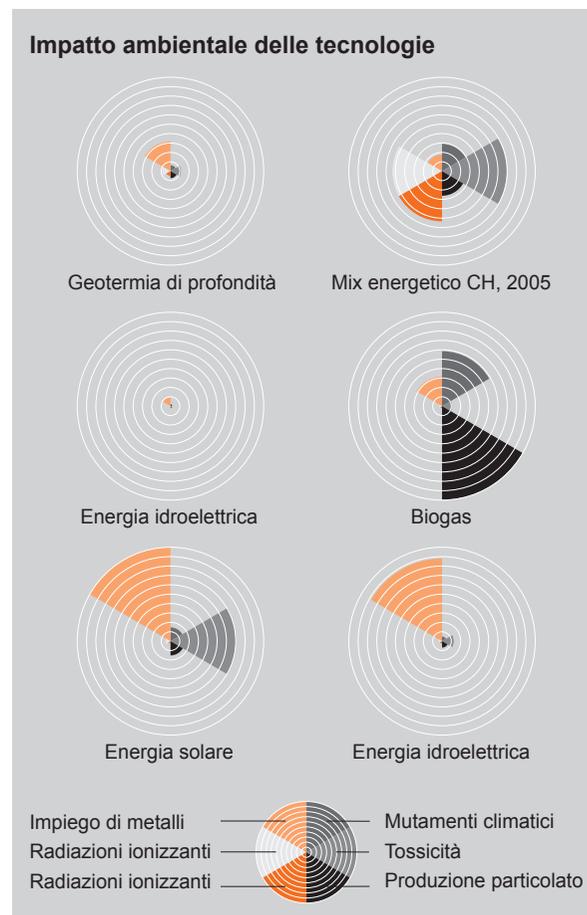
I terremoti sono tra i fenomeni naturali più traumatici: sentirsi mancare la terra sotto i piedi scuote letteralmente gli animi. I terremoti «naturali» scatenati dallo slittamento delle placche tettoniche si sottraggono all'influsso dell'uomo, cui non resta che ricorrere alla fuga. Diversamente, le scosse artificiali possono essere in certa misura «controllate», perché gli esperti sono in grado di prevedere almeno in parte le modalità di reazione del sottosuolo agli interventi dell'uomo. Per esempio, il rischio di terremoto tende ad aumentare con l'incremento della profondità di perforazione e del volu-

me della massa rocciosa da trattare affinché possa fungere da scambiatore termico. Inoltre le masse di duro granito cristallino tendono maggiormente a tremare rispetto alle più tenere rocce sedimentarie stratificate, come ad esempio l'ardesia. L'esperienza insegna infine che tendenzialmente gli impianti geotermici producono scosse nella fase di costruzione, mentre per quelli idrotermali la fase più critica è quella di esercizio.

Ciò nonostante le incognite sono ancora molte, soprattutto perché la tensione naturale cui è sottoposto uno specifico sottosuolo può riservare sorprese e rende impossibile prevedere di quanto si dilateranno le fratture e fenditure all'interno della Terra. Ne segue che non solo le misure preventive, ma anche quelle di riduzione e gestione dei danni svolgono un ruolo decisivo. Ai fini della gestione integrale del rischio, sono stati sviluppati e ormai adottati come standard i cosiddetti sistemi a semaforo: finché il semaforo è verde, la costruzione o l'esercizio dell'impianto può procedere come da progetto; raggiunte determinate soglie, il semaforo diventa giallo o addirittura rosso: a questo punto occorre obbligatoriamente rallentare i lavori – ad esempio spegnendo le pompe – o interromperli del tutto e, se necessario, stabilizzare l'impianto estraendo fluido dal pozzo di perforazione. Nel caso dell'impianto idrotermale di San Gallo, ad esempio, la lieve scossa del 2006 (intensità: 1,6) ha fatto diventare giallo il semaforo.

Gli esperti concordano nell'affermare che, sebbene l'esperienza crescente e le linee guida da essa derivate possano concorrere a limitare le conseguenze dei terremoti indotti, questi ultimi non potranno mai essere del tutto evitati. Tale circostanza va discussa sia sul piano politico sia all'interno della società. Una cosa comunque è certa: per limitare eventuali danni provocati dai sismi indotti, l'ideale è costruire gli impianti il più

distante possibile dalle zone densamente popolate e da infrastrutture costose, benché ciò renda più difficile immettere il calore eccedente in una rete di teleriscaldamento.



Il sottosuolo come zona a rischio

I terremoti non sono il solo rischio collegato alla geotermia. Questa presenta una serie di pericoli comuni anche all'estrazione del gas e del petrolio, come la fuoriuscita nei pozzi di metano proveniente dalle formazioni rocciose sotto pressione, un fenomeno che nel settore è definito «kick». Se non si riesce a controllarlo, si rischia di perdere il controllo dell'intero pozzo, dal quale risale in superficie una miscela di acqua e gas che si disperde liberamente nell'atmosfera («blowout»). Esistono una serie di contromisure tecniche basate su un sofisticato sistema di rubinetti e valvole collocate direttamente sopra il pozzo. Si tratta di guasti di particolare gravità, in quanto mettono in pericolo diretto l'integrità e la vita dell'uomo.

Anche episodi meno drammatici possono compromettere l'ambiente e la salute delle persone. A grande profondità esistono, ad esempio, falde acquifere saline, perché in presenza di rocce porose l'acqua calda è in grado di raggiungere grandi profondità sciogliendo sali e minerali lungo il suo percorso. Perforazioni eseguite in maniera impropria o rivestimenti danneggiati dei pozzi possono consentire a tali soluzioni saline di risalire e contaminare le falde acquifere più superficiali o addirittura l'acqua potabile.

Possano inoltre insorgere danni se si verificano incidenti nella gestione di alcune sostanze chimiche necessarie all'esercizio di determinati impianti geotermici: alcuni modelli funzionano infatti secondo il principio per cui l'acqua calda di profondità, una volta raggiunta la centrale, riscalda un fluido in un ciclo completamente separato. A questo scopo utilizzano sostanze come benzene, toluene o iso-pentano, che giungono ad ebollizione a temperature inferiori a quella dell'acqua, producendo con efficienza il vapore di alimentazione

delle turbine che producono elettricità. La dispersione di tali sostanze chimiche nell'ambiente provoca irritazioni alla pelle e alle mucose, nausea e, se l'esposizione è lunga, malattie gravi come la leucemia o danni ai reni e al fegato. Problematico è infine l'impiego della soda caustica che viene occasionalmente miscelata al fluido di perforazione, in quanto – come suggerisce il nome – intacca fortemente la materia organica e i metalli.

Esistono apposite prescrizioni e direttive per la gestione di queste sostanze chimiche, diffuse in molti settori industriali; inoltre le autorità competenti hanno ampia dimestichezza con i controlli. Ciò nonostante non è mai escluso che possano verificarsi incidenti durante il trasporto e lo stoccaggio di tali sostanze, che restano quindi un rischio da non trascurare.

L'opinione pubblica non è polarizzata

Perché si possa introdurre una nuova tecnica, occorre che l'opinione pubblica la accetti. Le scienze sociali si avvalgono di procedimenti in grado di tastare il polso della popolazione: lo studio TA-SWISS ha rilevato il modello argomentativo sul tema «geotermia» con l'ausilio di focus groups. Ha inoltre condotto un'analisi del social network Twitter – che in Svizzera conta ben mezzo milione di utenti –, per tracciare un profilo delle opinioni nei confronti dell'energia del sottosuolo.

Sebbene entrambi i tentativi di impiego della geotermia compiuti in Svizzera non siano andati a buon fine e i mezzi di comunicazione ne abbiano dato un riscontro critico, le analisi sociologiche condotte sulla percezione pubblica dell'argomento hanno delineato un atteggiamento sorprendentemente rilassato. I tweet sulla nuova forma di produzione energetica lanciati in Europa dall'aprile 2013 all'agosto 2014 erano per lo più neutrali o leggermente positivi. Meno di un ottavo dei tweet

tracciati provenivano mediamente dalla Svizzera, il che sta a indicare che nel nostro paese la geotermia non è un tema caldo e controverso.

Nei cinque focus groups sono stati maggiormente approfonditi i contenuti. Le discussioni confermano che la popolazione svizzera non è divisa in netti fronti contrapposti pro e contro la geotermia. L'opinione pubblica converge piuttosto in un atteggiamento ambivalente: da un lato riconosce le potenzialità e i vantaggi della nuova forma di energia, dall'altro ne soppesa i rischi. La geotermia viene associata in positivo a caratteristiche come «fonte inesauribile di energia», «contributo promettente alla svolta energetica» e «rispetto dell'ambiente». Ad esse si contrappongono i «rischi finanziari che potrebbero insorgere se l'acqua in profondità non fosse sufficientemente calda da rendere redditizio l'impianto», le «lacune della ricerca sui rischi tecnici ed ecologici» e il «rischio di danneggiamento di edifici e infrastrutture». Gli esperti ritengono che l'assenza di polarizzazione sia una buona base di partenza per addivenire a un confronto pacato e obiettivo sui dati concreti delle nuove tecnologie. Tuttavia il diffuso atteggiamento di ambivalenza verso il tema indica anche che l'opinione pubblica può subire radicali cambiamenti repentini.

Percorso a ostacoli tra i paragrafi

In Svizzera sono i Cantoni a stabilire la destinazione d'uso del terreno e del suolo. La Costituzione federale stabilisce i principi generali di pianificazione del territorio, di impiego delle acque e di trasporto dell'energia, ma la loro applicazione pratica sul territorio è di competenza dei Cantoni. Ciò comporta attualmente una disomogeneità procedurale quanto a pianificazione ed eventuale funzionamento di impianti geotermici in Svizzera.

I rapporti patrimoniali sono regolati dal Codice Civile (CC) e le limitazioni alla proprietà privata delle superfici non presentano difficoltà giuridiche. Ma in che misura questo diritto di proprietà si estende in verticale, verso il cielo e nel sottosuolo?

A chi appartiene il sottosuolo?

L'autorità legislativa si è trovata ad affrontare il problema a proposito dell'aviazione. Determinante ai fini della questione è l'interesse del proprietario a sfruttare direttamente un determinato spazio. Nel caso specifico della costruzione di un aeroporto, ci si è trovati a dover stabilire sotto vari aspetti se e in che termini gli aerei che sorvolano un territorio violino i diritti dei relativi proprietari fondiari. Il Tribunale federale ha sempre rifiutato di fissare in linea generale una quota al di sotto della quale gli aeromobili violino la sfera d'interesse dei proprietari e, dunque, la proprietà privata. Nel caso di due terreni situati in prossimità di una pista e sorvolate regolarmente da velivoli di grandi dimensioni a 75-100 metri di quota, il Tribunale ha tuttavia riconosciuto una violazione della proprietà.

Ragionamenti analoghi riguardano il caso del sottosuolo. L'aumento degli edifici riscaldati con sonde geotermiche ha accresciuto il fabbisogno di sfruttamento del sottosuolo da parte dei proprietari, estendendo

l'interesse da tutelare di alcune centinaia di metri in profondità. Ciò però non autorizza i proprietari a desumere che l'intero sottosuolo del loro terreno sia di loro proprietà: in essa rientra solo la parte di terreno effettivamente occupata dalle sonde geotermiche. La legge tratta i diritti di proprietà privata sul sottosuolo in modo più restrittivo rispetto allo spazio aereo, non ultimo per non ostacolare troppo la costruzione di infrastrutture importanti per la comunità come i tunnel. In questa prospettiva il Tribunale federale ha deciso, a proposito di un lotto agricolo, che il terreno è da considerarsi *res nullius* già a partire da cinque metri di profondità, ponendo così il sottosuolo sottostante sotto la sovranità dello stato.

Occorrono numerose concessioni

L'estrazione di risorse del sottosuolo quali metalli e combustibili fossili è regolata dalla cosiddetta regalia delle miniere. Il diritto di regalia risale al Medioevo, dove disciplinava la distribuzione alla comunità, da parte delle autorità religiose e laiche, di concessioni per l'utilizzo di beni limitati, tra cui, oltre alle risorse del sottosuolo, selvaggina e pesci. La Svizzera conosce la regalia delle miniere e la regalia del sale, entrambe di competenza dei Cantoni. A differenza di quanto accade per i prodotti naturali rari, in genere l'estrazione di materiali più comuni quali ghiaia e sabbia non è soggetta a regalia. In questo senso l'approccio legislativo alla produzione di energia geotermica può godere di un certo spazio di manovra.

Il quadro normativo si differenzia da Cantone a Cantone. Alcuni hanno delegato la regalia delle miniere ai comuni senza emanare regolamenti propri, altri hanno incluso le disposizioni in materia nella Legge di introduzione (o applicazione) cantonale del Codice civile, mentre numerosi Cantoni dispongono di una legislazio-

ne vera e propria sulla regalia delle miniere. In alcuni casi, infine, questa è stata ampliata includendovi anche lo sfruttamento della geotermia.

Ciò detto, la progettazione e la costruzione degli impianti geotermici sottostanno non solo alle disposizioni sullo sfruttamento della geotermia, ma anche a numerosi altri regolamenti altrettanto diversi da Cantone a Cantone. Per esempio occorre un'autorizzazione per estrarre acqua o utilizzare le falde acquifere e in alcuni casi anche i disboscamenti devono essere autorizzati, mentre l'impianto pianificato deve essere conforme alla Legge federale sulla protezione della natura e del paesaggio così come ai piani direttori dei Cantoni, a loro volta conformi alla Legge federale sulla pianificazione del territorio. Occorre infine superare l'esame dell'impatto ambientale richiesto dalla Legge sulla protezione dell'ambiente.

Se però si tratta di eseguire prospezioni preventive per valutare l'idoneità del sottosuolo a un eventuale utilizzo geotermico, gli ostacoli legislativi sono un po' inferiori di quelli da superare per l'effettiva progettazione di un impianto. Ad esempio per le perforazioni di sondaggio è sufficiente un'autorizzazione, mentre la messa in esercizio richiede una concessione. Critico dal punto di vista giuridico è il fatto che dal rilascio dell'autorizzazione alla prospezione non consegue automaticamente il diritto alla relativa concessione di sfruttamento. Ciò va a scapito del detentore dell'autorizzazione alla prospezione che, pur avendo investito negli accertamenti e ottenuto i risultati sperati, in determinati casi non può trarne profitto.

La svolta energetica sollecita la pianificazione

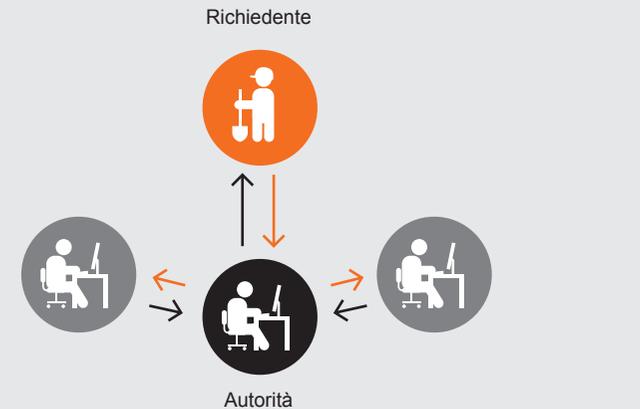
Il messaggio concernente il primo pacchetto di misure per l'attuazione della strategia energetica 2050

approvato dal Consiglio federale all'inizio del settembre 2013 prevede che i Cantoni elaborino un piano per lo sviluppo delle energie rinnovabili. È loro richiesto di fare una cernita dei territori che si prestano allo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili e di evidenziare le eventuali regioni da escludere. La pianificazione energetica diventa così parte integrante della pianificazione del territorio.

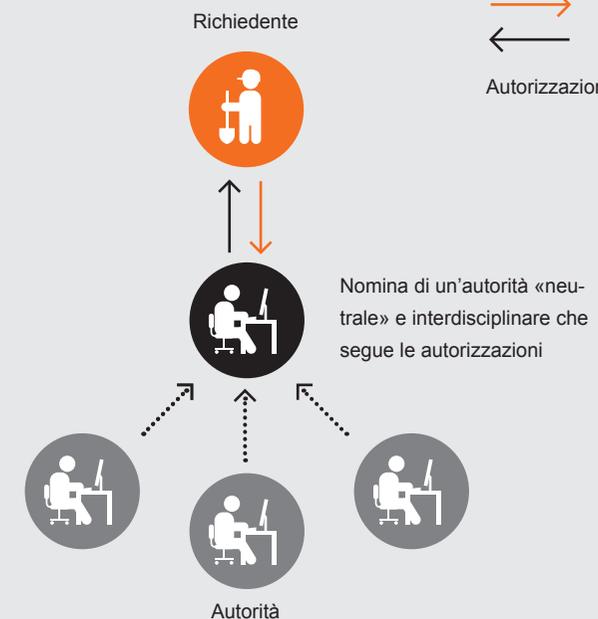
I Cantoni vengono inoltre esortati a predisporre autorizzazioni rapide per la costruzione di impianti di sfruttamento di energie rinnovabili: un'impresa ardua, considerata la molteplicità di disposizioni e regolamenti da rispettare. Tale difficoltà si può mitigare adottando la procedura del «modello di coordinamento», in cui i Cantoni nominano un ente preposto al coordinamento delle varie autorizzazioni, assicurando un iter quanto più possibile lineare. Un passo in più fa il cosiddetto modello di concentrazione: in questo caso l'ente competente non si limita a garantire, per quanto possibile, un iter di autorizzazione senza problemi, ma concentra anche il potere decisionale in seno a un unico ufficio amministrativo, il quale emette provvedimenti in deroga a tutte le altre direttive. Oggi la maggior parte dei cantoni adotta il modello di coordinamento. Secondo i giuristi la Federazione potrebbe svolgere un ruolo importante nella futura pianificazione della geotermia creando una piattaforma volta a sostenere i Cantoni nell'attuazione e all'esecuzione dei propri provvedimenti, ordinanze e direttive.

Modello di coordinamento vs. modello di concentrazione

Modello di coordinamento:
le varie autorità mantengono le rispettive competenze in iter di approvazione che si svolgono in parallelo, ma una di loro è responsabile del coordinamento.



Modello di concentrazione:
un'unica autorità emette tutte le autorizzazioni necessarie. Questo modello concentra il potere decisionale nelle mani di un unico ente che funge al contempo da autorità direttiva e istanza disponente.



La geotermia nel futuro mix energetico svizzero

Diversi sono i motivi a favore dell'introduzione della geotermia nel futuro approvvigionamento energetico della Svizzera, sebbene ancora molto vada investito nella ricerca e nello sviluppo. Occorre inoltre rendere più gestibile ed efficiente il complicato processo di autorizzazione per la progettazione e la costruzione degli impianti geotermici. Nella prospettiva di rafforzare l'utilizzo della geotermia, si deve puntare a coinvolgere l'opinione pubblica sin dalle prime fasi.

A differenza delle altre «nuove» forme di energia rinnovabile, la geotermia non dipende dalle condizioni meteorologiche e, anzi, le sue prestazioni sono prevedibili e costanti. Essa è dunque una delle poche, tra le «nuove» forme di energia rinnovabile, a poter essere presa in considerazione per coprire la fornitura di base e contribuire in maniera sostanziale alla sicurezza di approvvigionamento del mercato dell'elettricità. La geotermia è inoltre una fonte di energia ecosostenibile con emissioni di gas serra praticamente pari a zero. Ma prima di poter sfruttare questo promettente potenziale energetico, occorre svolgere un notevole lavoro preliminare.

Far luce sul sottosuolo

Le valutazioni esistenti del potenziale geotermico si fondano in sostanza sul rilevamento dei flussi termici in superficie. Al momento restano sconosciuti molti fattori sotterranei determinanti, come la permeabilità degli strati rocciosi, il volume di determinate formazioni rocciose e le esatte condizioni termiche a profondità elevata. I rilevamenti scientifici sono imprescindibili per realizzare modelli geologici più precisi. Un intervento politico a sostegno dell'accesso pubblico ai dati sul sottosuolo potrebbe favorire in modo decisivo la crescita delle conoscenze geologiche. Un'ipotesi potrebbe

essere l'adozione dell'approccio australiano, in cui il rilascio delle concessioni di sfruttamento è vincolato alla diffusione – dopo un certo arco di tempo – dei dati raccolti da parte delle aziende aggiudicatrici.

Le tecniche vanno consolidate

L'approccio petrotermale ipotizzato per la Svizzera non è ancora stato testato a sufficienza sotto diversi punti di vista. La maggiore complessità risiede nella stretta interazione tra la tecnica e le strutture geologiche. Nell'accedere al serbatoio di calore, in particolare, è difficile prevedere il comportamento della roccia, tanto più che la sua reazione all'iniezione di acqua pressurizzata non può essere osservata direttamente. Occorrerebbe dunque sviluppare metodi utili ad indagare le caratteristiche interne delle masse rocciose e a meglio comprendere il flusso del calore all'interno del serbatoio. È inoltre indispensabile perfezionare le tecniche di perforazione impiegate per l'estrazione di gas e petrolio ai fini della loro applicazione sulle dure rocce granitiche.

Le notevoli incertezze che ancora gravano sull'approccio petrotermale possono essere risolte solo con l'avvio di progetti pilota. È quindi auspicabile un'ampia iniziativa di ricerca con impianti dimostrativi, onde poter poi realizzare un sistema petrotermale economicamente sostenibile.

Unificare le procedure di autorizzazione e le basi di pianificazione

L'utilizzo del sottosuolo è di competenza cantonale e la disomogeneità dei regolamenti rende più difficoltose la progettazione e la costruzione degli impianti geotermici. Se le competenze venissero riunite sotto un'unica autorità, l'intero processo ne risulterebbe semplificato e accelerato. Il cosiddetto modello di concentrazione,

già adottato da diversi Cantoni, potrebbe rappresentare una soluzione pratica ed efficace al problema.

Lo sfruttamento del suolo è oggetto degli interessi – in parte contraddittori – dei gruppi d'interesse più diversi. Un utile strumento al riguardo potrebbe essere un sistema informativo geografico riportante le aree dotate di potenziale geotermico, interfacciate con i regolamenti politici e le esigenze della popolazione e abbinate a un modello economico. Con il suo ausilio si potrebbero calcolare con maggiore precisione i costi di produzione dell'energia geotermale e individuare con più trasparenza i siti dotati del maggiore potenziale geotermico.

Imparare a gestire il rischio sismico

Negli ultimi anni i metodi di previsione dei sismi indotti sono molto migliorati. Ora occorre perfezionarli ulteriormente. Sebbene essi consentano di controllare meglio le scosse, in futuro non sarà comunque possibile escluderle del tutto né prevederle con ampio anticipo. L'adozione economicamente sostenibile e il successo della geometria dipendono quindi fortemente dall'entità di rischio sismico che la società è disposta ad accettare. La discussione va avviata per tempo e condotta senza pregiudizi.

Comunicare in anticipo e con franchezza

L'opinione pubblica mostra un atteggiamento da neutrale a leggermente benevolente nei confronti della geotermia. Ciò non toglie che i media tendano a dare risalto ad avvenimenti spettacolari come i sismi indotti, una propensione che certamente condiziona l'opinione pubblica. Avviare per tempo una campagna informativa e coinvolgere la popolazione è la tattica migliore per affrontare la diffidenza. Le aziende interessate dovrebbero informare con trasparenza anche degli eventuali

rischi, mentre il mondo della scienza, che al momento esprime un certo scetticismo, dovrebbe menzionare anche le possibilità dischiuse dalla geotermia. In questo è fondamentale divulgare le informazioni in un linguaggio chiaro, comprensibile ed equilibrato.

Studio «Energy from the earth: Deep geothermal as a resource for the future?»

Gruppo d'accompagnamento

Dr. Gunter Siddiqi, Ufficio federale dell'energia UFE, Berna, presidente del gruppo di accompagnamento

Jürg Balmer, Ufficio federale della protezione della popolazione UFPP, Berna

Willy R. Gehrer, Siemens Schweiz AG, Electrosuisse, Zurigo, delegato della SATW

Monika Gisler, Unternehmen Geschichte & Entrepreneurial Risks, ETH, Zurigo

Elmar Grosse Ruse, WWF Svizzera, Zurigo

Rolf Hügli, Accademia svizzera delle scienze tecniche SATW, Zurigo

Peter Meier, Geo-Energie Suisse AG, Zurigo

Thomas Müller, Editore Schweizer Radio SRF, Berna, Comitato di direzione TA-SWISS

Kurt Nyffenegger, Sektion Grundwasser & Wasserversorgung, AWEL, Zurigo

Etienne Poltier, Faculté de droit, Università di Losanna

Katharina Prelicz-Huber, VPOD, Zurigo, Comitato di direzione TA-SWISS

Berthold Schmidt, delegato della CTI, Berna

Jörg Uhde, Axpo Power AG | Neue Energien, Glattbrugg

Pascal Vinard, BKW Energie AG (fino ad aprile 2014), Geospace Experts Sarl

Felix Würsten, giornalista scientifico, Zurigo

Roland Wyss, GEOTHERMIE.CH, Società Svizzera per la Geotermia SSG - SVG, Frauenfeld Olivier Zingg, Geo-Energie Suisse AG, Zurigo

Coordinatori del progetto TA-SWISS

Sergio Bellucci, Direttore TA-SWISS, Berna

Christina Tobler, Responsabile del progetto, TA-SWISS, Berna (dal agosto 2013)

Emiliano Feresin, Responsabile del progetto, TA-SWISS, Berna (fino a luglio 2013)

Impressum

TA-SWISS (ed.) Energia elettrica dal sottosuolo. Sintesi dello studio «Energy from the earth; Deep geothermal as a resource for the future?», TA-SWISS, Berna 2015.

TA 62A/2015

Redazione: Lucienne Rey, TA-SWISS, Berna

Produzione: Christine D'Anna-Huber, TA-SWISS, Berna

Traduzione: Roberta Gado, Lipsia

Grafica: Hannes Saxer, Berna

Stampa: Jordi AG – Das Medienhaus, Belp

TA-SWISS – Il Centro per la valutazione delle scelte tecnologiche

Spesso le nuove tecnologie portano netti miglioramenti per la qualità di vita. Talvolta nascondono però anche nuovi rischi, le cui conseguenze non sono sempre prevedibili in anticipo. Il Centro per la valutazione delle scelte tecnologiche TA-SWISS esamina le opportunità e i rischi dei nuovi sviluppi tecnologici in materia di «biotecnologia e medicina», «società dell'informazione», «nanotecnologie» e «mobilità/energia/clima». I suoi studi si rivolgono sia ai decisori nella politica e nell'economia che all'opinione pubblica. TA-SWISS promuove inoltre lo scambio di informazioni e opinioni tra specialisti della scienza, dell'economia, della politica e la popolazione attraverso metodi di partecipazione (ad esempio i PubliForume i publifocus). Siccome devono fornire informazioni il più possibile obiettive, indipendenti e solide sulle opportunità e sui rischi delle nuove tecnologie, i progetti di TA-SWISS sono elaborati d'intesa con gruppi di esperti composti in modo specifico a seconda del tema. Grazie alla competenza dei loro membri, questi cosiddetti gruppi d'accompagnamento coprono un ampio ventaglio di aspetti della tematica esaminata.

TA-SWISS è un centro di competenza delle Accademie svizzere delle scienze.



TA-SWISS
Centro per la valutazione delle scelte tecnologiche
Brunngasse 36
CH-3011 Berna
info@ta-swiss.ch
www.ta-swiss.ch

a⁺ Un centro di competenza delle
Accademie svizzere delle scienze

SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE
Swiss Federal Office of Energy SFOE

Dipartimento federale dell'economia,
della formazione e della ricerca DEFR
Commissione per la tecnologia e l'innovazione CTI
Agenzia per la promozione dell'innovazione