

Ground Source

il terreno come sorgente fredda

di Giuliano Dall'O'

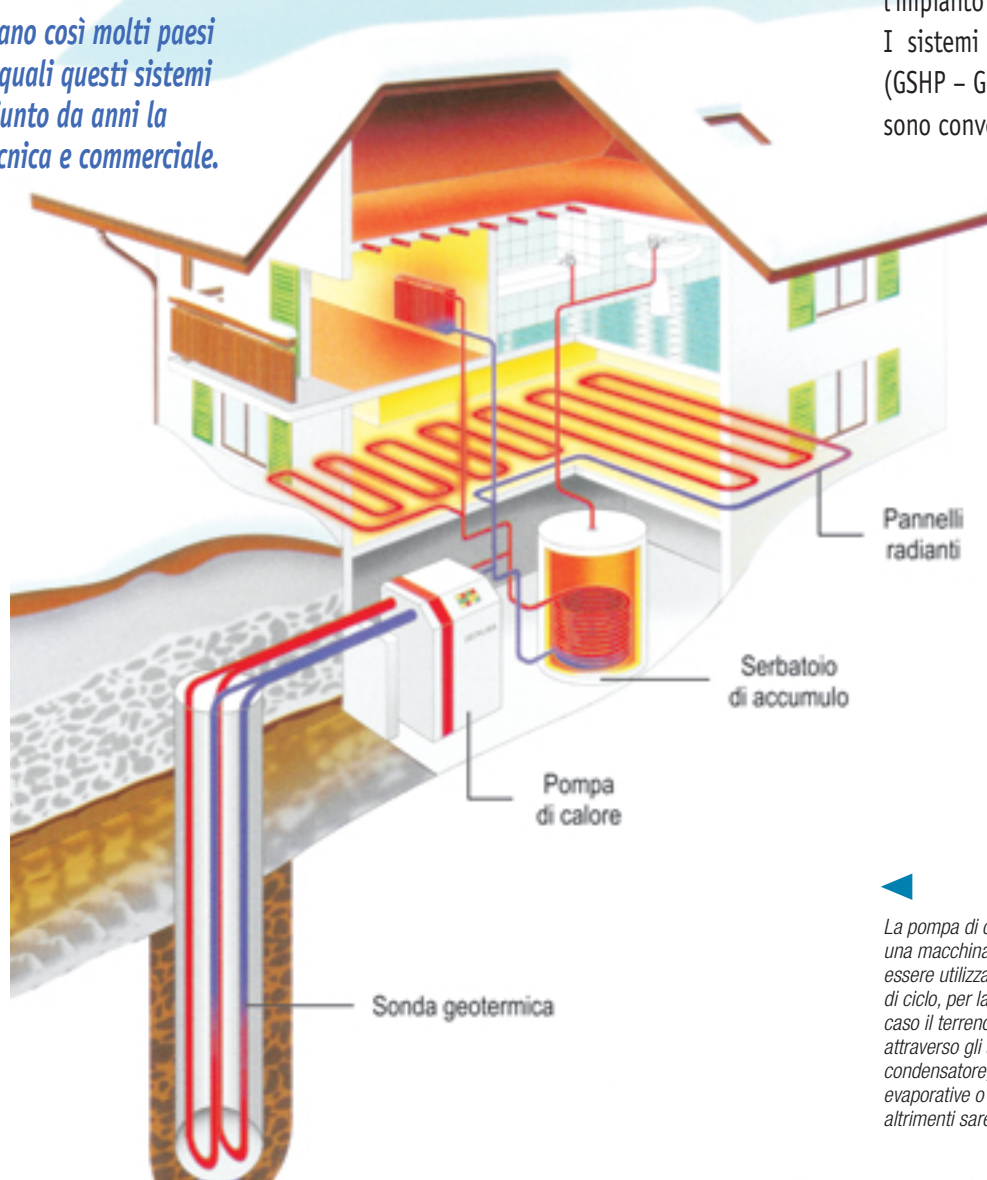
70

I vantaggi offerti dai sistemi pompa di calore-terreno sono notevoli, eppure nel nostro paese questo mercato non ha trovato lo spazio che si sarebbe meritato. Le motivazioni sono molte: barriere culturali e la mancanza di incentivi. Non la pensano così molti paesi europei nei quali questi sistemi hanno raggiunto da anni la maturità tecnica e commerciale.

Il terreno è una risorsa naturale disponibile che, se ben sfruttata, può ridurre i consumi di energia negli usi cosiddetti termici quali il riscaldamento, la climatizzazione e la produzione di acqua calda. La macchina che consente di sfruttare questa fonte è la

pompa di calore, dispositivo che funzionando sulla base di un normale ciclo frigorifero, più comunemente a compressione con alimentazione elettrica, trasferisce il calore assorbito dalla sorgente fredda, il terreno, alla sorgente calda, che nel nostro caso è l'impianto di riscaldamento.

I sistemi pompa di calore-terreno (GSHP – Ground-Source Heat Pump) sono convenienti dal punto di vista



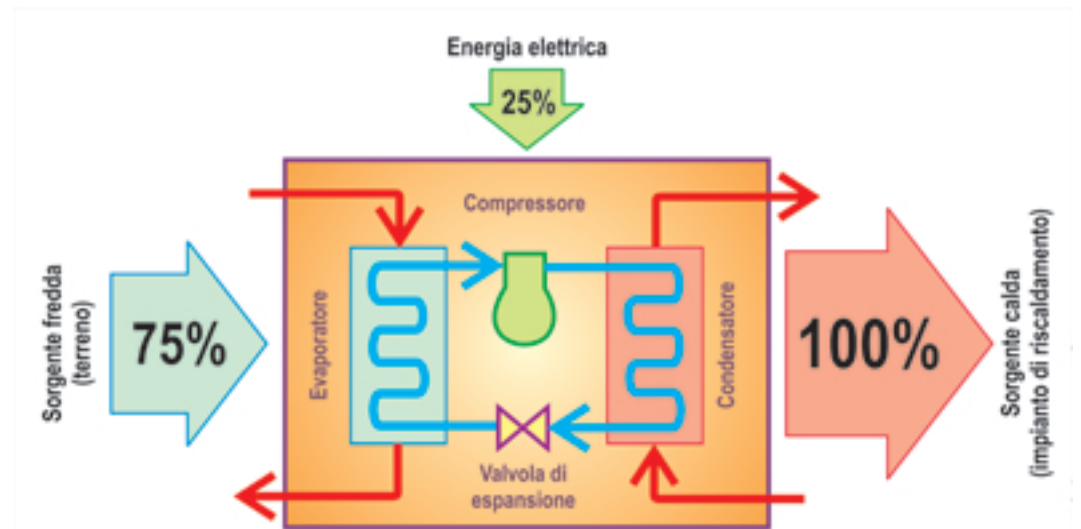
La pompa di calore, essendo a tutti gli effetti una macchina frigorifera, può naturalmente essere utilizzata, con un sistema a inversione di ciclo, per la climatizzazione estiva. In questo caso il terreno viene utilizzato per raffreddare, attraverso gli stessi scambiatori di calore, il condensatore, sostituendo di fatto le torri evaporative o gli scambiatori fluido-aria che altrimenti sarebbero necessarie.

Heat Pump

energetico non solo per l'utente finale ma anche per il sistema energetico nella sua globalità: se è infatti vero che per produrre 1kWh di energia elettrica sono necessari mediamente 2,7kWh di energia primaria (dati Autorità per l'energia elettrica e il gas, dati statistici 1999, rendimento calcolato considerando un consumo specifico medio per impianti termoelettrici pari a 2.174 kcal/kWh e perdite di rete pari al 6,5%), utilizzando un sistema GSHP con 1kWh di energia elettrica si producono almeno 4kWh di energia termica, quindi una quantità di energia superiore rispetto a quella che si è spesa.

La pompa di calore, essendo a tutti gli effetti una macchina frigorifera, può naturalmente essere utilizzata, con un sistema a inversione di ciclo, per la climatizzazione estiva. In questo caso il terreno viene utilizzato per raffreddare, attraverso gli

stessi scambiatori di calore, il condensatore, sostituendo di fatto le torri evaporative o gli scambiatori fluido-aria che altrimenti sarebbero necessarie. Le prestazioni del sistema sono migliori anche nel periodo estivo in quanto lo scambio termico con il terreno è efficace essendo la temperatura del terreno più bassa di quella dell'aria.



La pompa di calore opera tra due sorgenti una fredda, dalla quale il calore viene prelevato a bassa temperatura e una calda, verso la quale il calore viene ceduto a temperatura più alta. Il trasferimento di calore dalla sorgente a bassa temperatura a quella ad alta temperatura non avviene in modo spontaneo ma richiede l'introduzione nel ciclo di una certa quantità di lavoro che per queste macchine coincide con l'energia elettrica assorbita dal compressore.

Le pompe di calore

Il cuore dei sistemi GSHP è la pompa di calore, dispositivo che opera tra due sorgenti: quella fredda dalla quale il calore viene prelevato a bassa temperatura (ad esempio aria esterna, acqua di fiume o lago o terreno) e quella calda verso la quale il calore viene ceduto a temperatura più alta. In una pompa di calore tradizionale si possono distinguere i seguenti componenti:

- uno scambiatore di calore, detto evaporatore, che assorbendo il

Centrale termica con i quattro moduli delle pompe di calore in serie da 15kW ciascuna, installate nella scuola di Fully in Svizzera (fonte: documentazione tecnica Suisse Energie).



Inserimento delle sonde geotermiche nei pali di fondazione (fonte: documentazione tecnica Suisse Energie).

Dettaglio della struttura di un palo energetico all'Ecole Polytechnique Fédérale di Losanna (fonte: documentazione tecnica Suisse Energie).



calore dalla sorgente fredda fa evaporare il fluido refrigerante;

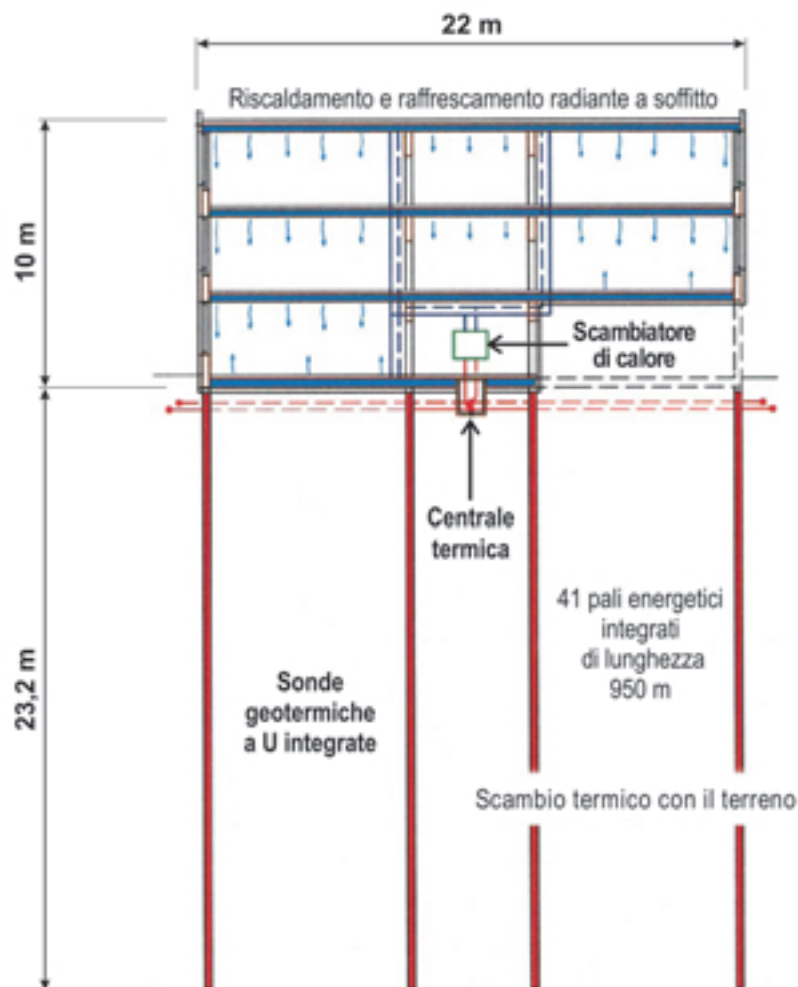
- il compressore, che comprime il gas elevandone temperatura e pressione;
- uno scambiatore di calore, detto condensatore, la cui funzione è quella di riportare il fluido refrigerante da vapore a liquido cedendo il calore generato alla sorgente calda (impianto di riscaldamento);
- la valvola di espansione che abbassa la pressione e la temperatura del fluido refrigerante chiudendo il ciclo.

Il trasferimento di calore da una sorgente a bassa temperatura a una ad alta temperatura non avviene in modo spontaneo ma richiede l'introduzione nel ciclo di una certa quantità di lavoro che per queste macchine coincide con l'energia elettrica assorbita dal compressore. Il rendimento di una pompa di calore (COP), definito come rapporto tra il calore fornito e l'energia elettrica assorbita, è influenzato in modo significativo dalle temperature di esercizio o, più preci-

samente, dalla differenza di temperatura tra la sorgente calda e quella fredda. Utilizzando un sistema con pompe di calore è quindi opportuno individuare una sorgente fredda a temperatura non eccessivamente bassa (il terreno è ideale) e scegliere un sistema di riscaldamento che operi a bassa temperatura (ad esempio sistema ad aria o, meglio ancora, sistema radiante).

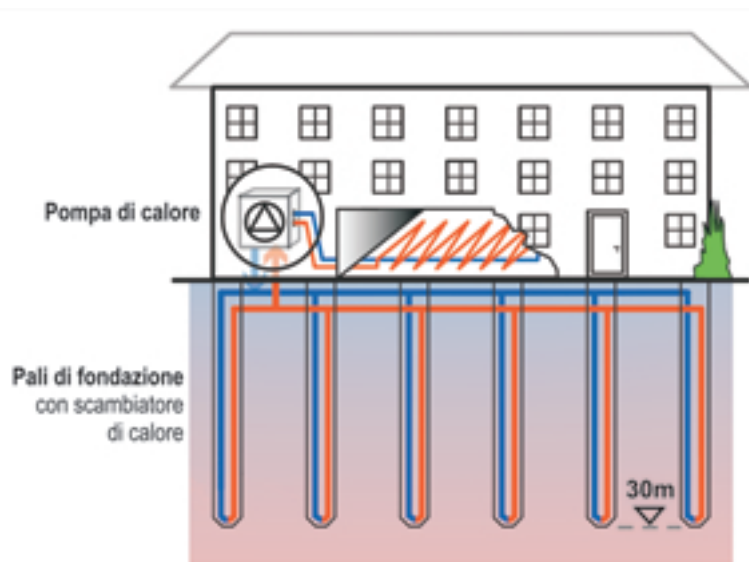
Il terreno come sorgente energetica

Per quanto riguarda la sorgente a bassa temperatura, l'aria è termodinamicamente poco efficiente in quanto il carico termico da soddisfare cresce proprio quando la temperatura esterna diminuisce. Una alternativa efficace all'aria è quella rappresentata dal terreno che presenta alcune caratteristiche molto favorevoli: a causa della sua moderata inerzia termica, già a basse profondità risente poco delle



Principio di funzionamento dei pali energetici applicato alla scuola di Fully in Svizzera (fonte: documentazione tecnica Suisse Energie).

►
Sistema con pali energetici per il riscaldamento e la climatizzazione (fonte: documentazione tecnica Info-Geotermia n.1 ottobre 2001, Svizzera Energia).



Le tecniche per lo sfruttamento del calore nel terreno

Per lo sfruttamento del calore nel terreno vengono utilizzate diverse tecnologie. Considerando quelle che si interfacciano attraverso circuiti idraulici chiusi, o scambiatori di calore, le soluzioni sono essenzialmente tre:

- le sonde geotermiche verticali, scambiatori di calore verticali con lunghezze tipiche da 50 a oltre 350m;
- le serpentine nel terreno, scambiatori di calore messi orizzontalmente a 1÷2m di profondità in terreni sciolti;

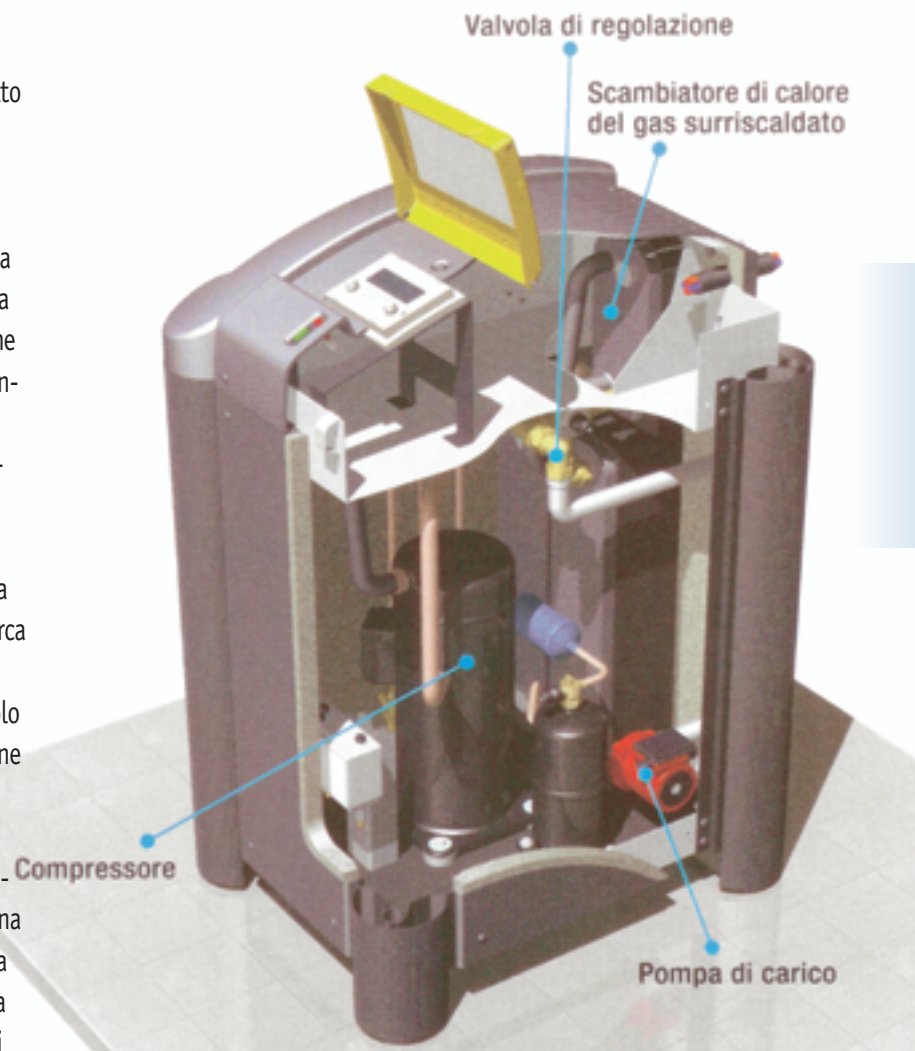
fluttuazioni termiche giornaliere e stagionali al punto che la sua temperatura può essere considerata costante per tutto l'anno.

Vicino alla superficie terrestre la temperatura è una combinazione della radiazione solare e del flusso geotermico. In confronto alla radiazione solare che ha un valore di circa $200\text{W}/\text{m}^2$, il flusso geotermico è molto piccolo con valori intorno a 50 a $100\text{mW}/\text{m}^2$.

L'interazione della radiazione solare con l'energia geotermica si rispecchia in una fluttuazione della temperatura con i ritmi giornalieri e stagionali che diminuisce all'aumentare della profondità fino a raggiungere valori di stabilizzazione, corrispondenti all'incirca alla temperatura media esterna dell'aria, per profondità intorno ai 20m. Una volta superata questa zona neutra la temperatura aumenta di circa 3°C ogni 100m.

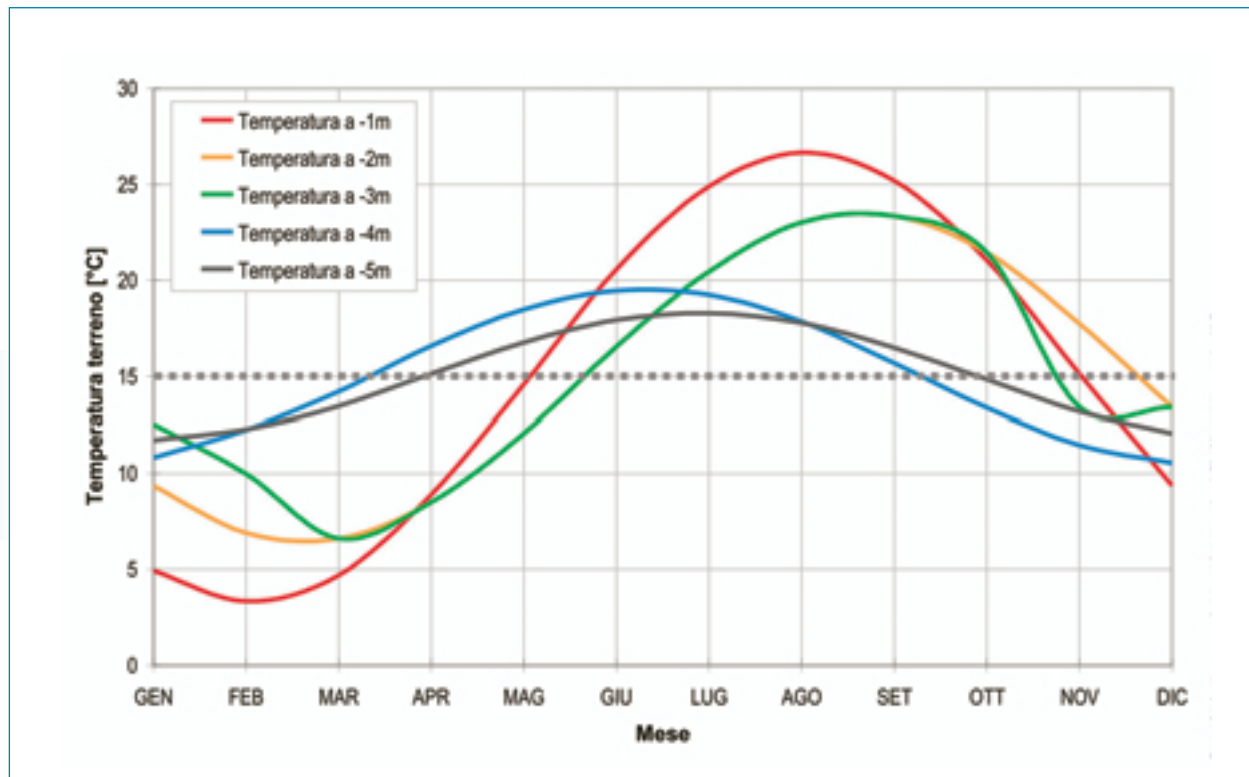
Utilizzando semplici modelli di calcolo è possibile determinare la fluttuazione stagionale della temperatura del terreno alle diverse profondità. Dal diagramma riportato in figura, elaborato con l'equazione di Hadvig per una località con un valore di temperatura esterna media annuale di 15°C e una escursione termica annua di 15°C , si

può osservare come già al di sotto dei $4\div 5\text{m}$ la fluttuazione delle temperature tenda a stabilizzarsi ma soprattutto come le temperature invernali del terreno assumano valori interessanti, dal punto di vista dell'efficienza, per sistemi GSHP.



◀ Spaccato assometrico della pompa di calore "Terra" (fonte: documentazione tecnica IDM Energie Systeme).

Andamento annuale della temperatura del terreno a diverse profondità per una località con temperatura media esterna di 15°C ed escursione termica annua di 15°C.



- i pali energetici, scambiatori di calore integrati negli elementi di fondazione di costruzioni palificate e hanno una profondità tipica di alcuni metri.

Le sonde geotermiche verticali (SGV) sono realizzate attraverso una perforazione di profondità variabile (in genere compresa tra 80 e 100m) avente un diametro di 10÷15cm.

Lavori per la costruzione di sette sonde geotermiche per il riscaldamento di quattro piccoli immobili a Lufingen, Svizzera (Foto Engeo).



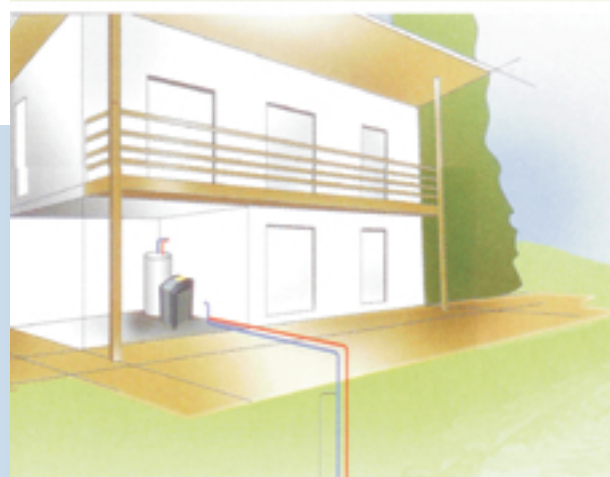
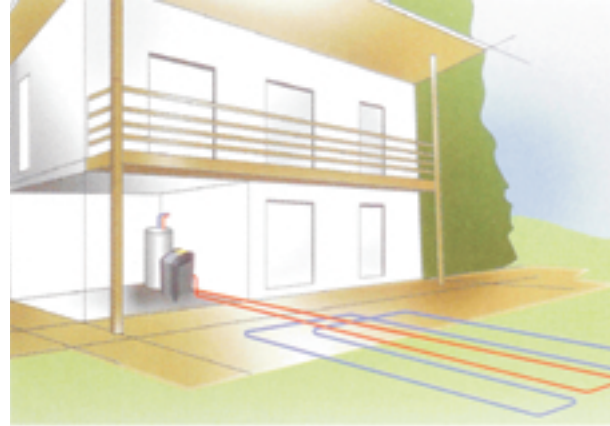
Terminata la perforazione si inserisce una tubazione a U in polietilene mentre lo spazio vuoto restante viene riempito con una miscela di "bentonite" e cemento per garantire un buon contatto termico tra i tubi e la parete della perforazione. Oltre alla configurazione ad U, che è la più diffusa, esistono altre configurazioni come quella a doppio tubo ad U, realizzata come la precedente, con la differenza che nella perforazione si inseriscono quattro tubi collegati a

due a due sul fondo, oppure quella a tubi coassiali nella quale il tubo di ritorno interno a quello di mandata, che occupa tutta la sezione della perforazione: se il diametro del tubo esterno è uguale o poco più piccolo rispetto a quello della perforazione, in questo caso non è necessario il getto di riempimento.

L'utilizzo esclusivamente invernale delle sonde geotermiche verticali può portare a una diminuzione della temperatura nel sottosuolo con un conseguente decadimento delle prestazioni negli anni. In questi casi è opportuno prevedere un sovradimensionamento iniziale dell'impianto. Il problema non si presenta se l'impianto viene utilizzato anche per il condizionamento estivo. Attraverso l'inversione del ciclo, infatti, gli scambiatori raffreddano il condensatore della macchina, che funziona da frigorifero, restituendo al terreno il calore assorbito nella stagione invernale. Le serpentine nel terreno e i pali

energetici non sono delle vere applicazioni della geotermia, ma sfruttano piuttosto l'energia solare che riscalda il terreno in superficie fino a pochi metri di profondità. I pali energetici sono utilizzati principalmente per la climatizzazione di costruzioni. Le serpentine vengono installate ad una profondità di 1÷2m e possono essere disposte nel terreno secondo diverse geometrie utilizzando normali tubazioni di polietilene reticolato ad alta densità. Negli edifici nuovi i costi possono essere notevolmente ridotti se il posizionamento delle serpentine viene previsto al momento dello scavo. I pali energetici, in calcestruzzo armato hanno, generalmente, un diametro di 0.4÷1.5m e una lunghezza che può variare da qualche metro fino a più di 30m. All'interno di questi pali è installato un tubo o un fascio di tubi in polietilene, spesso si tratta di U doppi o quadrupli, in base al diametro dei pali. Questi tubi sono poi immersi nel calcestruzzo per assicurare un buon contatto termico. Un fluido termovettore, spesso si tratta unicamente d'acqua, circola in un circuito chiuso tra i pali e la pompa di calore, al fine di poter scambiare calore o freddo con il terreno. I pali energetici rappresentano un esempio di integrazione tra edificio e impianto: le tubazioni, in questo caso, vengono introdotte nelle strutture di fondazione in costruzione. La valutazione delle prestazioni energetiche dei diversi sistemi è notevolmente influita dalla tipologia dello scambiatore. Il calcolo risulta abbastanza laborioso in quanto sono molti i fattori che intervengono, ad esempio la tipologia del terreno che può variare alle diverse profondità e l'umidità che può variare in funzione

della stagione. L'efficienza del sistema può inoltre essere influenzata dalla saturazione termica del terreno e, nel caso in cui i pali o le serpentine non siano posizionati a debita distanza tra loro, dalle reciproche interferenze. I valori di prestazione relativi alle sonde geotermiche si riferiscono alla potenza estratta per metro di sonda. La potenza estratta dal terreno non corrisponde a quella fornita all'impianto di riscaldamento e quindi all'edificio. La pompa di calore, infatti, trasferisce all'edificio anche l'equivalente termico della potenza elettrica assorbita dal compressore. Un sistema GSHP con una sonda geotermica che estrae dal terreno una potenza pari a 1000 W, e che opera con un COP pari a 4, trasferisce all'impianto $1000W + 1000 \cdot (1-1/4) = 1333W$. In pratica della potenza trasferita globalmente all'impianto di riscaldamento il 25% viene fornita dall'energia elettrica (333W) e il restante 75% viene estratta dal terreno attraverso la sonda. Per il riscaldamento di un edificio monofamiliare è in genere necessaria una sonda geotermica con profondità media



▲ *In alto, posizionamento orizzontale delle sonde geotermiche: per una potenza calorica di 10kW sono necessari circa 500-600m di tubi oppure da 230 a 360m² di superficie del terreno.*

In basso, le sonde possono anche essere posizionate in verticale: in questo caso per ottenere una potenza di 10kW sono necessari, a seconda delle caratteristiche del terreno, una o più sonde inserite a una profondità di 100m circa.

(fonte: documentazione tecnica IDM Energie Systeme).

Tipologie di sottosuolo	Rendimento [W/m]
Sottosuolo cattivo (terreno asciutto)	20
Roccia o terreno umido	50
Roccia con alta conducibilità	70
Ghiaia, sabbia, asciutta	< 20
Ghiaia, sabbia, satura	55-65
Argilla, limo, umido	30-40
Roccia calcare	45-60
Arenaria	55-65
Granito	55-70
Gneiss	60-70

Valori approssimativi di rendimenti aerei per diversi tipi di terreni per l'installazione a serpentine collocate a 1÷2m di profondità (fonte: SUPSI – Istituto Scienze della Terra – Progetto Geotermia Ticino).

Valori approssimativi di rendimenti specifici per diversi tipi di sottosuolo per sonde geotermiche collocate a 1÷2m di profondità. (fonte: SUPSI – Istituto Scienze della Terra – Progetto Geotermia Ticino).

Tipologie di sottosuolo	Rendimento [W/m ²]
Suolo sabbioso, asciutto	10-15
Suolo sabbioso, umido	15-20
Suolo coesivo, asciutto	20-25
Suolo coesivo, umido	25-30
Sabbia/ghiaia saturo	30-40



◀ *Cantiere per la realizzazione dell'impianto con sonde geotermiche. a) A inizio lavori si avvia lo scalpello e si comincia a perforare, in successione tutte le aste vengono avvitate e inserite nel terreno affinché portino in superficie i detriti dello scavo. b) Raggiunta la profondità voluta, si introducono nel foro le sonde geotermiche, preparate in sede con tubazioni di polietilene assemblate a coppie per formare un circuito chiuso. c) Il foro viene poi riempito con una miscela di cemento e bentonite per evitare ogni inquinamento. d) Collegamento delle sonde geotermiche al collettore esterno che bilancia il flusso di calore proveniente dal terreno e lo convoglia alla pompa all'interno dell'edificio (fonte: documentazione tecnica Geotermia s.r.l.).*

di 100m. Nel caso in cui la potenza richiesta sia superiore (ad esempio per un condominio) si possono realizzare impianti con più sonde collegate tra loro in serie o in parallelo.

I valori prestazionali relativi alle serpentine si riferiscono alla superficie del terreno occupata dalle serpentine stesse: quelli riportati in tabella sono stati calcolati sulla base di una configurazione classica con serpentine aventi un interasse tra le tubazioni compreso tra i 30 e i 60cm.

Anche in questo caso ci si riferisce alla potenza termica estratta dal terreno e non a quella fornita all'impianto di riscaldamento che, in analogia con quanto detto sopra, ossia considerando una pompa di calore operante con un COP pari a 4, dovrebbe considerare anche il contributo della pompa di calore che copre il restante 25%. La scelta dell'una o dell'altra configurazione dipende dalla situazione contingente. Le serpentine orizzontali, se da un lato sono meno complesse per quanto riguarda l'installazione, dall'altro richiedono una superficie utile che non sempre è disponibile. Per un edificio isolato di 100 m² che richiede una potenza termica di progetto di 6000W, ad esempio, considerando una potenza resa dal sistema GSHP pari a 40W/m² sono teoricamente necessari $6000/40 = 150\text{m}^2$, pari in pratica ad una volta e mezza la superficie dell'edificio. Per edifici isolati nei nostri climi, considerando che la potenza termica richiesta può essere ridotta migliorando la coibentazione delle pareti,

e che la potenza di progetto dell'impianto viene sfruttata in pochi giorni all'anno, la superficie dell'edificio è sufficiente a collocare le serpentine che possono quindi essere posizionate anche sotto l'edificio contemporaneamente allo scavo con vantaggi economici evidenti.

Le prestazioni energetiche dei pali energetici devono essere valutate caso per caso, attraverso una modellizzazione del sistema che deve essere progettato considerando sia esigenze energetiche che vincoli strutturali. Nei siti internet indicati a margine sono comunque riportate delle schede tecniche relative ad alcune realizzazioni interessanti.

Gli aspetti ambientali

Nella progettazione di questi sistemi occorre valutare anche gli aspetti ambientali. Per la posa delle sonde geotermiche è necessaria una indagine geologica: il pericolo è quello che una eventuale fuoriuscita di fluido termovettore (una miscela di acqua e di antigelo) possa inquinare la falda in caso di guasto e quindi di perdite di fluido da parte delle sonde. Le aziende specializzate nella posa delle sonde provvedono comunque ad effettuare le analisi e ad espletare le pratiche necessarie per l'ottenimento delle autorizzazioni.

Per quanto riguarda i sistemi con scambio a serpentina, posizionati a profondità limitate, il pericolo maggiore è che si raggiungano delle condizioni di congelamento del terreno che potrebbero essere dannose per le radici delle piante.

Nel bilancio ambientale globale la scelta dei sistemi GSHP rappresenta sicuramente una scelta ecologica in quanto il minore utilizzo di combu-

stibili riduce drasticamente l'impatto. Per edifici bene isolati, edifici cioè che richiedono una potenza termica specifica bassa, non è da escludere la possibilità di fornire l'energia elettrica necessaria alla pompa di calore attraverso un impianto fotovoltaico. In questo caso l'impatto con l'ambiente sarebbe nullo.

Le applicazioni dei sistemi GSHP in Europa

Sebbene i sistemi GSHP siano nati negli Stati Uniti e in Canada a partire dal dopoguerra, la loro diffusione in Europa è significativa, in particolare in due paesi, la Svezia e la vicina Svizzera. Il successo svedese è dovuto sia a motivi economici (basso costo dell'energia elettrica), sia a motivi più propriamente tecnici (proprietà termiche favorevoli del terreno). Si stima che in questo paese siano attualmente installati circa 60.000 sistemi GSHP con una capacità produttiva di 350 MW termici. È in questo Paese che troviamo un caso di successo di questa tecnologia: è la cittadina di Strömstad nella quale 140 impianti GSHP con 400 sistemi SGV forniscono calore a 3.000 abitanti. È tuttavia la Svizzera il Paese con la più elevata concentrazione di pompe di calore i rapporto alla popolazione. Si stima che in questo Paese siano installati circa 25.000 impianti con sistemi GSV, con una capacità produttiva superiore a 300MW termici. La diffusione così massiccia di questi impianti è favorita dalla politica ambientale che incentiva gli impianti di riscaldamento a bassa produzione di CO₂. La situazione in Austria è abbastanza simile a quella svizzera: i dati

più recenti stimano un numero di installazioni GSHP intorno alle 15.000-20.000 unità. Si tratta di impianti per lo più diffusi con potenze medie intorno ai 15kW termici anche se non mancano casi di successo come il Centro Convegni Multifunzionale di Dombin dotato di pali energetici (pali di fondazione al cui interno sono annegati i tubi per lo scambio termico con il terreno) per un totale di 65km in grado di fornire 800kW per il riscaldamento e il raffreddamento.

Impianti GSHP sono diffusi, anche se con densità inferiori, in Germania, Olanda, Belgio, Francia e Polonia. I pochi impianti realizzati in Italia sono per lo più ubicati

nella fascia montana al confine con l'Austria: un mercato comunque di nicchia nemmeno lontanamente confrontabile con quello dei sopra citati paesi diventati casi di eccellenza a livello mondiale.

La diffusione di questi sistemi in altri Paesi europei conferma sicuramente la maturità tecnica di queste tecnologie e la presenza di aziende che forniscono "chiavi in mano" le sonde geotermiche o gli impianti completi, costituisce una garanzia non solo sulla realizzabilità ma soprattutto sull'affidabilità di questi impianti che rappresentano una occasione importante per sfruttare l'energia elettrica in modo intelligente ma soprattutto consapevole. ♦

Per saperne di più....

- *M.De Carli, et alii: "Sviluppi nelle pompe di calore: il terreno come sorgente termica" - Convegno Aicarr 2002;*
- *R.Lazzarin: "Ground as a possibile heat pump source", Geothermische Energia 32/33, marzo/giugno 2001*
- *L.Rybach, B.Scanner: "Ground-source heat pump system - The European Experience"; GHC Bulletin, marzo 2000.*

- **<http://www.igshpa.okstate.edu>**
Sito ufficiale della IGSHPA (International Ground Source Heat Pump Association)
- **<http://www.geoexchange.org/>**
Sito ufficiale del Geothermal heat pump consortium
- **<http://www.ist.supsi.ch/geotermia/>**
Sito ufficiale del Progetto Geotermia Ticino
- **<http://www.gethermal-energy.ch/>**
Sito ufficiale dell'SSG (entro ticinese di promozione della geotermia)
- **<http://www.geotherm.it/>**
Sito ufficiale della Geo Therm Earth Energy System
- **<http://www.geotermiasrl.it>**
Sito ufficiale della Geotermia s.r.l.
- **<http://www.geoklima.com>**
Sito ufficiale della GeoKlima s.r.l.

