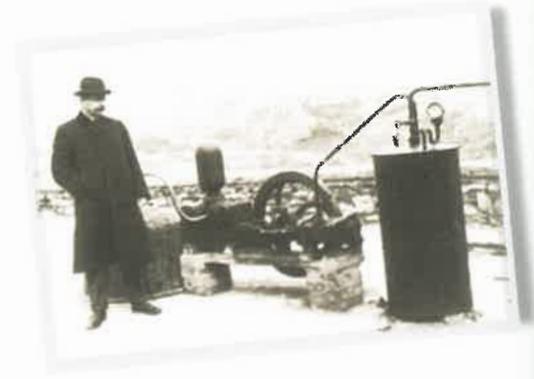
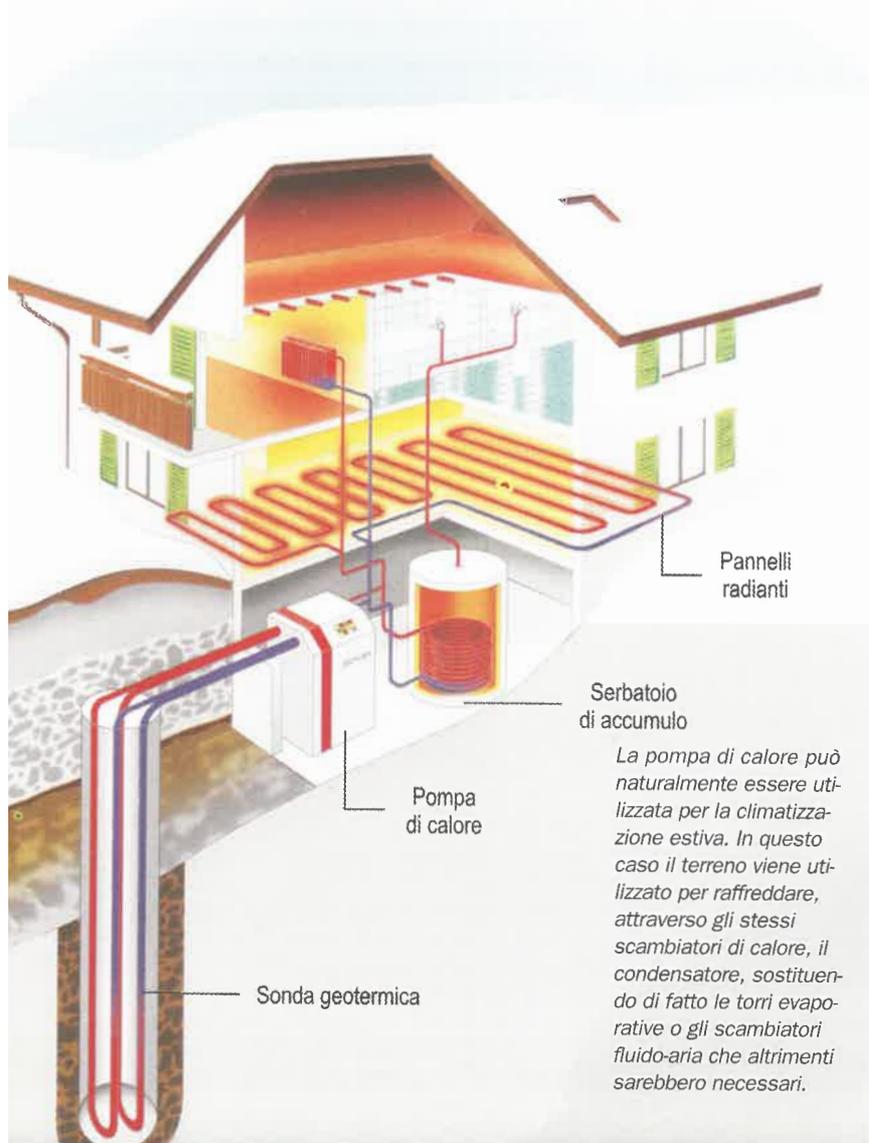


# Bilanci positivi

Producono più calore o raffrescamento di quanta elettricità consumino: le pompe di calore-terreno offrono vantaggi energetici sia per l'utente finale, sia per il sistema nella sua globalità.

Diffusi in Svezia, in Svizzera e in Austria, stanno conquistando anche il centro Europa. In Italia qualche timido segnale, ma i tempi non sono ancora maturi

Giuliano Dall'O'

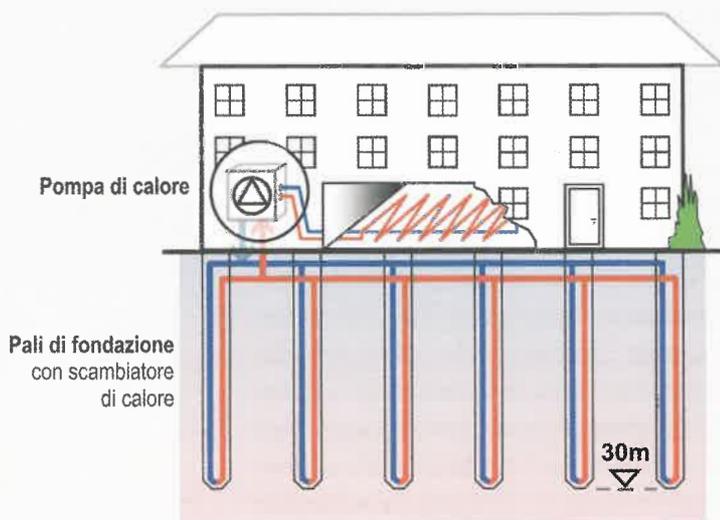


Il terreno è una risorsa naturale disponibile che, se ben sfruttata, può ridurre i consumi di energia negli usi cosiddetti termici quali il riscaldamento, la climatizzazione e la produzione di acqua calda. La macchina che consente di sfruttare questa fonte è la pompa di calore, dispositivo che funzionando 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 energetico non solo per l'utente finale ma anche per il sistema energetico nella sua globalità: se è infatti vero che per produrre 1 kWh di energia elettrica sono necessari mediamente 2,7 kWh 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 1 kWh di energia elettrica si producono almeno 4 kWh 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 ad 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.

## Le pompe di calore

Il cuore dei sistemi GSHP è la pompa di calo-



In alto a sinistra, il primo tentativo di produrre elettricità dal vapore geotermico è stato fatto a Lardarello nel 1904 (foto, per cortesia Archivio Storico Enel).

Sopra, sistema con pali energetici per il riscaldamento e la climatizzazione. Sotto, la pompa di calore opera tra due sorgenti una fredda 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 richiede l'introduzione nel ciclo di una certa quantità di lavoro che per queste macchine coincide con l'energia elettrica assorbita dal compressore.

A destra, 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.

re, 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 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

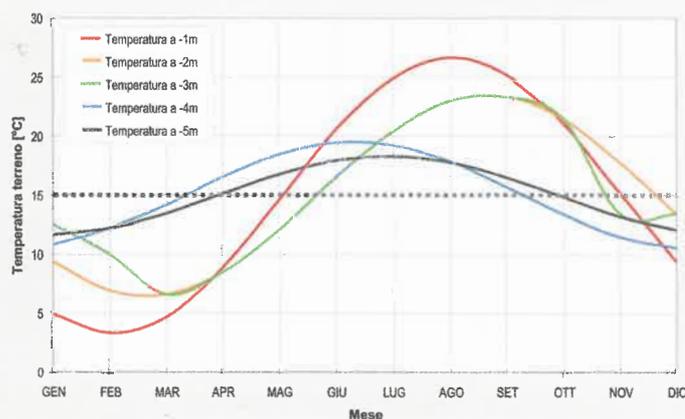
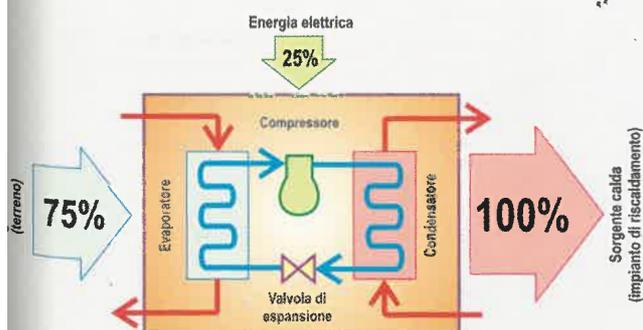
l'introduzione nel ciclo di una certa quantità di lavoro che per queste macchine coincide con l'energia elettrica assorbita dal compressore. Il rendimento di una pompa di calore (COP), definito come rapporto tra il calore fornito e l'energia elettrica assorbita, è influenzato in modo significativo dalle temperature di esercizio o, più precisamente, 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 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 W/m<sup>2</sup>, il flusso geotermico è molto piccolo con valori intorno a 50 a 100 mW/m<sup>2</sup>.

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 20 m. 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 a pag. 289 elaborato con l'equazione di Hadvig per una località con un valore di temperatura esterna media annuale di 15°C ed una escursione termica annua di 15°C, si può osservare come già al di sotto dei 4÷5 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.

### 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 350 m;
- le serpentine nel terreno, scambiatori di calore messi orizzontalmente a 1÷2 m di profondità in terreni sciolti;
- 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 100 m) avente un diametro di 10÷15 cm. Terminata la perforazione si inserisce una tubazione ad 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 ad 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 m di profondità. I pali energetici sono utilizzati principalmente per la climatizzazione di costruzioni. Le serpentine vengono installate ad una profondità di 1÷2 m 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÷1.5 m e una lunghezza che può variare da qualche metro fino a più di 30 m. 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.



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

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 influenzata 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  $1000 \text{ W} + 1000 \cdot (1 - 1/4) = 1333 \text{ W}$ . In pratica della potenza trasferita globalmente all'impianto di riscaldamento il 25% viene fornita dall'energia elettrica (333 W) e il restante 75% viene estratta dal terreno attraverso la sonda.

Per il riscaldamento di un edificio mono-familiare è in genere necessaria una sonda geo-

termica con profondità media di 100 m. 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 60 cm. 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 m<sup>2</sup> che richiede una potenza termica di progetto di 6000 W, ad esempio, considerando una potenza resa dal sistema GSHP pari a 40 W/m<sup>2</sup> 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.

*segue a pagina 351*

*Posizionamento orizzontale delle sonde geotermiche: per una potenza calorica di 10 kW sono necessari circa 500-600 m di tubi oppure da 230 a 360 m<sup>2</sup> di superficie del terreno. A destra, le sonde possono anche essere posizionate in verticale: in questo caso per ottenere una potenza di 10 kW sono necessari, a seconda delle caratteristiche del terreno, una o più sonde inserite a una profondità di 100 m circa (fonte: documentazione tecnica IDM Energie Systeme).*

