

Pompe di calore geotermiche

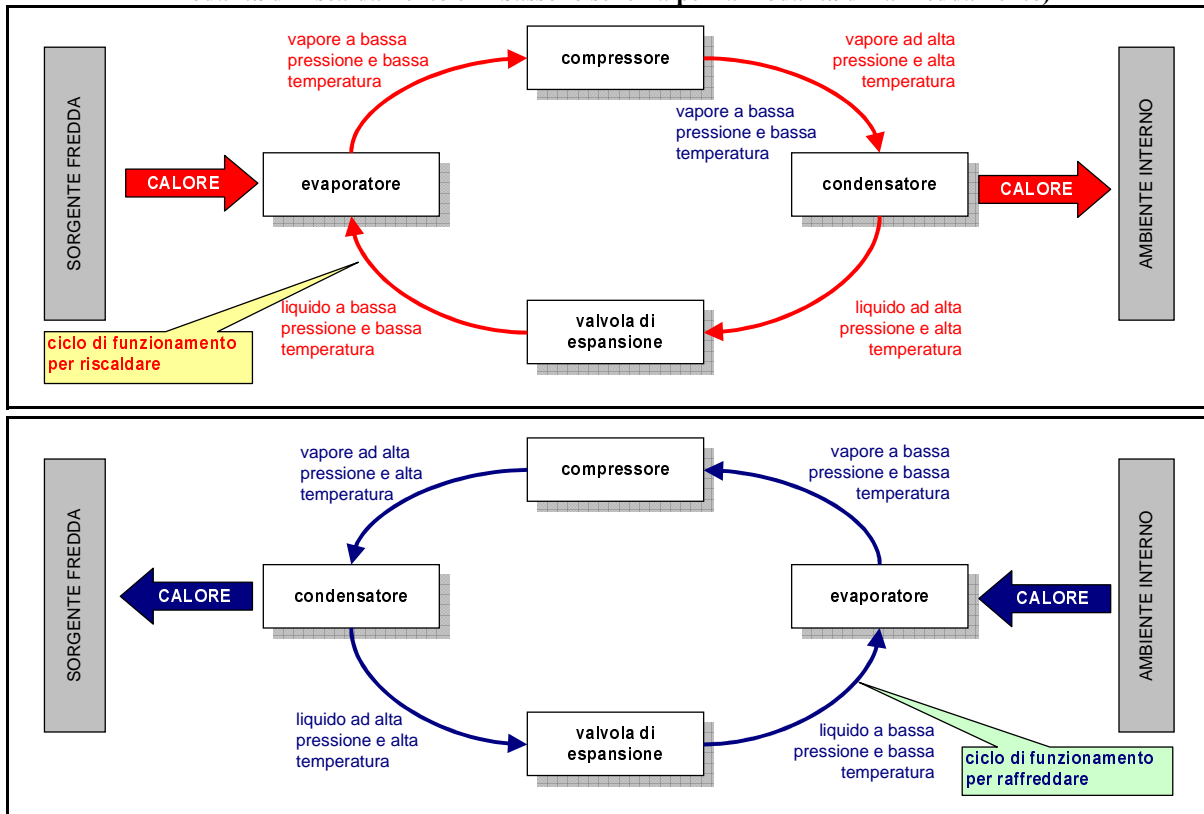
Descrizione della tecnologia

Le pompe di calore geotermiche sono sistemi adibiti a funzioni di riscaldamento in inverno e raffrescamento in estate che sfruttano, in maniera indiretta, l'energia solare che viene accumulata a terra.

Una pompa di calore (**Fig.1**) è costituita da diversi componenti all'interno dei quali circola, in un sistema chiuso, un fluido che viene sottoposto a cambiamenti di stato durante i quali si realizzano le variazioni di temperatura e conseguentemente gli scambi termici con l'ambiente interno (da riscaldare o raffreddare) e l'elemento esterno (utilizzato come sorgente di calore o come sistema in cui espellere il calore estratto dall'ambiente interno raffreddato). Nello specifico il sistema comprende:

- un compressore che incrementa la pressione e la temperatura del fluido del circuito che entra nel compressore allo stato di vapore;
- uno scambiatore di calore (condensatore) nel quale il vapore riscaldato, cedendo calore all'ambiente da riscaldare (nella modalità di funzionamento per riscaldare) o all'esterno (nel caso di funzionamento per raffreddare), condensa e passa allo stato liquido;
- una valvola di espansione che raffredda ulteriormente la temperatura del liquido e ne abbassa la pressione;
- un ulteriore scambiatore di calore (evaporatore) nel quale il liquido a bassa pressione e bassa temperatura uscente dalla valvola di espansione è in grado di assorbire calore (sia da una sorgente "fredda" - quale il sottosuolo - nella modalità di funzionamento per riscaldare, sia dall'ambiente interno quando il sistema funziona nella modalità di raffreddamento) e passare quindi nuovamente allo stato di vapore, da cui riprende un nuovo ciclo di lavoro.

Fig.1 – Componenti e schema di funzionamento di una pompa di calore (in alto lo schema di funzionamento nella modalità di riscaldamento e in basso lo schema per la modalità di raffreddamento)



Le pompe di calore possono produrre anche acqua calda sanitaria mediante sfruttamento, ad opera di un ulteriore scambiatore di calore detto desurriscaldatore, del calore in esubero ottenuto con la fase di compressione del fluido.

Vi sono differenti tipologie di pompe di calore, in funzione del serbatoio termico sfruttato e dell'elemento riscaldato o raffreddato (che può essere aria o acqua). Sono genericamente chiamate pompe di calore geotermiche le varie tipologie di sistemi che utilizzano il terreno, l'acqua di falda o specchi di acqua superficiale (laghi, stagni) come serbatoi termici.

Circa la metà dell'energia solare che raggiunge la Terra viene immagazzinata dal suolo che diventa così un serbatoio energetico di elevata capacità e costanza: la temperatura del suolo, a qualche metro di profondità, rimane pressochè invariata nel corso delle stagioni (a differenza dell'aria ambientale che subisce notevoli escursioni termiche) e fa sì che il sottosuolo, le acque sotterranee e quelle superficiali di laghi e stagni siano più caldi dell'aria ambientale in inverno e più freddi invece in estate. Poiché il rendimento delle pompe di calore è inversamente proporzionale alla differenza di temperatura tra la sorgente energetica e l'ambiente da riscaldare o raffreddare (ovvero cala all'aumentare della differenza di temperatura tra l'ambiente interno e l'elemento esterno utilizzato come serbatoio termico), le condizioni termiche che caratterizzano il terreno o i corpi idrici sotterranei e superficiali fanno sì che le pompe di calore geotermiche presentino un rendimento più elevato rispetto alle pompe di calore che utilizzano l'aria ambiente come sorgente energetica¹.

Per poter sfruttare l'energia geotermica le pompe di calore necessitano di dispositivi, chiamati connessioni a terra, dedicati allo scambio termico con il sottosuolo o le altre tipologie di serbatoi termici utilizzabili. Sul fronte dell'edificio, invece, la pompa di calore deve essere messa in connessione con un impianto per la distribuzione del calore o del freddo.

Tab.1 – Componenti per un sistema con pompa di calore geotermica

Componente	Specifiche
Connessione a terra	<ul style="list-style-type: none"> - accoppiamento con il sottosuolo (sistema verticale o orizzontale) - accoppiamento con l'acqua di falda - accoppiamento con specchi di acqua superficiale
Pompa di calore	<ul style="list-style-type: none"> - sistemi acqua-aria: all'interno della pompa di calore circola acqua o una soluzione acquosa di antigelo e il caldo o il freddo prodotto dal sistema viene trasferito all'aria che scalda o raffresca i locali - sistemi acqua-acqua: all'interno della pompa di calore circola acqua o una soluzione acquosa di antigelo e il caldo o il freddo prodotto dal sistema viene trasferito all'acqua del circuito di riscaldamento / raffrescamento
Impianto interno di distribuzione calore / freddo	<p>Sistemi di scambio termico con gli ambienti interni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - impianti ad aria: sistema composto da condotti per l'aria riscaldata o raffreddata dalla pompa di calore; diffusori; sistemi di reintegro di aria fresca; sistemi di controllo - impianti ad acqua: sistema composto dal circuito dell'acqua di riscaldamento / raffrescamento mediante cui si realizza lo scambio termico con l'ambiente interno (distribuzione radiante mediante pavimenti e pareti radianti e ventilconvettori)

¹ Esempio di condizioni di funzionamento delle pompe di calore nel periodo invernale: le pompe di calore geotermiche assorbono energia dal sottosuolo, che si trova ad una temperatura di circa 14°C, per riscaldare acqua a 35°C (sistema di riscaldamento radiante a bassa temperatura) e pertanto il salto termico da compiere è contenuto (21°C); le pompe di calore di impianti "tradizionali" che utilizzano l'aria esterna devono prelevare energia da una sorgente che può trovarsi anche a temperature sotto lo zero per andare a produrre acqua calda a circa 70°C per alimentare i termosifoni, dovendo quindi compiere un salto termico molto più elevato.

Nei sistemi che scambiano calore con il sottosuolo viene installato un circuito di tubazioni, poste verticalmente in apposite cavità ottenute mediante perforazioni (sistema verticale – **Fig.2.a**) o orizzontalmente mediante escavazione del terreno dall’area interessata all’installazione (sistema orizzontale **Fig.2.b**). In entrambi i casi si tratta di un circuito chiuso in cui il fluido termovettore presente all’interno svolge solamente la funzione di trasferire il calore dal suolo al circuito della pompa di calore e viceversa.

Fig.2.a – Configurazione di un impianto geotermico connesso con il sottosuolo con assetto verticale (sonde geotermiche)

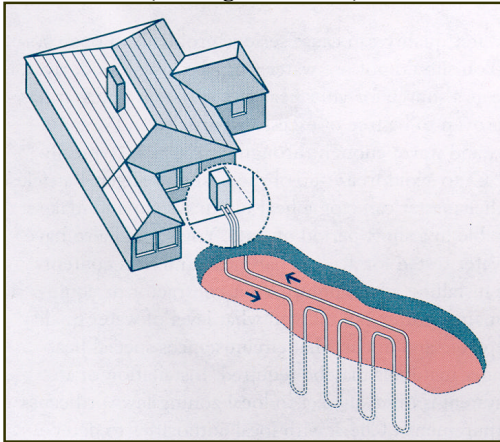
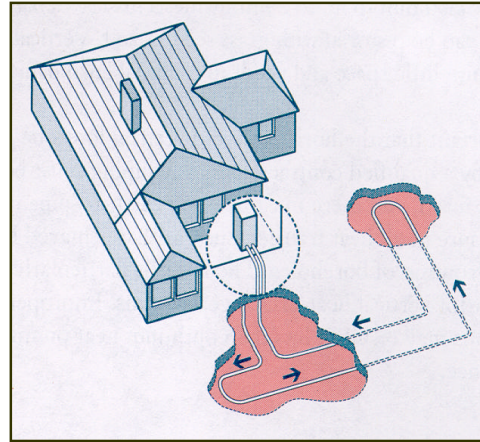
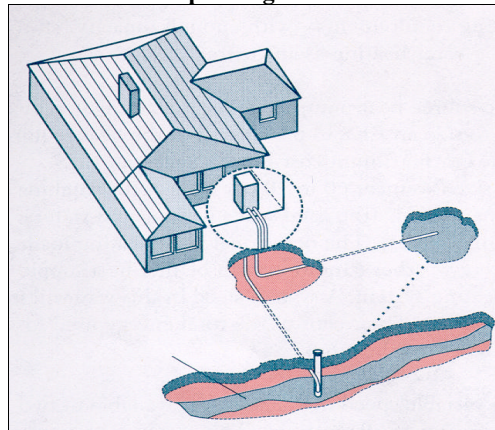


Fig.2.b – Configurazione di un impianto geotermico connesso con il sottosuolo con assetto orizzontale



Nel caso in cui si sfrutti acqua di falda come sorgente di energia termica (**Fig.3**) questa viene direttamente utilizzata come fluido che scorre nel circuito che scambia energia con la pompa di calore o con uno scambiatore intermedio (ovvero si realizza un circuito aperto): in questa tipologia di impianti vengono realizzati dei pozzi, alimentati dalla falda, da cui l’acqua viene prelevata ed inviata allo scambiatore che si connette con la pompa di calore, per poi essere pompata nuovamente in falda (utilizzando un pozzo diverso da quello di mandata o, nel caso in cui sia utilizzato lo stesso pozzo, l’acqua di ritorno viene pompata sulla superficie del pozzo mentre quella di alimentazione viene prelevata dal fondo).

Fig.3 – Configurazione di un impianto geotermico che utilizza acqua di falda



Ulteriore tipologia di impianto geotermico è quello che utilizza specchi di acque superficiali come serbatoi termici da cui estrarre o trasferire calore, a seconda della modalità di funzionamento del sistema. Gli scambiatori in questo caso vengono posti sul fondo del lago o dello stagno e il sistema funziona come circuito chiuso, ovvero il fluido che circola nelle tubazioni non è costituito

dall'acqua del lago o dello stagno (tale scelta è dettata dalle caratteristiche proprie di queste acque superficiali la cui composizione può essere ricca di detriti e agenti corrosivi che ne rendono svantaggioso l'utilizzo come fluido che alimenta direttamente il sistema in un circuito aperto che aspira l'acqua dal corpo idrico e quindi ve la reimmette dopo lo scambio termico con la pompa di calore).

Specifiche tecniche per l'installazione e la manutenzione

A seconda del tipo di serbatoio termico sfruttato e dello specifico assetto della connessione con il terreno, variano le esigenze e le peculiarità di installazione di una pompa di calore geotermica (Tab.2.a – Tab.2.b).

Tab.2.a – Elementi caratteristici delle pompe di calore geotermiche in connessione con il terreno

	Tipo di impianto	
	In connessione con il terreno – assetto verticale	In connessione con il terreno – assetto orizzontale
Specifiche per l'installazione	<ul style="list-style-type: none"> - Perforazioni profonde: la specifica profondità dipende dalle esigenze termiche dell'edificio da riscaldare / raffreddare secondo una relazione di 15-25 m di profondità per kW di potenza frigorifera dell'impianto - Diametro delle perforazioni di circa 10-15 cm - Opportuno distanziamento delle perforazioni (almeno 7-8 m) per evitare interferenze termiche - Messa a dimora di tubazioni a U connesse all'apice della perforazione con il circuito orizzontale di mandata e ritorno del fluido termovettore - Le tubazioni a U contenute nelle perforazioni possono essere connesse tra loro secondo uno schema in serie o in parallelo - Le perforazioni, dopo l'inserimento delle tubazioni, sono sigillate con prodotti appositi per preservare le falde acquifere e massimizzare lo scambio termico - Occorre prevedere accurata coibentazione per le porzioni di tubazioni che corrono fuori dal terreno ed utilizzo di prodotti antigelo 	<ul style="list-style-type: none"> - Messa a dimora del circuito in trincee di 1-2 m di profondità che quindi vengono richiuse - La lunghezza del circuito dipende dalle esigenze termiche dell'edificio da riscaldare / raffreddare secondo una relazione di circa 35-55 m di lunghezza per kW di potenza di riscaldamento dell'impianto - Possono essere realizzate molteplici configurazioni: a singolo tubo, a tubi multipli, con tubi a spirale. All'aumentare del numero di tubi ubicati nella stessa trincea aumentano le dimensioni dello scavo (in profondità se i tubi sono sovrapposti o in larghezza se sono affiancati), però si riduce l'estensione superficiale complessiva dell'impianto. Lo scambiatore a spirale comporta, a parità di prestazione, il minor consumo di suolo ma richiede una maggior estensione complessiva di tubazioni (e quindi un costo maggiore) - Tra le varie trincee deve essere in genere rispettata una distanza minima di circa 7 m in modo da ridurre le interferenze termiche. - Occorre prevedere accurata coibentazione per le porzioni di tubazioni che corrono fuori dal terreno ed utilizzo di prodotti antigelo
Vantaggi	<ul style="list-style-type: none"> - Maggiore efficienza rispetto ai sistemi orizzontali grazie alla maggiore stabilità termica del terreno alle profondità raggiunte dal sistema verticale - Sviluppandosi in profondità, l'installazione di questo tipo di assetto coinvolge un'area di terreno meno estesa rispetto ai sistemi orizzontali 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo più contenuto rispetto ai sistemi di tipo verticale (non si richiedono interventi di perforazione ma di semplice escavazione)
Svantaggi	<ul style="list-style-type: none"> - Costo elevato determinato dall'attività di perforazione del suolo 	<ul style="list-style-type: none"> - A causa della distanza contenuta dalla superficie, il sottosuolo con cui la pompa di calore realizza lo scambio di calore risente maggiormente delle fluttuazioni termiche stagionali e ciò riduce l'efficienza del sistema - Sviluppandosi in orizzontale, l'installazione di questo tipo di assetto coinvolge un'area di terreno più estesa rispetto ai sistemi verticali

Tab.2.b – Elementi caratteristici delle pompe di calore geotermiche in connessione con risorse idriche sotterranee o superficiali

	Tipo di impianto	
	In connessione con acqua di falda	In connessione con acqua superficiale
Specifiche per l'installazione	<ul style="list-style-type: none"> - Creazione di pozzi della profondità adeguata a raggiungere la falda e diametro di circa 15 cm - Possibilità di realizzare impianti con pozzi adibiti al prelievo e pozzi adibiti alla reimmissione dell'acqua di falda o impianti in cui uno stesso pozzo svolge entrambe le funzioni (in questo caso si richiede una profondità maggiore in modo da limitare le interferenze termiche tra il livello superiore e quello inferiore dell'acqua contenuta nel pozzo) - Installazione di uno scambiatore di calore intermedio tra il circuito alimentato con acqua di falda e il circuito della pompa di calore in modo da evitare quest'ultimo entri in contatto con le eventuali sostanze corrosive o i detriti che possono essere presenti nell'acqua di falda 	<ul style="list-style-type: none"> - Alloggiamento del circuito di scambio termico sul fondo dello specchio d'acqua - Necessità di utilizzare tubazioni in materiali resistenti alle situazioni di usura che le sostanze corrosive e i detriti presenti nell'acqua possono produrre - Utilizzo di scambiatori a bobina finalizzati a ridurre l'occupazione dello specchio d'acqua da parte dell'impianto (occorre però evitare di concentrare eccessivamente la zona di scambio per non andare a produrre situazioni termiche di disturbo per l'eventuale fauna presente nel corpo idrico)
Vantaggi	<ul style="list-style-type: none"> - Costo contenuto dell'impianto: può essere sufficiente anche un solo pozzo (se nello stesso si realizza il prelievo e la reimmissione di acqua) o due pozzi distinti (uno di presa e l'altro di reiniezione) - L'installazione necessita di uno spazio più contenuto rispetto agli altri sistemi 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo contenuto in quanto non è richiesto alcun intervento di perforazione o scavo
Svantaggi	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizzabile solo laddove si abbia la presenza di una risorsa idrica sotterranea di adeguata entità e a profondità non troppo elevata (ovvero facilmente raggiungibile) - Possibili divieti di carattere normativo per la reiniezione dell'acqua nel sottosuolo (l'acqua di ritorno ha una temperatura differente da quella di mandata) - Possibili limiti all'utilizzo dell'acqua di falda in corrispondenza di vincoli allo sfruttamento di tale risorsa 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizzabile solo laddove si abbia la presenza di uno specchio di acqua superficiale di adeguata dimensione (in termini di larghezza e profondità) - Maggiore variabilità termica dell'acqua superficiale rispetto alle altre tipologie di serbatoi energetici utilizzati dalle pompe di calore geotermiche e conseguente minor efficienza soprattutto nelle condizioni di picco (periodi più freddi in inverno e periodi più caldi in estate)

Il rendimento dell'impianto, inteso nei termini di quantitativo di calore estratto dalla sorgente geotermica, dipende dalla conducibilità termica della specifica tipologia di sottosuolo presente ove si effettua l'installazione (**Tab.3**).

Tab.3 – Valori di conducibilità termica per differenti tipologie di sottosuolo

	Tipo di sottosuolo										
	S.s. di cattiva qualità (rocce mobili secche)	Rocce indurite o rocce mobili sature di acqua	Rocce indurite a conducibilità termica elevata	Ghiaia, sabbia, secco	Ghiaia, sabbia, acquifero	Argilla, limo, umido	Calcere, massiccio	Arenaria	Granito	Basalto	Gneiss
Conducibilità termica (W/m K)	< 1,5	1,5 - 3	> 3	0,4	1,8-2,4	1,7	2,8	2,3	3,4	1,7	1,9

La presenza di acqua aumenta il rendimento dell'impianto migliorando lo scambio termico tra impianto e sottosuolo.

Dal punto di vista dell'ingombro, diversamente dalle esigenze di spazio non trascurabili richieste per il sistema di connessione a terra, la pompa di calore ha dimensioni molto contenute (paragonabili a quelle di un frigorifero) e, a differenza dei tradizionali sistemi di raffrescamento, non richiede l'installazione di elementi sulle parti esterne dell'edificio con un conseguente beneficio sia in termini estetici che di prevenzione di eventuali atti vandalici su parti esposte.

Poiché tutti i sistemi di connessione a terra necessari per il funzionamento delle pompe di calore geotermiche sono solitamente di difficile accesso una volta terminata l'installazione dell'impianto, è necessario utilizzare materiali di elevata qualità e resistenza, nonché manodopera altamente qualificata, in modo da evitare il rischio di danneggiamenti, rotture e malfunzionamenti e conseguentemente le esigenze di intervento su questa componente del sistema. Le migliori prestazioni sono date dall'impiego di tubazioni in polietilene ad alta densità con raccordi assemblati mediante fusione.

Le esigenze di manutenzione proprie della pompa di calore sono estremamente ridotte in quanto, a differenza dei convenzionali impianti di riscaldamento (caldaie), non realizzano alcuna combustione e non implicano quindi pulizie o verifica del rendimento.

Complessivamente l'impianto garantisce una buona durata di funzionamento; la durata media delle pompe di calore è paragonabile a quella di una tradizionale caldaia (circa 15 anni) mentre per quanto concerne i sistemi di connessione sono stimate durate molto lunghe (anche fino a 100 anni) su cui però non è ancora possibile avere una conferma esperienziale. I costruttori dei sistemi offrono garanzie che vanno dai 20 ai 50 anni.

Campo di applicabilità e di convenienza

Tutte le differenti tipologie di pompe di calore sono sistemi convenienti dal punto di vista energetico in quanto consumano, durante il loro funzionamento, meno energia di quella che riescono a produrre. Nel caso delle pompe di calore geotermiche, in virtù della loro maggiore efficienza rispetto alle pompe di calore ad aria, si può arrivare a produrre fino a 5 kWh di energia termica (operando quindi nella modalità di riscaldamento) a fronte di un consumo elettrico di 1 kWh della macchina che "pompa" il calore.

Le pompe di calore geotermiche permettono di conseguire risparmi energetici, rispetto ai tradizionali sistemi di riscaldamento e raffreddamento, di notevole portata ovvero si possono ottenere:

- riduzioni del consumo energetico necessario per le esigenze di riscaldamento che vanno dal 30% al 70%;
- riduzioni del consumo energetico necessario per le esigenze di raffreddamento che vanno dal 20% al 50%.

Questi impianti non sono però in grado di operare con temperature superiori a 50°C e pertanto, nella modalità di funzionamento per riscaldamento, devono essere necessariamente accoppiate con sistemi a bassa temperatura quali pannelli radianti (a parete o a pavimento) o ventilconvettori².

Da un punto di vista economico la tecnologia di sfruttamento dell'energia geotermica richiede un notevole sforzo iniziale in relazione sia ai costi dell'impianto sia alle spese legate alle esigenze di perforazione o escavazione del terreno che si hanno in fase di installazione. A titolo di esempio, il costo per un impianto geotermico connesso con il terreno funzionale a soddisfare il fabbisogno di riscaldamento di un appartamento di circa 200 m², pari a 11 kW termici, si aggira attorno a 21.000 € nel caso di un sistema orizzontale di 230 m e attorno a 24.000 € per un sistema verticale con profondità di perforazione a 165 m. Occorre tener presente che il costo dell'impianto varia sensibilmente in funzione del fabbisogno energetico dell'edificio che a sua volta dipende dalla

² Un buon isolamento termico degli edifici consente il ricorso a sistemi di riscaldamento a bassa temperatura.

qualità della costruzione e dal tipo di isolamento termico. I costi di gestione sono invece molto contenuti in ragione dell'elevata efficienza di questi sistemi e delle ridotte esigenze di manutenzione.

Nel valutare l'applicabilità e la convenienza dell'installazione di pompe di calore geotermiche devono essere prese in considerazione:

- la disponibilità di spazio per alloggiare il sistema di scambio di calore con la sorgente geotermica;
- il tipo di sottosuolo su cui sorge l'edificio oggetto dell'intervento;
- la presenza di eventuali vincoli che impediscono o limitano lo sfruttamento della risorsa geotermica, quali vincoli alla perforazione o zone di protezione delle acque sotterranee e/o superficiali;
- le esigenze di climatizzazione dell'edificio e, in caso di edifici esistenti, il tipo di sistema di riscaldamento in essere;
- le caratteristiche climatiche del luogo.

Il ricorso a pompe di calore geotermiche risulta di maggiore interesse:

- in zone climatiche che comportano esigenze di riscaldamento degli edifici nel periodo invernale ed esigenze di raffrescamento in quello estivo (in modo da permettere di sfruttare appieno le potenzialità dell'impianto e i conseguenti risparmi energetici ottenibili)³. Lo sfruttamento delle pompe geotermiche anche per la produzione di acqua calda sanitaria incrementa ulteriormente l'efficienza complessiva e il risparmio energetico fornito dal sistema;
- quando sussistono forti variazioni stagionali di temperatura in quanto nelle condizioni di picco si ha una forte domanda energetica che può essere efficacemente soddisfatta dai sistemi geotermici (a differenza delle pompe geotermiche ad aria);
- nel caso di realizzazione di nuovi edifici (ove, oltre alla necessità di dotare gli edifici stessi di sistemi di riscaldamento e raffreddamento, risultano agevolati i lavori di perforazione o scavo necessari alla messa a dimora dei dispositivi di scambio termico) o in caso di edifici esistenti in cui l'impianto di climatizzazione sia giunto al termine della propria vita⁴. Ciò è dovuto al fatto che in presenza di edifici già dotati di impianto funzionante di riscaldamento e raffreddamento il costo per l'acquisto e l'installazione di una pompa di calore geotermica raramente può essere giustificato dal solo risparmio energetico ottenibile;
- laddove il costo del combustibile utilizzato dagli impianti di riscaldamento convenzionali abbia raggiunto livelli particolarmente elevati mentre il costo dell'energia elettrica sia più contenuto, oppure in località raggiunte dalla rete elettrica ma non da quella del gas naturale, in quanto le pompe di calore non utilizzano combustibile ma consumano solo energia elettrica.

Considerazioni ambientali

Il bilancio energetico relativo al funzionamento delle pompe di calore geotermiche è favorevole, ovvero questi sistemi consentono di sfruttare l'energia solare immagazzinata a terra consumando un quantitativo di energia notevolmente inferiore a quello che riescono ad erogare per soddisfare i fabbisogni termici di un edificio. I risparmi energetici che le pompe di calore geotermiche sono in grado di realizzare per il riscaldamento e il raffreddamento degli edifici, nonché per la produzione di acqua calda, rispetto a tradizionali sistemi di climatizzazione (es. caldaie, condizionatori) si traducono in emissioni di gas serra evitati.

³ In questi casi il costo della pompa geotermica deve essere raffrontato, per le pertinenti valutazioni economiche, con il costo complessivo degli impianti convenzionali di riscaldamento e di condizionamento che sarebbe necessario installare per soddisfare le esigenze termiche dell'utenza.

⁴ In situazioni di ammodernamento dell'impianto di climatizzazione mediante installazione di una pompa di calore geotermica, l'intervento è economicamente più conveniente qualora sia già presente un sistema di riscaldamento a bassa temperatura in modo da poter mantenere in essere la parte dell'impianto legata alla distribuzione del calore nei locali dell'edificio.

Dato che le pompe di calore consumano solamente energia elettrica, è possibile realizzare un impianto combinato con pannelli fotovoltaici, o altri sistemi di produzione pulita di elettricità, in modo da ridurre ulteriormente l'impatto ambientale già estremamente ridotto associato a questa tecnologia energetica.

Fonti

- *“Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & cases textbook – Ground-Source Heat Pump Project Analysis”*, RETScreen International – Clean Energy Decision Support Center, Minister of Natural Resources Canada, 2001-2005; www.retscreen.net
- *“Analisi di progetti con pompe di calore geotermiche”* – Corso di analisi di progetti con energie pulite, RETScreen International – Clean Energy Decision Support Center, Minister of Natural Resources Canada, 2001-2006.
- *“I condizionatori dell'aria: raffrescatori e pompe di calore”* – opuscolo n°25 collana “Sviluppo Sostenibile”, ENEA, luglio 2006. <http://efficienzaenergetica.acs.enea.it>
- *“Energy Efficiency and Renewable Eneegy - Geothermal Heat Pumps”*, U.S. Department of Energy, www.eere.energy.gov