

I N G E E N I U M

Engineering Ltd

**Installazioni di sistemi in  
geotermia a bassa entalpia in  
ambiti civili ed industriali**

[www.ingenium.com](http://www.ingenium.com)

# Geotermia a bassa entalpia

La geotermia a bassa entalpia o **GCHP** (Ground Coupled Heat Pump) è una tipologia di energia che sfrutta il calore presente negli strati del sottosuolo terrestre per la climatizzazione degli edifici.

Gli impianti più semplici, a partire dal basso verso l'alto, sono così composti:

- dai 50 ai 150 metri di profondità sotto terra, si trova la sonda geotermica, che analizza i dati di temperatura, pressione e volume delle rocce che contengono il calore che interessa per la produzione di energia termica;
- la pompa di calore si trova pochi metri sotto l'abitazione ed è l'effettivo strumento che permette il trasferimento di energia quando serve;
- il serbatoio per l'accumulo d'acqua (calda o fredda, a seconda che sia inverno o estate) posto vicino alla pompa di calore, serve per integrare la possibile mancanza di elettricità che non permetterebbe alla pompa di funzionare, consentendo quindi la continuità del flusso di calore;
- il pavimento radiante all'interno dell'edificio è composto da diversi tubi in cui passa il fluido climatizzante, permettendo sin dal primo strato abitativo un piacevole comfort;
- le tubazioni per l'acqua calda sanitaria sono disposte in tutte le stanze che necessitano di questo elemento; sono all'interno delle murature e quindi non recano alcun danno visivo e non rubano spazio.

Andando più nel dettaglio possiamo analizzare le differenti forme di energia geotermica a bassa entalpia, che si classificano come non derivanti da anomalie geotermiche e derivanti da anomalie geotermiche positive:

# Energia geotermica non derivante da anomalie geotermiche

Per energia geotermica non derivante da anomalie geotermiche **si intende il calore presente all'interno della crosta terrestre sfruttabile per la produzione di energia termica**; è una fonte rinnovabile vera e propria ed è più frequente delle anomalie geotermiche. Si differenziano due diversi utilizzi:

- l'uso diretto (pre-riscaldamento o pre-raffreddamento dell'aria di ventilazione, temperature di 15-20 gradi centigradi). L'aria di rinnovo viene prelevata dall'esterno e inviata all'interno di condotti orizzontali interrati ad una profondità tra 1 e 2 m; in inverno viene pre-riscaldata e in estate viene direttamente immessa in ambiente o pre-raffrescata e successivamente inviata ad un'unità di trattamento dell'aria.

- l'uso indiretto, anche detto geoscambio, consiste, in inverno, nell'impiego di pompe di calore che servono per portare l'energia sottratta dal terreno, da una temperatura solitamente intorno a 12-15°C, a temperature utili per il riscaldamento, mentre d'estate l'impiego di macchine frigorifere o pompe di calore reversibili serve per il condizionamento estivo, immettendo nel terreno il calore rimosso da un condensatore.

Per la costruzione di questi impianti si utilizza una **speciale trivella per pozzetti verticali**, nel caso in cui l'impianto si voglia far estendere in direzione verticale sotto il terreno oppure vengono adoperate delle serpentine a sviluppo orizzontale quando è più difficile scendere troppo sotto il livello del suolo (bastano pochi metri di profondità).

In funzione della profondità del terreno, esiste uno sfasamento e una riduzione delle fluttuazioni stagionali di temperatura del suolo rispetto quelle dell'aria, a causa della sua capacità termica più alta; di conseguenza il terreno diviene una sorgente termica **più calda dell'aria esterna in inverno e più fresca in estate**. E' più caldo quando noi abbiamo freddo ed è più fresco quando siamo accaldati, perfetto! Inoltre, grazie a questa particolarità, le efficienze delle macchine sono migliori **ed il vantaggio maggiore è in termini di costi di gestione**. In pratica più sono simili le temperature del terreno e quella che si vuole ottenere all'interno dell'edificio, minore sarà il costo di realizzazione delle sonde di scambio.

# Energia geotermica derivante da anomalie geotermiche

L'energia geotermica derivante da anomalie geotermiche positive, invece, sfrutta i fluidi fuoriuscenti dal terreno (zone termali) solamente a scopi diretti: per la produzione di energia elettrica (temperature maggiori di 250 °C) e per la produzione di calore (temperature da 50°C a 100 °C, ad esempio è il caso del **teleriscaldamento**).

Un'altra classificazione riguarda la tipologia di impianto a cui può essere accoppiata la pompa di calore:

- **a circuito chiuso**: si tratta di impianti accoppiati con il terreno attraverso un sistema di tubazioni estese in orizzontale, verticale o a spirali, al cui interno scorre il fluido termovettore;
- **circuito aperto**: sono impianti che utilizzano l'acqua di pozzo o di falda come fluido, con re-immissione dell'acqua nella falda stessa o in fognatura dopo l'uso;

Facciamo ora un'analisi energetica di confronto, anche attraverso dei dati numerici, tra un impianto consistente in una pompa di calore e un impianto di riscaldamento invernale che utilizza una caldaia tradizionale:

Con un COP medio di 3.8 (Coefficiente Di Prestazione), una pompa di calore è in grado di produrre **100 kWh di calore tramite 27 kWh di elettricità**. In Italia servono 59.4 kWh di energia primaria per produrre 27 kWh elettrici e quindi per produrre 100 kWh di calore. Il rendimento, rispetto all'energia primaria spesa, è  $100/59.4 = 168\%$ . La quota di calore considerata rinnovabile è  $Q_u - W = 100 \text{ kWh termici} - 27 \text{ kWh elettrici} = 73 \text{ kWh}$ .

Una caldaia a gas naturale con rendimento medio dell' 85% **richiederebbe un'energia primaria di  $100/0.85 = 117 \text{ kWh}$  per produrre la stessa quantità di calore della pompa di calore**. Il rendimento è in pratica la metà rispetto alla pompa di calore.

# La geotermia a bassa entalpia

- Questa presentazione è stata sviluppata per fornire alcune informazioni sulla progettazione di sistemi di cooling in geotermia a bassa entalpia in ambito civile ed industriale.
- Vengono qui presentate alcuni principi fisici relativi ai sistemi di Geotermia a bassa entalpia, alcune metodologie applicative, con particolare attenzione alle tipologia di pompe di calore utilizzate, e le metodologie di captazione calore utilizzate per lo scambio termico in terreno.
- Viene infine fornito qualche elemento su una installazione in provincia di Bari.

Qualche principio

Qualche principio

Le pompe di calore sono tutte uguali ?

Sistemi di captazione e scarico calore nel terreno

L'installazione a Palese

I N G E E N I U M  
Engineering Ltd

Geotermia a bassa entalpia:  
qualche principio.

# Entalpia come funzione di stato

- L'entalpia è una funzione di stato termodinamico che esprime la quantità di energia che un sistema è in grado di scambiare con un altro sistema.
- Definiamo quindi la funzione di stato entalpia come la somma fra energia interna complessiva ed energia termica del sistema.
- I sistemi geotermici a bassa entalpia si basano non già sulla captazione di calore terrestre (come avviene nella geotermia per la produzione di energia elettrica) ma sfrutta l'inerzia termica della terra, virtualmente infinita, come "pozzo termico".

$$H = PV + E_i$$

$$PV = nRT$$

# Il pozzo termico

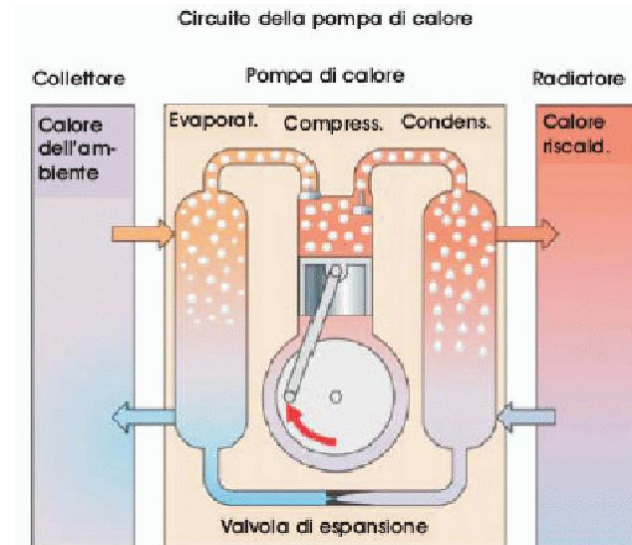
- Un “pozzo termico” è sostanzialmente qualunque sistema fisico che abbia una capacità termica virtualmente infinita.
- In altri termini possiamo considerare un sistema “pozzo termico” tutte le volte che la capacità termica dello stesso sia almeno due ordini di grandezza superiore a quello del nostro sistema termodinamico.





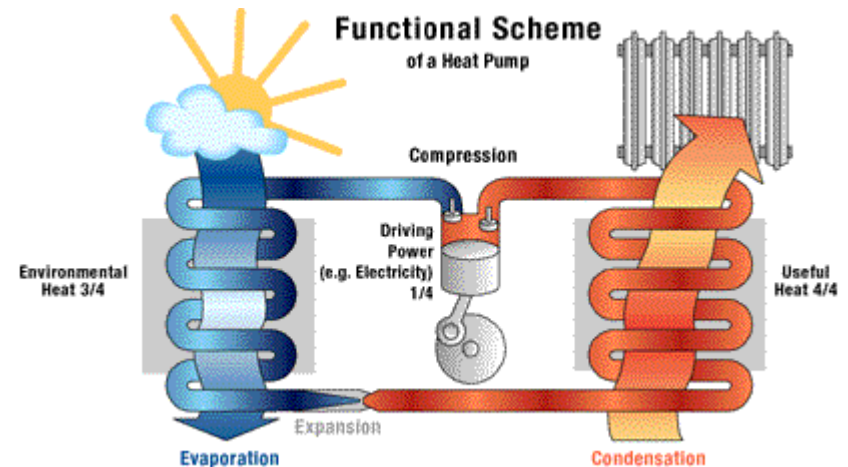
# Perché la geotermia è a bassa entalpia?

- La geotermia detta a bassa entalpia sfrutta la massa terrestre come un pozzo di calore virtualmente infinito: in altri termini la capacità di scarico e carico termico terrestre è virtualmente ininfluenzabile da processi di carico e scarico termico di entità trascurabile quali le installazioni in geotermia.
- In questo senso l'uso di sistemi a pompa di calore permettono di trasferire in maniera bidirezionale calore da un ambiente ad un altro.



# La Geotermia non comporta combustione

- In questo senso il processo geotermico a bassa entalpia permette di trasferire calore dalla massa terrestre ad un fluido operante (e viceversa) senza che per scaldare lo stesso sia necessario immettere calore generato dall'ossidazione di combustibili: quindi niente fiamme, niente ossidi e (ovviamente) nessuna necessità di fonti di calore chimico.



# Il concetto di COP

- COP è l'acronimo di "Coefficient of performance" di una pompa di calore, ovvero il rapporto fra il calore somministrato alla sorgente a temperatura più alta e il lavoro speso per fare ciò:

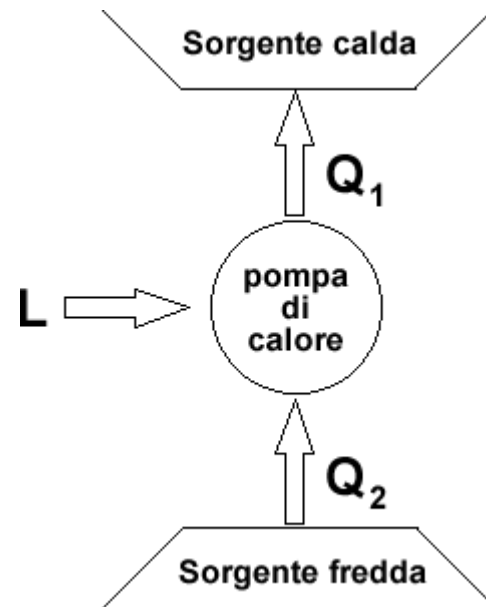
- $COP_{pdc} = Q_1 / L$

- Viceversa il COP di una macchina frigorifera è definito come il rapporto fra il calore assorbito dalla sorgente a temperatura più bassa e il lavoro speso:

- $COP_f = Q_2 / L$

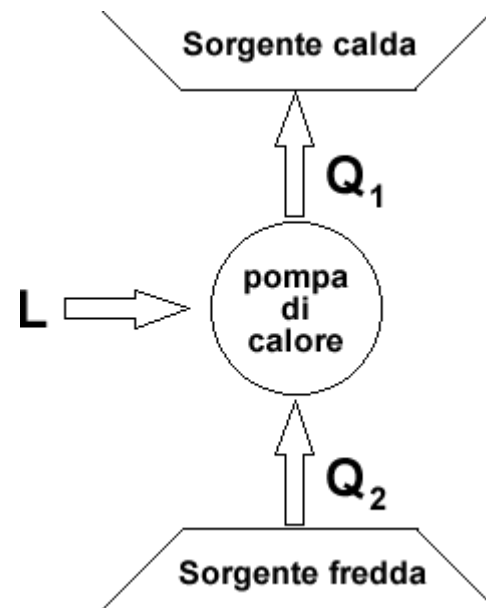
- È possibile scrivere il COP frigorifero in funzione del COP della pompa di calore: considerando come sistema termodinamico la pompa di calore (il cerchio in figura) e prendendo positivi i calori e i lavori entranti si ha:

- $Q_2 - Q_1 + L = 0$



# Il concetto di COP

- Sostituendo nell'equazione del COP frigorifero avremo:
  - $COP_f = (Q_1 / L) - 1$
- Per cui:
  - $COP_f = COP_{pc} - 1$
- Il COP può essere espresso anche in funzione del costo unitario dell'energia elettrica e termica, espressi in €/kWh:
- $COP = \text{costo unitario energia elettrica} / \text{costo unitario energia termica}$
- In questo modo è possibile calcolare quale debba essere il COP minimo affinché si abbia convenienza, dal punto di vista finanziario, nell'utilizzo della pompa di calore per riscaldamento al posto di una tradizionale caldaia.

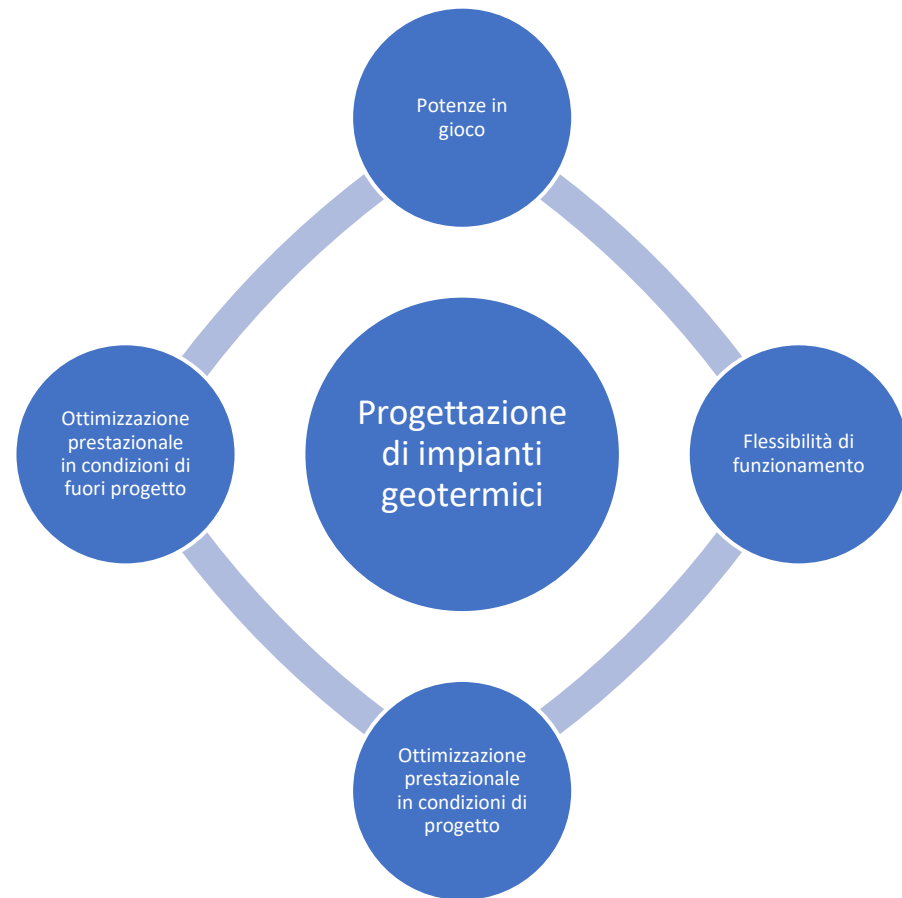


I N G E E N I U M  
Engineering Ltd

Tipologie di pompa di calore

# Le pompe di calore NON sono tutte uguali

- E' vero, la tecnologia legata alle pompe di calore proviene da quella dei condizionatori: i processi interni sono sostanzialmente simili e le performance teoriche sono di fatto abbastanza standardizzate.
- Ciò però non significa che le pompe di calore siano tutte uguali: i parametri funzionali permettono di scegliere soluzioni che risultano interessanti in funzione delle scelte di progetto.



# La produzione di ACS deve essere integrata?

- Dal punto di vista della complessità impiantistica il collegamento fra condizionamento domestico e la produzione di ACS risulta in linea di massima equivalente, mentre dal punto di vista termodinamico lo scarico di energia termica durante il periodo estivo permette di ottenere acqua calda sanitaria a costi estremamente limitati.
- La soluzione di disporre di un boiler ACS integrato alla pompa di calore rappresenta quindi la soluzione ideale dal punto di vista energetico.



# INGEENIUM

## Engineering Ltd





I N G E E N I U M  
Engineering Ltd

Dimensionamento termico

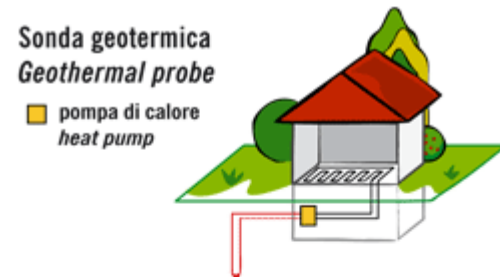
# Il sistema geotermico come polmone

- Un sistema in geotermia a bassa entalpia deve essere pensato non già come un mero impianto termotecnico ma più approfonditamente come ad un polmone termico.
- Pertanto un'installazione geotermica in costruzioni scarsamente efficienti in termini di coibentazione non solo comporta una continua trasmissione termica all'esterno, ma anche un funzionamento non ideale della PDC, costretta a lavorare in modo continuativo e non con un processo impulsivo discontinuo.
- Il sistema in geotermia in questo caso risulta inadatto e poco vantaggioso.



# Scambio termico con il terreno

- Come gestire le necessità termiche di scambio della PDC ?
- Le tecnologie geotermiche prevedono in genere che si realizzi lo scambio termico grazie a sonde interrate oppure utilizzando acque di falda o disponibili (come ad esempio quelle di uno specchio d'acqua).
- Vi sono fondati motivi per effettuare scelte di progetto differenti a seconda delle situazioni



# Capacità termica del terreno

- Ovviamente la capacità termica del terreno riveste particolare importanza nel dimensionamento di un impianto.
- Una prospezione geologica preliminare riveste quindi una particolare importanza nel dimensionamento di un impianto con sonde convenzionali.

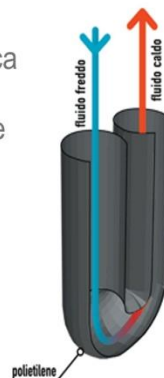
Rendimento della sonda geotermica in relazione alle caratteristiche geologiche del sottosuolo.

Caratteristiche del sottosuolo	Rendimento [w/m]
sottosuolo 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 calcarea	45-60
arenaria	55-65
granito	55-70
gneiss	60-70

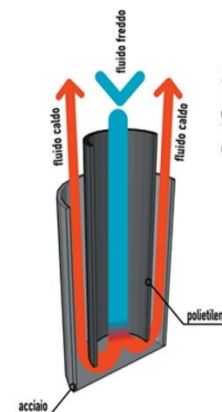
# Sonde verticali convenzionali

- Le sonde geotermiche convenzionali hanno capacità termiche variabili fra i 10 ed i 50 w/metro lineare, valori in generale limitati dal materiale utilizzato (polietilene) che ha scarsa capacità di scambio termico ma eccellente resistenza alla corrosione galvanica.
- Ciò significa in linea di massima che la capacità di scambio termico dipendono sostanzialmente dalla lunghezza della sonda e dalla profondità raggiunta, che forzatamente deve essere elevata per evitare effetti di interferenza.

Sonda geotermica in polietilene

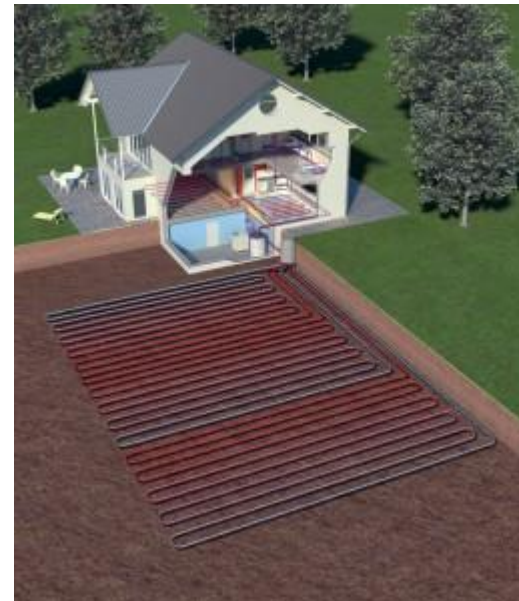
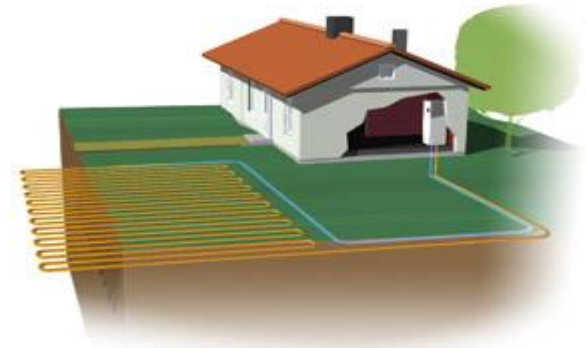


Sonda geotermica coassiale



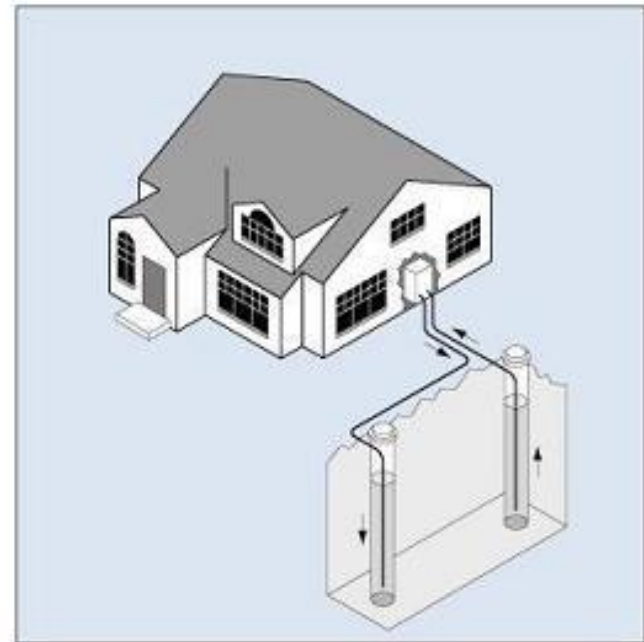
# Sonde orizzontali convenzionali

- Identicamente alle sonde verticali, anche le sonde orizzontali (in genere interrate a circa 1,5 metri di profondità) hanno capacità di scambio termico linearmente dipendenti dalla lunghezza.
- Il valore di scambio termico medio viene generalmente calcolato con un coefficiente di progetto 0.92 per tenere conto degli effetti di interazione fra sonde: sono quindi necessari superfici ampie oltre che un impegno di movimento terra piuttosto elevato.



# Scambio termico ad acqua di falda

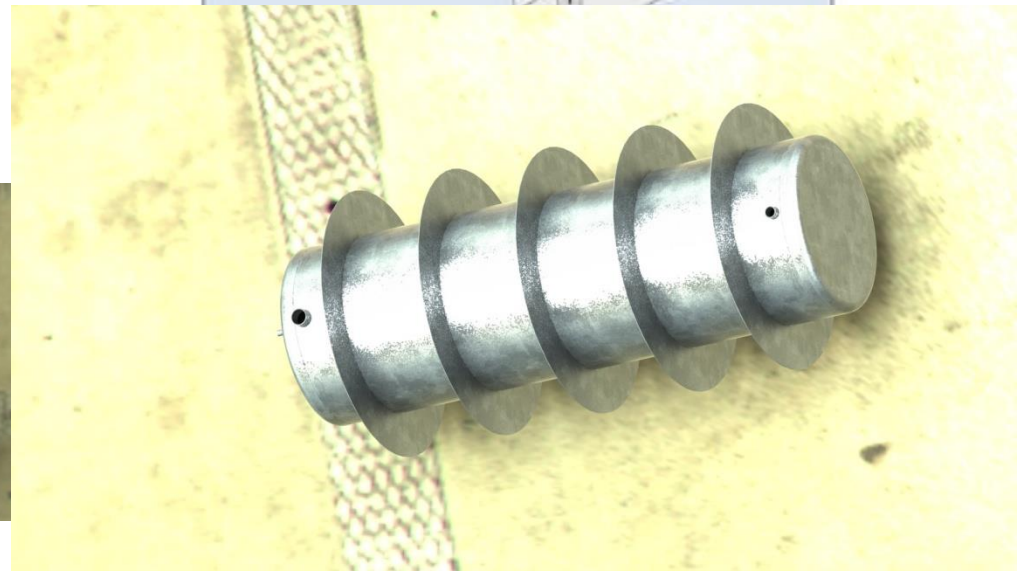
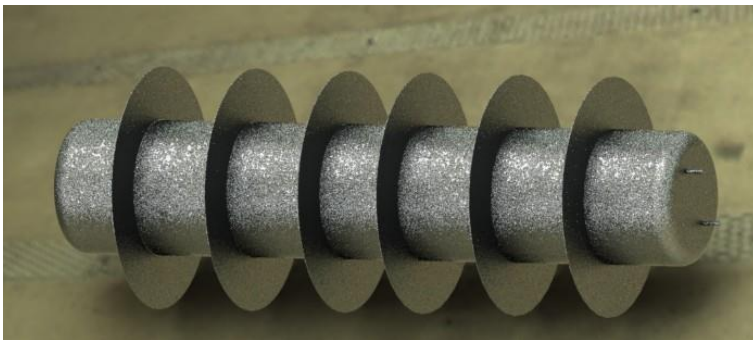
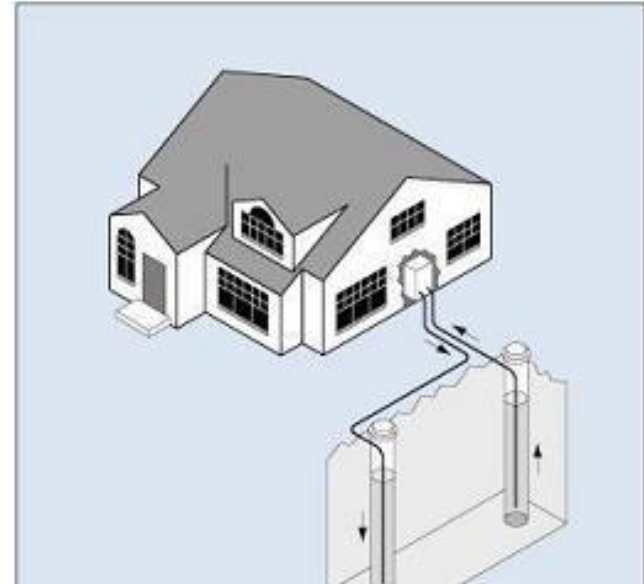
- Lo scambio termico ad acqua di falda necessita di un circuito aperto che carichi acqua (che ha grande capacità termica) da un pozzo e la scarichi in un altro per evitare comprensibili effetti di variazione termica. Questo sistema ha il vantaggio di poter funzionare con portate limitate (qualche centinaio di litri ora) ma necessita di pompe sommerse e soprattutto di acque di falda con caratteristiche piuttosto neutre in termini di sali sciolti e di cariche batteriche limitate.
- In questi casi l'utilizzo di scambiatori di calore intermedi risolve il problema ma decrementa ovviamente le potenze termiche gestibili oltre a necessitare di un dimensionamento più oneroso delle pompe immerse.





# Sistemi di scambio termico alternativi

- Alcuni sistemi di scambio termico ad alta efficienza (GEOCOMPACT) permettono un dimensionamento semplice tramite un interramento a circa 1,5 metri dalla superficie.
- Il sistema diviene quindi un pozzo virtuale a circuito chiuso, che utilizza in luogo di acqua un mix fra glicole etilenico ed acqua, massimizzando quindi le capacità di scambio termico.





# Installazione villa bifamiliare

- La villa bifamiliare è stata pensata come un edificio in classe A++ ed ha una volumetria pari a 450 m<sup>3</sup> per unità abitativa. Se lo standard funzionale medio richiederebbe circa 15 kW termici grazie alla realizzazione di una coibentazione a cappotto interna il valore di installazione complessivo è stato limitato a 7.57 kW termici.
- La soluzione è stata quella di installare la PDC Rhoss THHE 106 (potenza di targa 7.7 kWt).



I N G E E N I U M  
Engineering Ltd

**L'installazione**

# Installazione

- La struttura di villetta bifamiliare ha una volumetria complessiva pari a  $900 \text{ m}^3$ , con una valutazione di richieste energetiche attorno ai 30 kW per costruzioni in classe C.
- Lo sviluppo di una efficiente coibentazione ha permesso di scendere con le potenze installate in maniera tale da rispondere perfettamente alle esigenze di riscaldamento e raffrescamento con due pompe di calore Rhoss THHE 106 con potenza complessiva pari a 15,4 kWt.



# Installazione

- L'integrazione di scambio termico è stata realizzata con un sistema a pavimento radiante che, unita alla realizzazione di una efficace coibentazione inferiore, ha garantito eccellenti prestazioni complessive.



# Installazione

- Poiché il sistema di riscaldamento e raffreddamento è esclusivamente ad alimentazione elettrica, si è scelto di non collegare la villetta alla rete di gas combustibile: l'adozione di soluzioni quali le piastre da cucina ad induzione permette di eliminare totalmente i processi di combustione eliminandone anche i rischi connessi.

