



POLITECNICO DI TORINO

Vittorio Verda – Dipartimento Energia

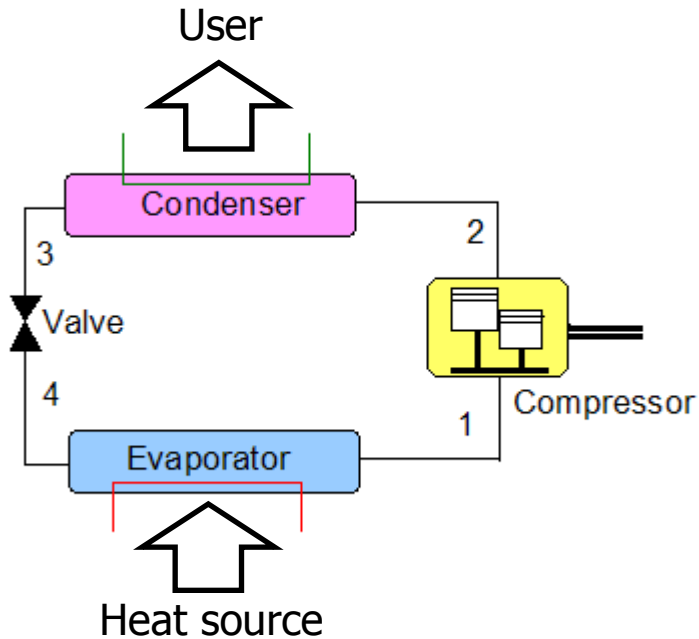
POMPE DI CALORE GEOTERMICHE

Il calore della terra a casa nostra.

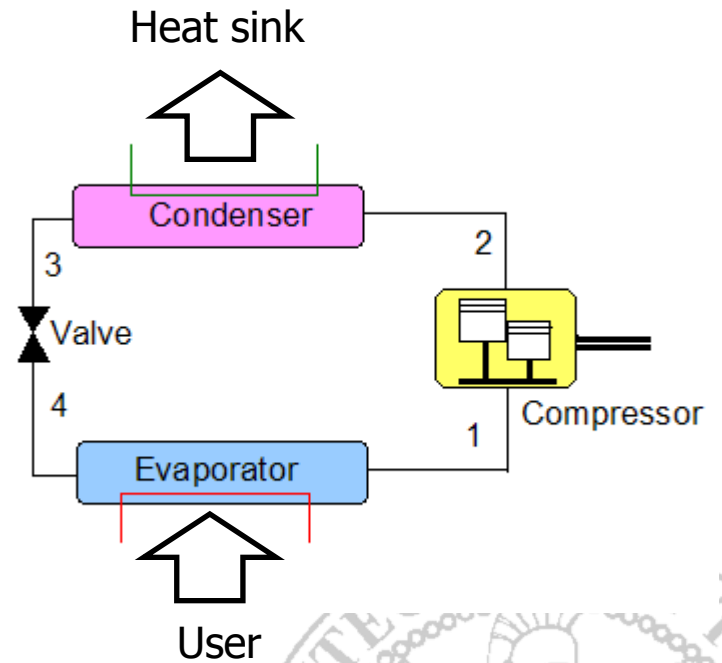
La Geotermia: cos'è, come funziona, quanto si risparmia

Cuneo – 29 Ottobre 2013

Pompe di calore a compressione di vapore



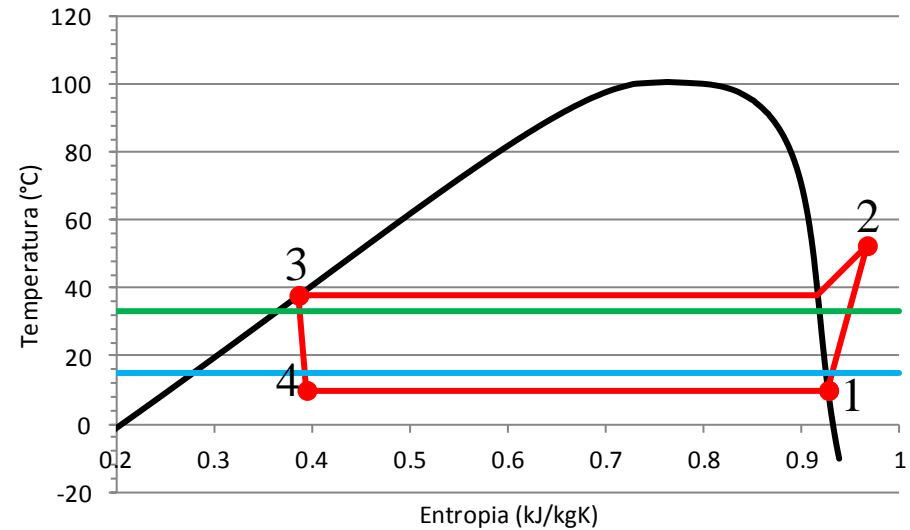
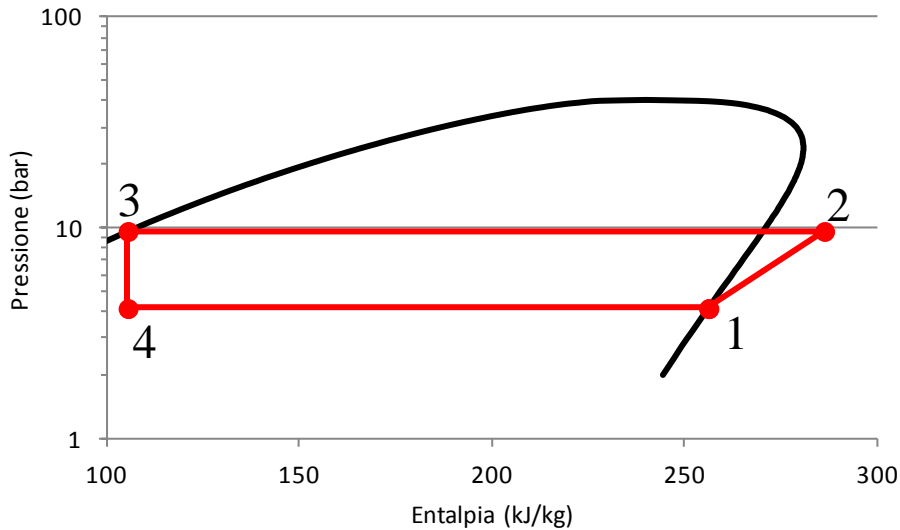
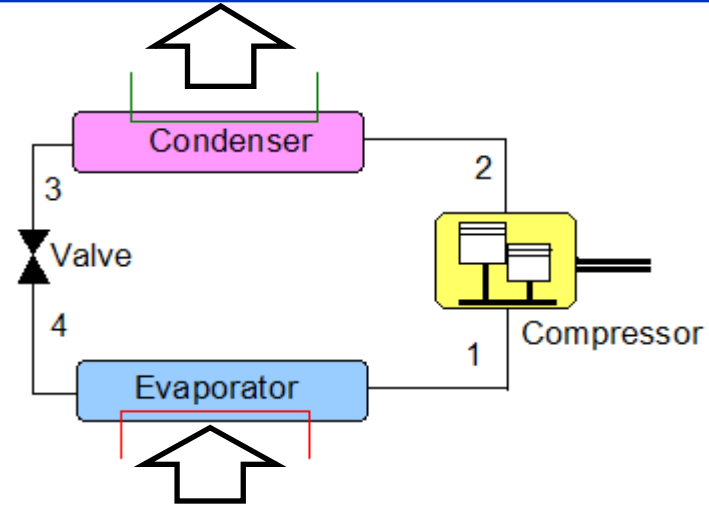
Assetto invernale



Assetto estivo

Pompe di calore a compressione di vapore

Rappresentazione delle trasformazioni su diagrammi termodinamici



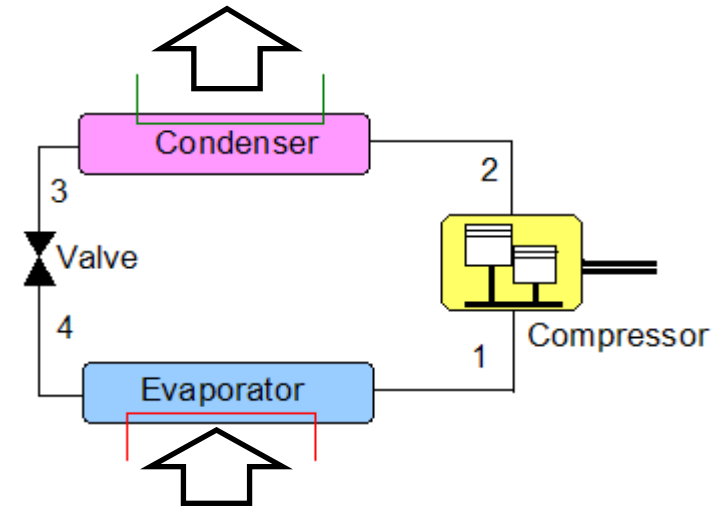
Pompe di calore a compressione di vapore

Efficienza in condizioni invernali

$$COP_{hp} = \frac{\Phi_{cd}}{W_{el}} = \eta_{m,el} \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

Efficienza in condizioni estive

$$COP_f = \frac{\Phi_{ev}}{W_{el}} = \eta_{m,el} \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$



Le pompe di calore possono essere di tipo reversibile, cioè possono funzionare sia in assetto invernale sia in assetto estivo

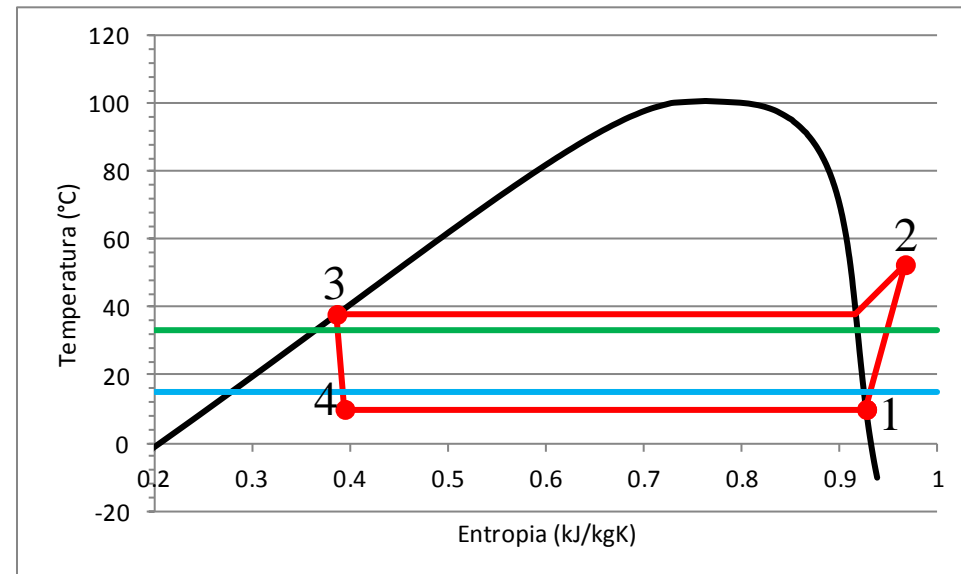
Pompe di calore a compressione di vapore

Osservazioni:

- 1) La rappresentazione sul diagramma T-s consente di evidenziare il ruolo delle temperature dei fluidi con i quali avviene lo scambio termico

La temperatura di evaporazione deve essere inferiore a quella del fluido freddo dal quale la macchina riceve calore

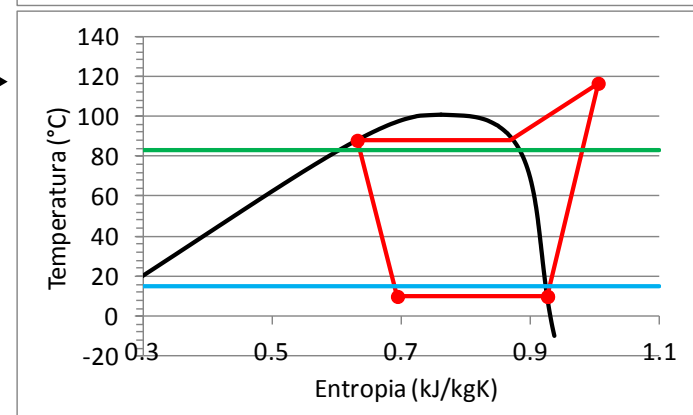
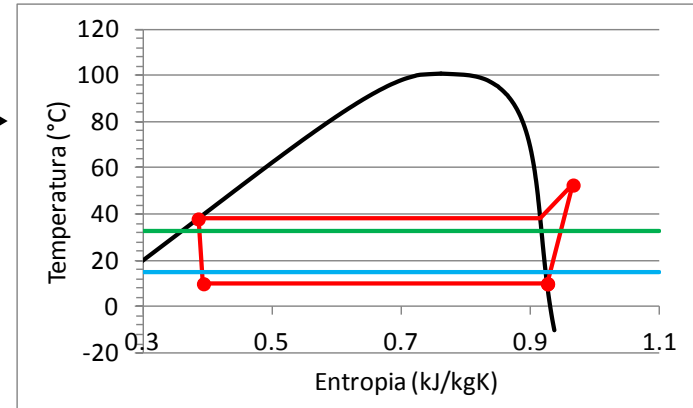
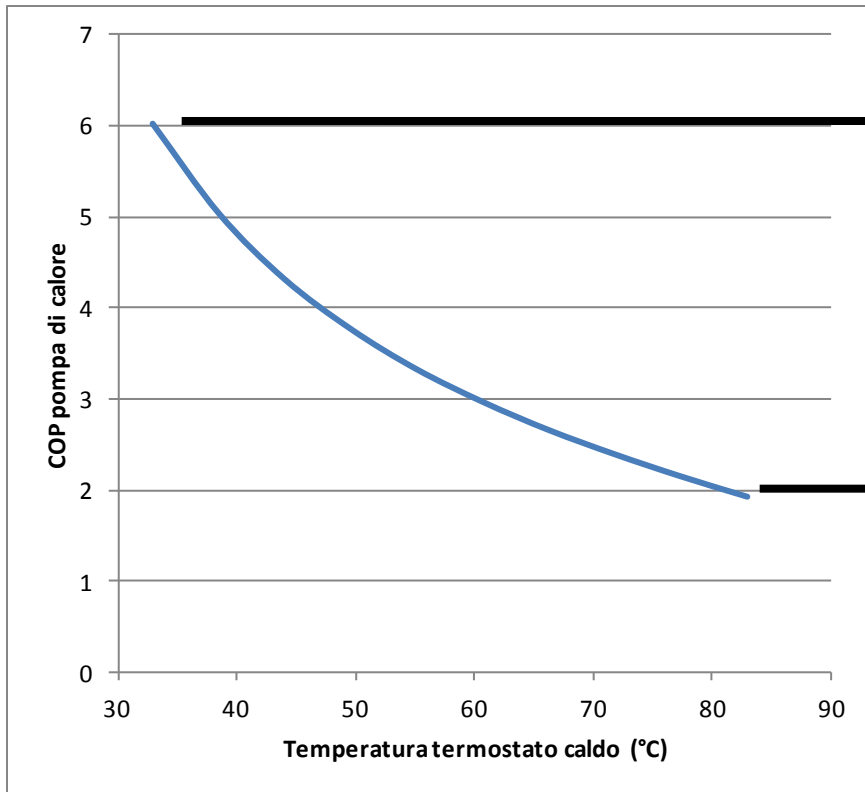
La temperatura di condensazione deve essere superiore a quella del fluido caldo al quale la macchina cede calore



Pompe di calore a compressione di vapore

Osservazioni:

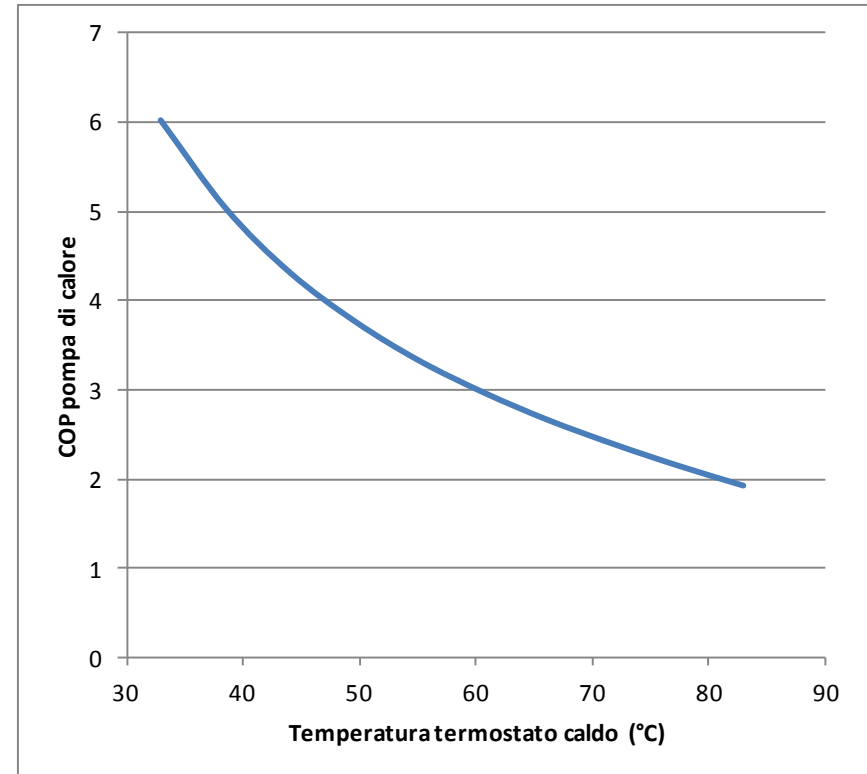
2) Tanto più le temperature dei fluidi esterni sono prossime tra loro e tanto più elevate sono le prestazioni della macchina



Pompe di calore a compressione di vapore

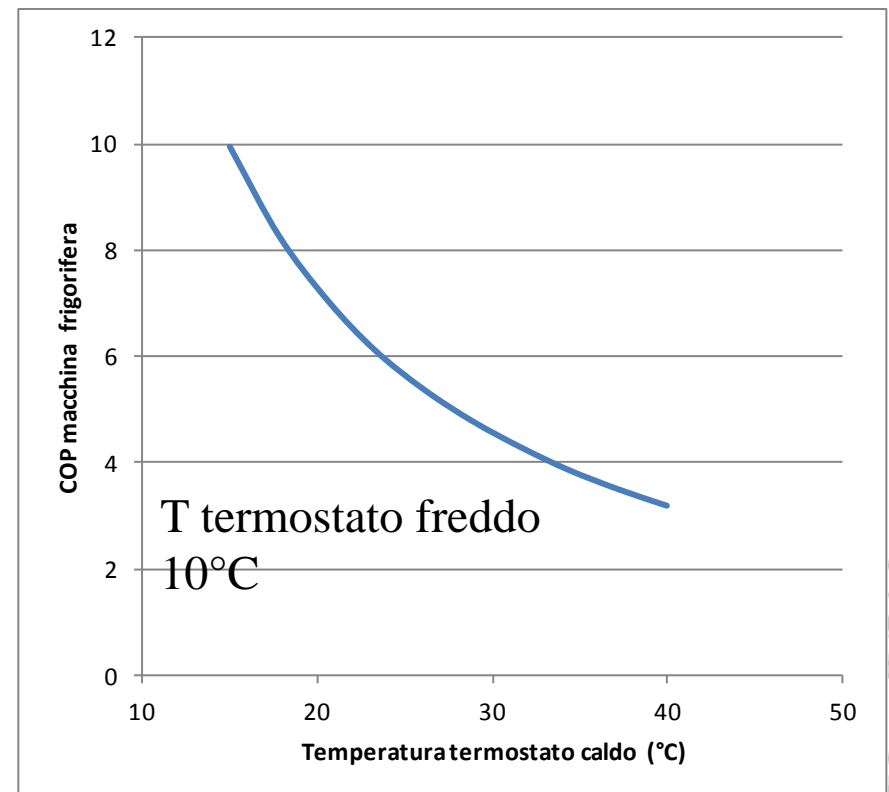
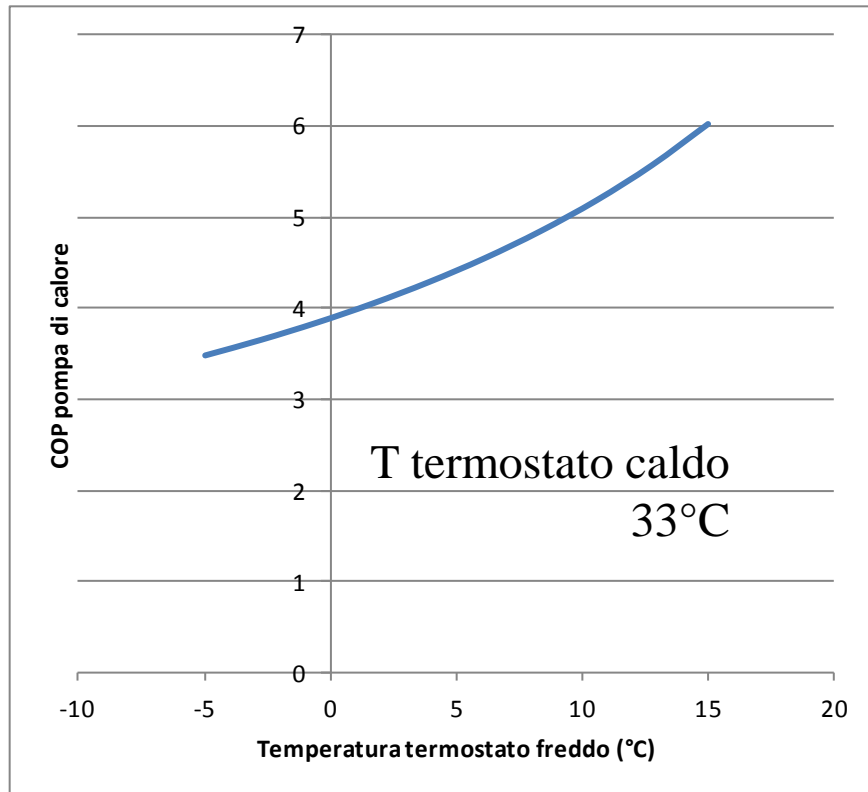
Nel funzionamento invernale è quindi importante che i terminali di riscaldamento funzionino a bassa temperatura. Le soluzioni sono:

- pannelli radianti o fan coils
- radiatori sovradimensionati (es. a seguito di interventi di risparmio energetico in edifici esistenti)



Pompe di calore a compressione di vapore

E' importante che la temperatura della sorgente/pozzo esterno sia più possibile elevata in inverno e bassa in estate



Condizioni di progetto con differenza di temperatura minima di 5 °C tra i fluidi negli scambiatori di calore

Il calore della terra a casa nostra. La Geotermia: cos'è, come funziona, quanto si risparmia

Cuneo – 29 Ottobre 2013

Pompe di calore a compressione di vapore

Le pompe di calore possono essere classificate in base alla tipologia di fluido sul lato primario (quello esterno all'edificio) e sul lato secondario (quello utilizzato nell'impianto di riscaldamento/raffrescamento dell'edificio):

Acqua-Acqua

Acqua-Aria

Aria-Acqua

Aria-Aria

In questa presentazione ci si occuperà principalmente delle differenze sul lato primario; si parlerà quindi di pompe di calore ad aria e ad acqua (pompe di calore geotermiche).

Pompe di calore ad aria

Le pompe di calore ad aria hanno come principale vantaggio la semplicità impiantistica, in quanto lo scambio termico sul lato primario avviene con l'aria esterna.

Per contro, la temperatura del fluido primario presenta una elevata variazione, determinando una significativa variazione dell'efficienza. Inoltre la riduzione di efficienza avviene proprio in corrispondenza delle condizioni più gravose. Nel funzionamento invernale, quando la temperatura esterna è minima si ha da un lato la massima richiesta alla pompa di calore da parte dell'utenza e dall'altro l'efficienza minima della macchina. Un comportamento analogo avviene nel funzionamento estivo.

Pompe di calore ad acqua

Le pompe di calore ad acqua essere a ciclo aperto o ciclo chiuso. Le prime sfruttano in modo diretto acqua in acquiferi superficiali (laghi, corsi d'acqua) oppure nel sottosuolo. Le seconde utilizzano l'acqua come fluido intermedio tra la sorgente/pozzo termico (acquiferi superficiali, terreno o infrastrutture quali metropolitane o reti fognarie).

Presentano, rispetto a quelle ad aria, due vantaggi:

- Migliore coefficiente di scambio termico
- Minore variazione di temperatura stagionale

Per contro l'impianto risulta più costoso in termini di investimento e, a seconda della tipologia, l'iter autorizzativo risulta più complesso, soprattutto nel caso di utilizzo diretto di acquiferi.

Pompe di calore ad acqua

Per quanto riguarda gli impianti a ciclo chiuso, le principali tipologie sono:

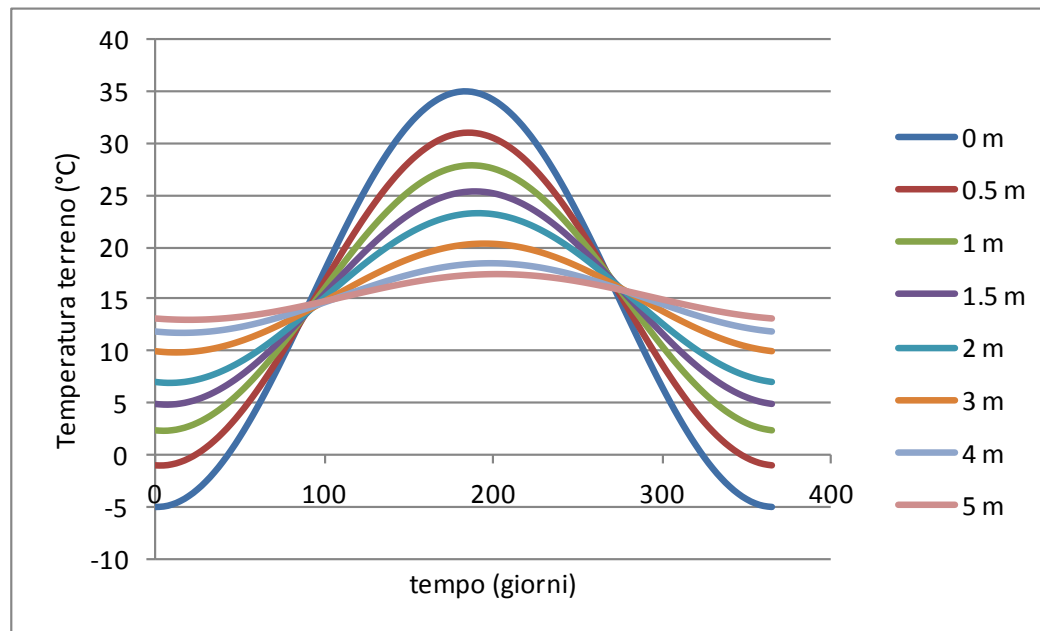
- Sonde geotermiche orizzontali
- Sonde geotermiche verticali
- Sonde geotermiche speciali, quali pali energetici, canestri, spirali, ecc.

L'elemento principale che distingue il loro comportamento riguarda la variabilità temporale della temperatura con la quale avviene lo scambio. Per questa ragione queste note trattano unicamente le prime due tipologie, rimandando ai manuali tecnici gli approfondimenti per il dimensionamento degli impianti che ricadono nella terza tipologia.

Pompe di calore a compressione di vapore – sonde geotermiche

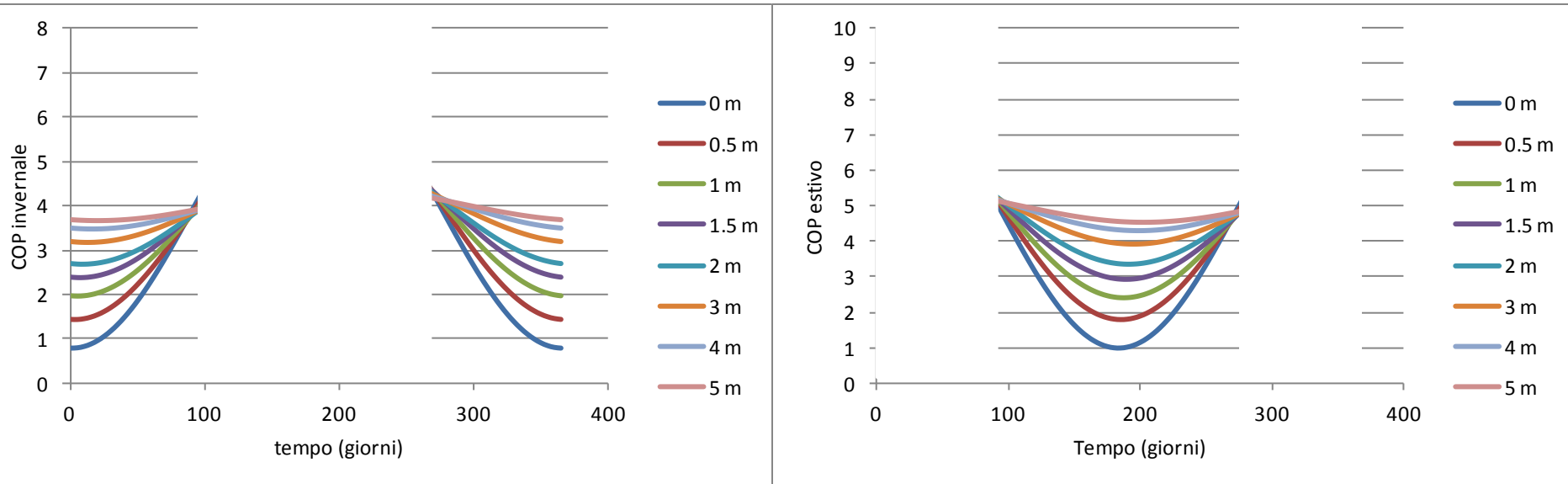
La temperatura del suolo ha una variabilità stagionale che dipende dal sito e dalla profondità.

La variabilità diminuisce con la profondità dell'installazione della sonda.



Pompe di calore a compressione di vapore – sonde geotermiche

Tale variazione influenza le prestazioni della pompa di calore.



Il COP risulta ridotto in modo maggiore tanto più la sonda è installata in prossimità della superficie.

Pompe di calore a compressione di vapore – sonde verticali

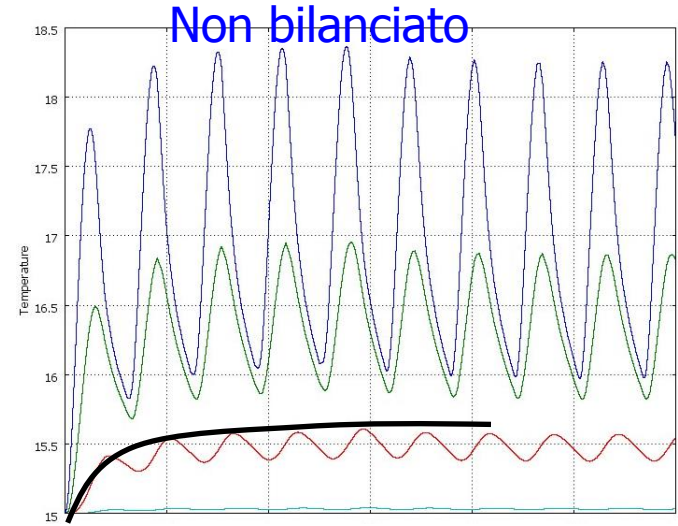
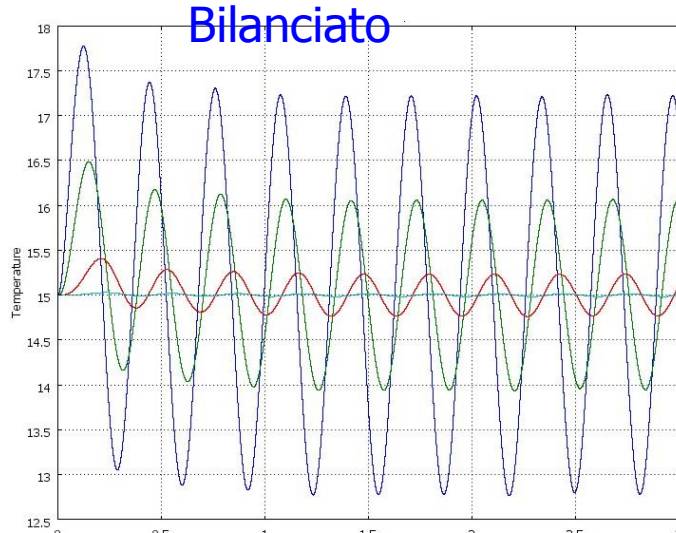
Nel caso di impianti con sonde verticali è fondamentale l'analisi dello scambio termico sonda-terreno. I principali fattori che condizionano lo scambio sono:

- Proprietà termiche del terreno
- Tipologia di carico (bilanciato o non bilanciato)
- Velocità dell'acqua nella falda (eventualmente presente)
- Configurazione del campo sonde (eventuale disturbo tra le sonde)



Pompe di calore a compressione di vapore – sonde verticali

Effetto della tipologia di carico



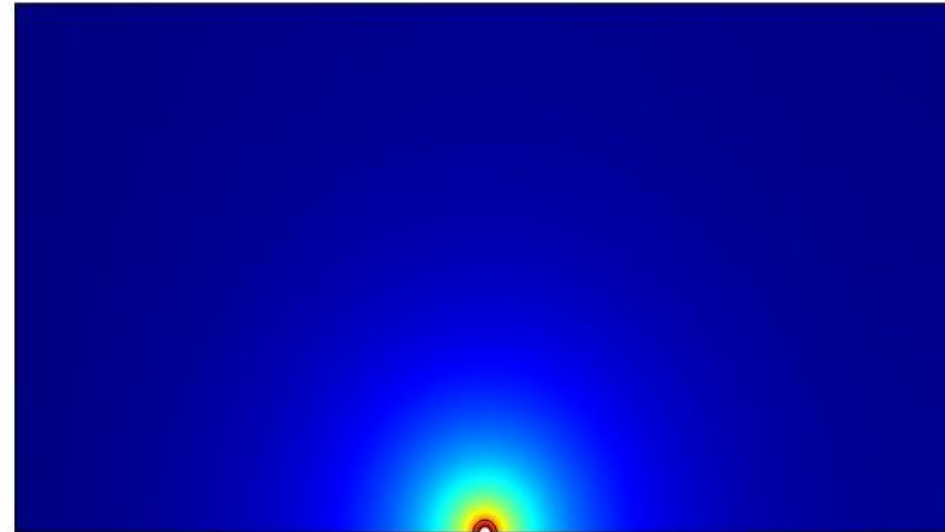
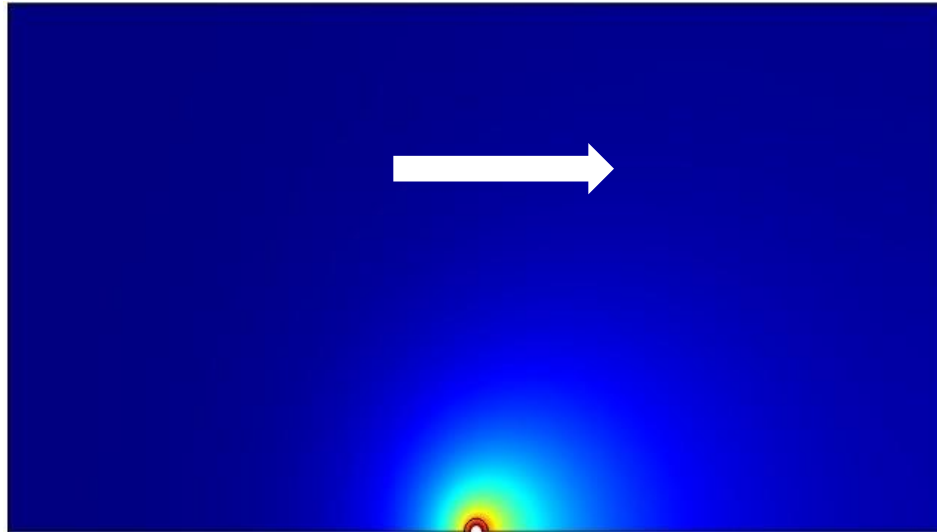
Sono diagrammate le temperature a 1, 2, 4 e 6 m dalla sonda. L'alterazione termica si riduce con la distanza. Nel caso del carico bilanciato il profilo si stabilizza dopo il primo anno attorno al valore medio indisturbato. Per carico non bilanciato la temperatura si stabilizza attorno a un valore differente. Il flusso termico scambiato dalla sonda si riduce nel tempo

Pompe di calore a compressione di vapore – sonde verticali

Effetto della velocità dell'acqua

0.1 m/g

assenza di moto



La velocità della falda aumenta lo scambio termico della sonda ma può avere effetti sull'interazione tra le sonde.

Pompe di calore a compressione di vapore – acqua di falda/sonde

Il confronto tra impianti ad acqua di falda e impianti a sonde verticali evidenzia che:

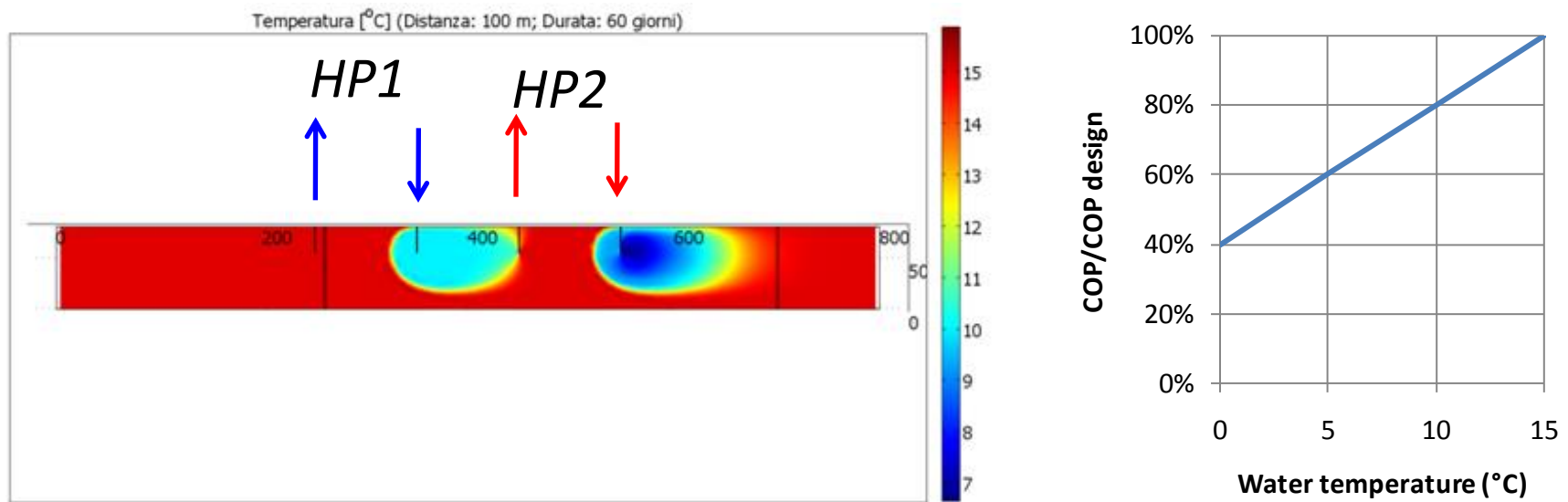
Gli impianti ad acqua di falda sono potenzialmente più efficienti e hanno un costo di investimento inferiore (qualora la profondità della falda sia accettabile). Esempio: applicazione a due capannoni commerciali della stessa catena:

- 1) due 4 pozzi
- 2) oltre 300 sonde da 125 m.

L'iter autorizzativo degli impianti ad acqua di falda (ciclo aperto) è spesso complesso.

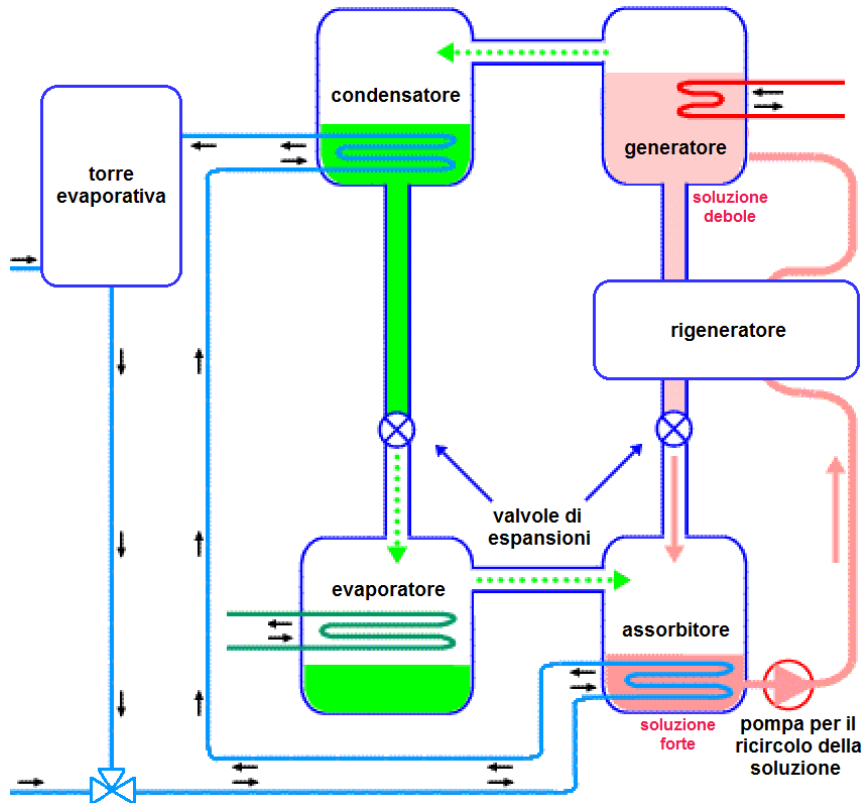
Pompe di calore a compressione di vapore – acqua di falda

Importante la valutazione dell'impatto termico nel suolo nel momento in cui si considerino installazioni diffuse di pompe di calore, in quanto una installazione potrebbe influenzarne altre a valle.



Altre soluzioni tecnologiche

Pompe di calore ad assorbimento



Pompe di calore a compressione a CO2



Altre soluzioni tecnologiche

In luogo di pompe di calore a compressione di vapore possono essere impiegate macchine ad assorbimento a combustione diretta. Queste macchine sono alimentate con combustibile (gas naturale).

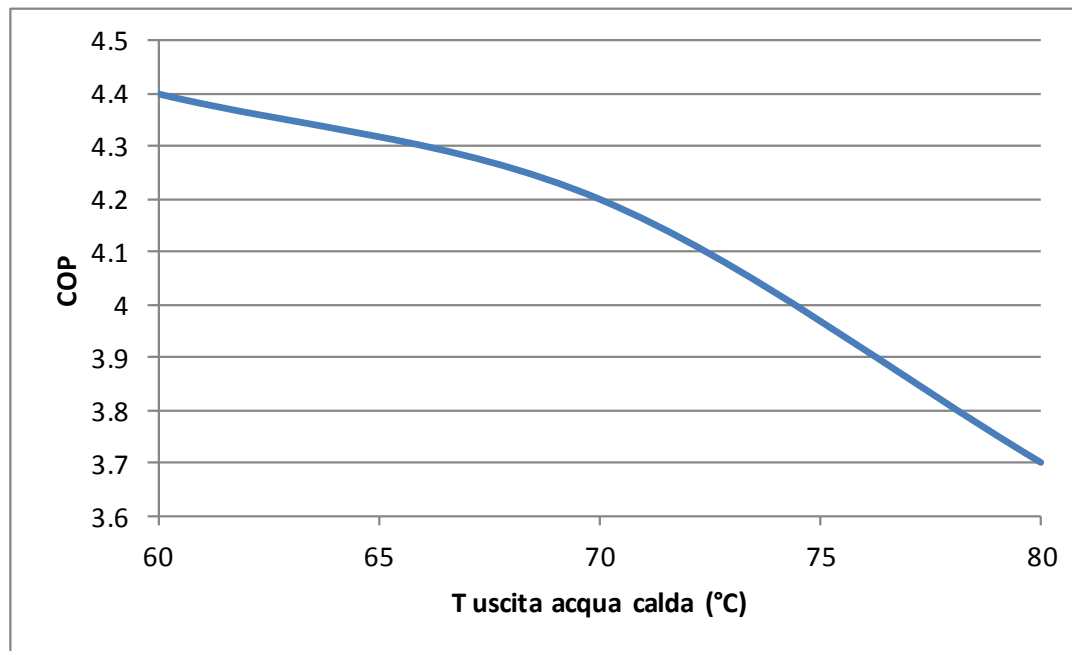
Sono caratterizzate da COP inferiori (1.25).

Si riduce la superficie di scambio con il terreno (circa 70% in meno).



Altre soluzioni tecnologiche

Le pompe di calore a CO₂ hanno il vantaggio di elevate prestazioni anche con elevate temperature di uscita dell'acqua utilizzata per alimentare i terminali di riscaldamento.



Confronto energetico

Il confronto delle prestazioni di questa tecnologia con altre dovrebbe essere effettuato sulla base del fabbisogno di energia primaria necessario per fornire lo stesso prodotto

Teleriscaldamento da c.c.: 0.52 kWh/kWh

Pompa di calore a compressione (4): 0.55 kWh/kWh

Pompa di calore ad assorbimento (1.25): 0.8 kWh/kWh

Caldaia a condensazione: 0.95 kWh/kWh

