



**Risorse geotermiche:  
norme e prospettive di sviluppo**

**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici  
con pompe di calore**

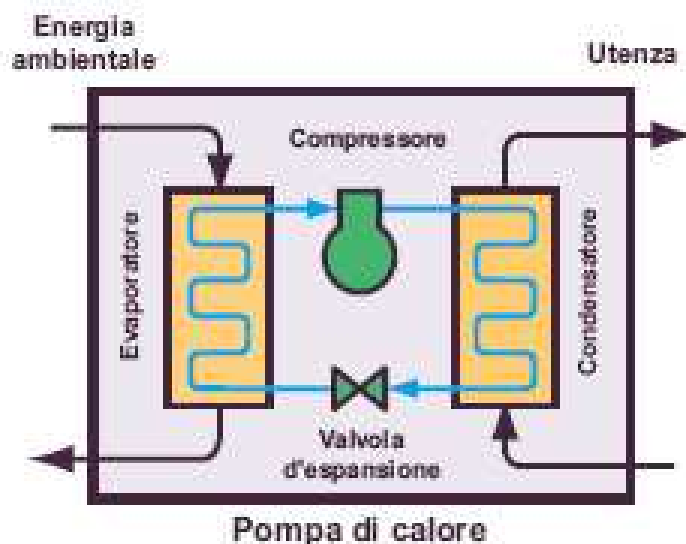
**ing. Mario Dall'Acqua**



## Decreto legislativo 11 febbraio 2010 n. 22, art. 10 “*Piccole utilizzazioni locali*”

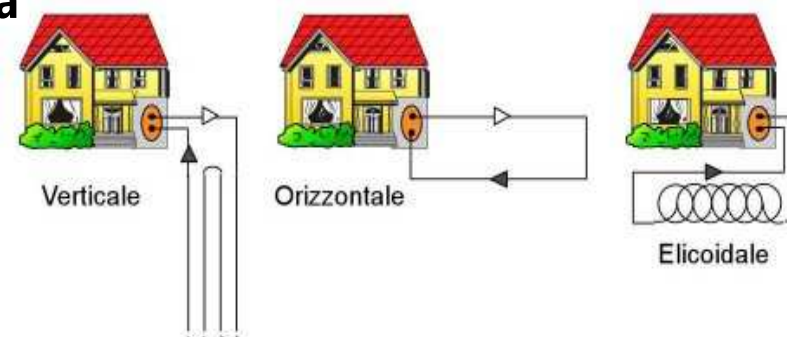
- *Piccole utilizzazioni locali di calore geotermico (Autorità competente: Regione o Enti delegati)*
  - *impianti  $P_t < 2 \text{ MW}_t$  (temperatura convenzionale reflui geotermici  $= 15^\circ\text{C}$ ) con pozzi di profondità non superiore a 400 metri (regolamentazione ai sensi del R.D. 1775/1933)*
$$P_t = Q * 1000 * (T - 15^\circ\text{C}) / 860, (\text{kW})$$
$$Q = \text{portata (mc/h),}$$
$$T = \text{temperatura di estrazione del fluido geotermico}$$
  - *sono altresì piccole utilizzazioni locali di calore geotermico quelle effettuate tramite l'installazione di sonde geotermiche che scambiano calore con il sottosuolo senza effettuare il prelievo e la reimmissione nel sottosuolo di acque calde o fluidi geotermici (specifica disciplina con previsione di procedura semplificate)*

**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



## Scambio geotermico con PdC in edilizia

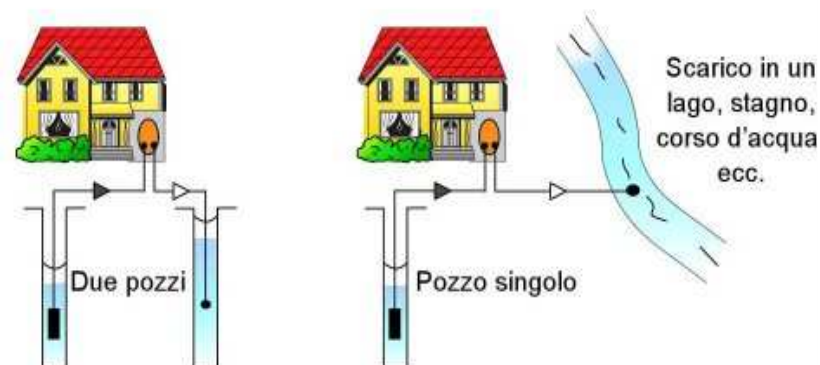
Pompe di calore collegate al terreno  
(sistemi a circuito chiuso)



Pompe di calore collegate ad acque superficiali



Pompe di calore collegate ad acque sub-superficiali  
(sistemi a circuito aperto)

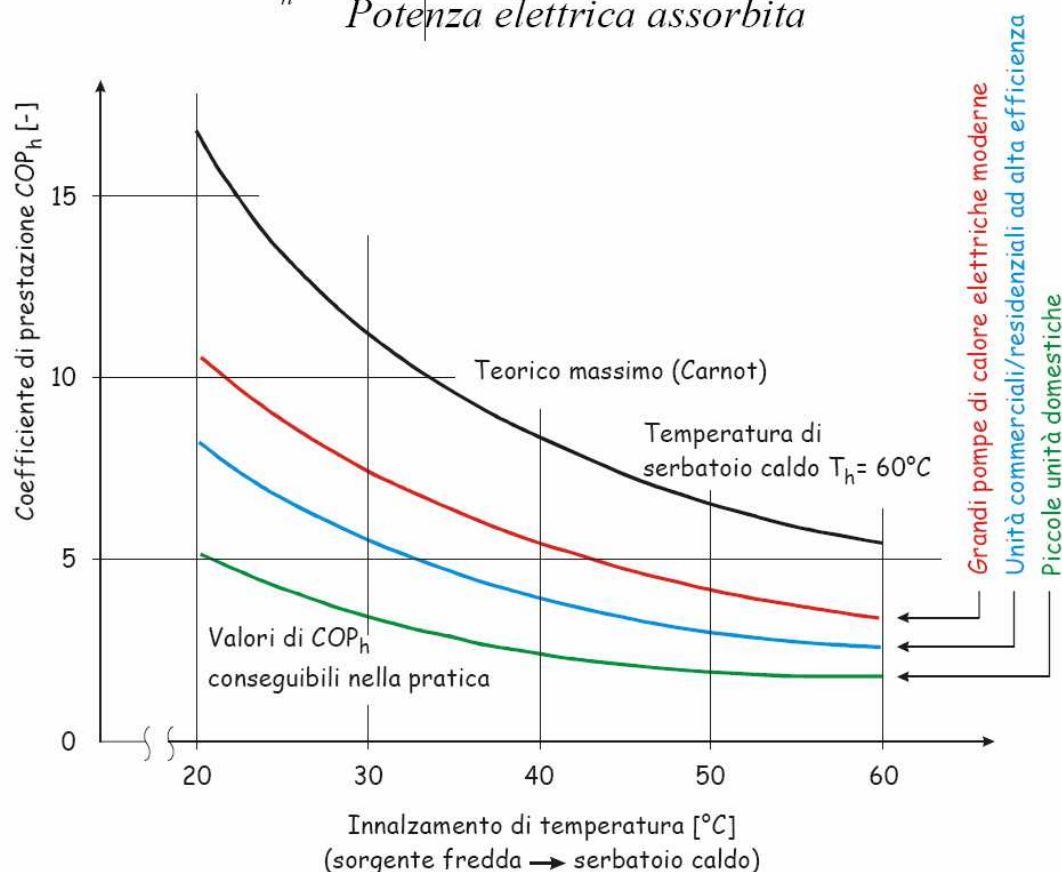


**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



## Pompa di calore – coefficiente di prestazione in funzione della $\Delta T$

$$COP_h = \frac{\text{Potenza termica prodotta}}{\text{Potenza elettrica assorbita}}$$



Modalità riscaldamento:

$T_f$  = temperatura della sorgente fredda,  
 $T_c$  = temperatura della sorgente calda  
(pozzo caldo)

$$COP_{CA} = T_c / (T_c - T_f)$$

Modalità raffrescamento:

Energy Efficiency Ratio = EER =  
= Potenza frigorifera prodotta / potenza  
elettrica assorbita

$$EER_{CA} = T_f / (T_f - T_c)$$

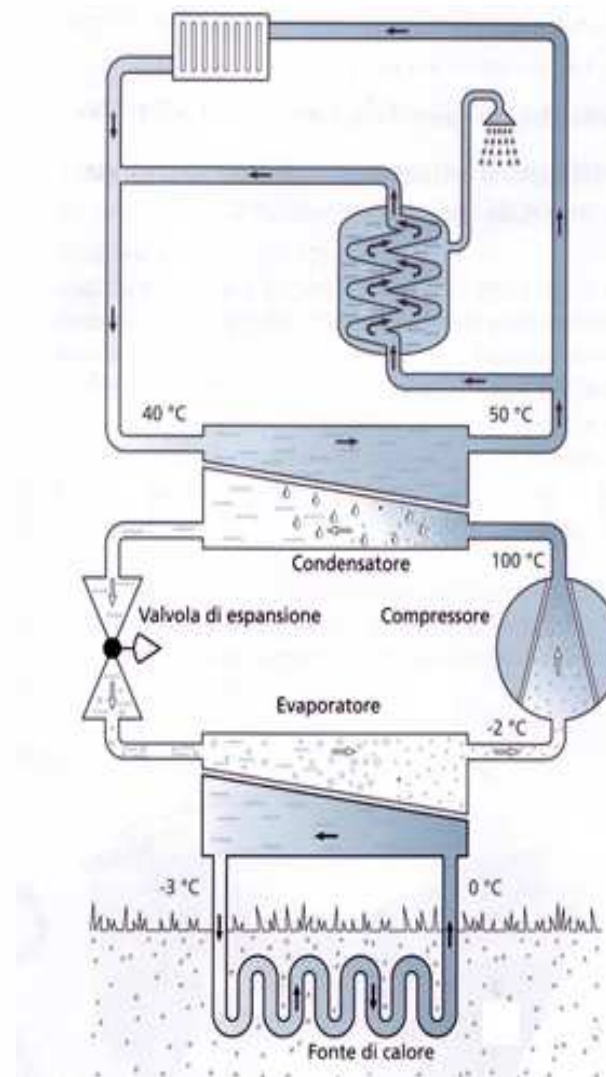
fonte, prof. Cavallini

**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



## Requisiti minimi delle pompe di calore (PdC)

- Direttive europee:
  - $COP_{min} = 4$  (PdC a sonda geotermica, sonda a  $0^{\circ}C$  e fornitura d'acqua a  $35^{\circ}C$ )
  - $COP_{min} = 4,5$  (PdC acqua-acqua, acqua di prelievo a  $10^{\circ}C$  e fornitura d'acqua a  $35^{\circ}C$ )
- Le prestazioni della PdC (stagionali medie) dovrebbero essere superiori del 15% rispetto all'efficienza complessiva del sistema tradizionale generazione/distribuzione dell'energia (per garantire un contributo alla crescita delle energie rinnovabili)
- In Italia, una caldaia a condensazione ( $\eta_t = 1$ ) ed una PdC elettrica si equivalgono in termini di emissione di  $CO_2$  quando  $COP \approx 2,64$



**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**





## **Utilizzazioni geotermiche a bassa temperatura nel condizionamento in edilizia -1**

Il dimensionamento di un impianto geotermico richiede integrazione/ottimizzazione di più elementi:

- *conoscenza del sottosuolo e dello scambiatore di calore;*
- *pompa di calore;*
- *sistema di riscaldamento.*

Il dimensionamento richiede l'analisi/conoscenza dei seguenti aspetti:

- Fabbisogno energetico della costruzione;
- È previsto solo il riscaldamento o anche la produzione d'acqua calda?
- Che sistema geotermico è quello più adatto considerando le caratteristiche del sottosuolo e le possibilità date dalla legge?
- Che pompa di calore è da utilizzare? Quale fluido termovettore utilizzare?....

**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



## Utilizzazioni geotermiche a bassa temperatura nel condizionamento in edilizia – 2

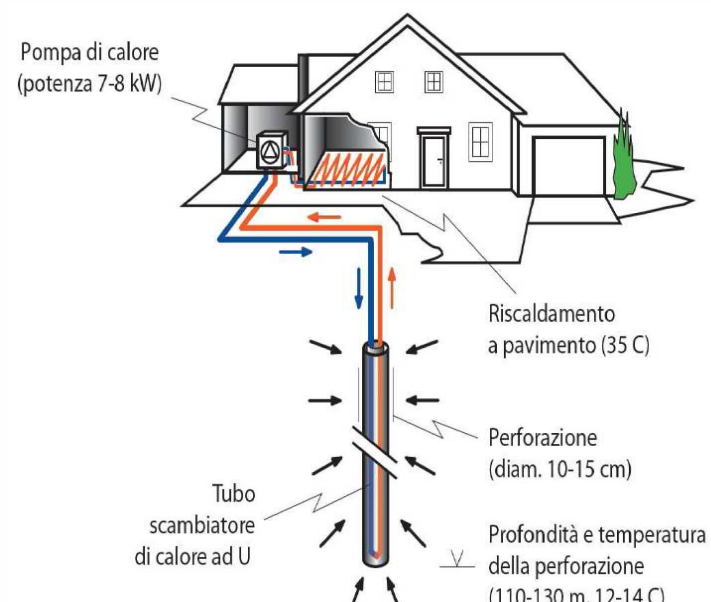
- Impianto  $P=10 \text{ kW}_t$ 
  - Scambio termico circuito aperto: pompa di calore da  $5,5 \text{ kW}_e$ , portata = 1500-2000 litri/ora
  - Scambio termico circuito chiuso
    - SGV: una sonda a profondità di 100-200m, molto variabile dalle caratteristiche del terreno
    - SGO: circa 250 - 350 mq di superficie di terreno, variabile in base alle caratteristiche del terreno e all'interdistanza tra i tubi interrati
- Studio Regione Lombardia: analisi costi-benefici
  - $\text{COP}=4,3$  e  $\text{EER}=4$
  - Pompa di calore da 6kW, 6000€, da 90kW, 45000€;
  - Perforazione e installazione della sonda geotermica in polietilene, 65€/ml;
  - Costo di sostituzione del sistema di distribuzione del calore (35€/mq. per edifici ad uso pubblico, 55€/mq. per edifici residenziali)

**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



## Impianti a circuito chiuso: sonde geotermiche

- profondità elevate di terebrazione, n. elevato di perforazioni
- rischio di interconnessione degli acquiferi
- mancanza di sistemi e procedure univocamente standardizzate/normate di realizzazione e collaudo
- possibili perdite dal circuito del liquido refrigerante/termovettore
- costi consistenti di realizzazione e lungo periodo di ammortamento
- minore efficienza termica rispetto al circuito aperto
- nessun consumo della risorsa (non c'è prelievo)
- costi di gestione ordinari (nessun costo particolare)
- aspetti tecnologici della sonda:
  - diametro perforazione, configurazione geometrica, materiale sonda, materiale riempitivo, fluido termovettore, regime di deflusso
- resa termica del sottosuolo...







## Sonde g.v., rese termiche medie del sottosuolo

Tipo di sottosuolo	Quota specifica di estrazione	
	W/m su 1800 h	W/m su 2400 h
<b>Valori generali*</b>		
Sottosuolo povero e sedimenti secchi ( $\lambda < 1.5 \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$ )	25	20
Sottosuolo roccioso e sedimenti saturi d'acqua ( $1.5 < \lambda < 3 \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$ )	60	50
Roccia consolidata con elevata conducibilità termica ( $\lambda > 3 \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$ )	84	70
<b>Tipi di rocce</b>		
Ghiaia e sabbia secche	< 25	< 20
Ghiaia e sabbia sature d'acqua	65 – 80	55 – 65
Ghiaia e sabbia con un notevole flusso di acqua di falda	80 – 100	80 – 100
Argilla	35 – 50	30 – 40
Calcere	55 – 70	45 – 60
Arenaria	65 – 80	55 – 65
Rocce magmatiche silicee (es: granito)	65 – 85	55 – 70
Rocce magmatiche basiche (es: basalto)	40 – 65	35 – 55
Gneiss	70 – 85	60 – 70
* Questi valori possono variare significativamente a seconda della struttura della roccia (fessure, filiazione, alterazione ecc.)		

**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



## **Impianti a circuito aperto: derivazione dall'acqua di prima falda e reimmissione**

- limitate profondità di indagine, limitato n. perforazioni e quindi basso rischio di interconnessione degli acquiferi sovrapposti
- nessun consumo della risorsa idrica se reimmissione in falda, tuttavia: qualità dello scarico!
- adeguata esperienza nella tecnologia di perforazione dei pozzi (costi sostenibili)
- oneri di gestione (e.g. energia elettrica sollevamenti, manutenzione e pulizia dell'impianto)
- necessaria l'autorizzazione alla derivazione e allo scarico
- necessaria l'acquisizione di dati ambientali (monitoraggio), controlli periodici dei parametri chimici e fisici della falda

**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



## **Progetto pilota su edificio privato con utilizzo di energia geotermica e di energia solare (Lugano)**

L'obiettivo del progetto pilota è stato:

- misurare le prestazioni energetiche reali delle sonde e della PdC;
- analizzare l'effetto della ricarica parziale del sottosuolo tramite le sonde geotermiche.

Superficie da riscaldare = 200mq. (abitazione, in parte ufficio).

PdC:  $P_t = 14 \text{ kWt}$  (alle condizioni  $T = 0^\circ\text{C}$  acqua in uscita dalle sonde in ingresso all'evaporatore,  $T = 35^\circ\text{C}$  acqua all'impianto di riscaldamento in uscita dal condensatore);

3 sonde geotermiche  $L = 80 \text{ m}$ ;

pannelli solari termici  $S = 7,8 \text{ mq}$  per la produzione acqua calda sanitaria/riscaldamento.

L'energia superflua durante la stagione estiva prodotta dai pannelli solari è scaricata nel terreno tramite le sonde geotermiche.

*fonte Office fédéral de l'énergie, OFEN*

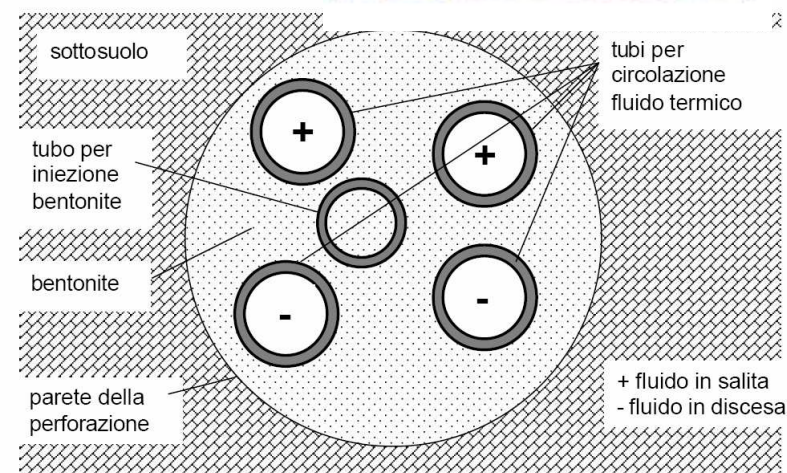
**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



## Valori annuali caratteristici dell'impianto

Sonde geotermiche:

- diametro di perforazione 11,3cm., distanza sonde 8m., sonde composte da due tubi ad U (diametro interno 26mm, diametro esterno 32mm);
- potenza d'estrazione media per metro sonda: 52W/m;
- energia annuale estratta per metro sonda: 99kWh/m;
- energia solare annuale iniettata per metro sonda 18 kWh/m;
- energia ann. iniettata per mq. di pannelli solari 550 kWh/mq.;
- rapporto annuale tra energia termica iniettata/estratta 18%



**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



## Valori annuali caratteristici dell'impianto -2

Pompa di calore:

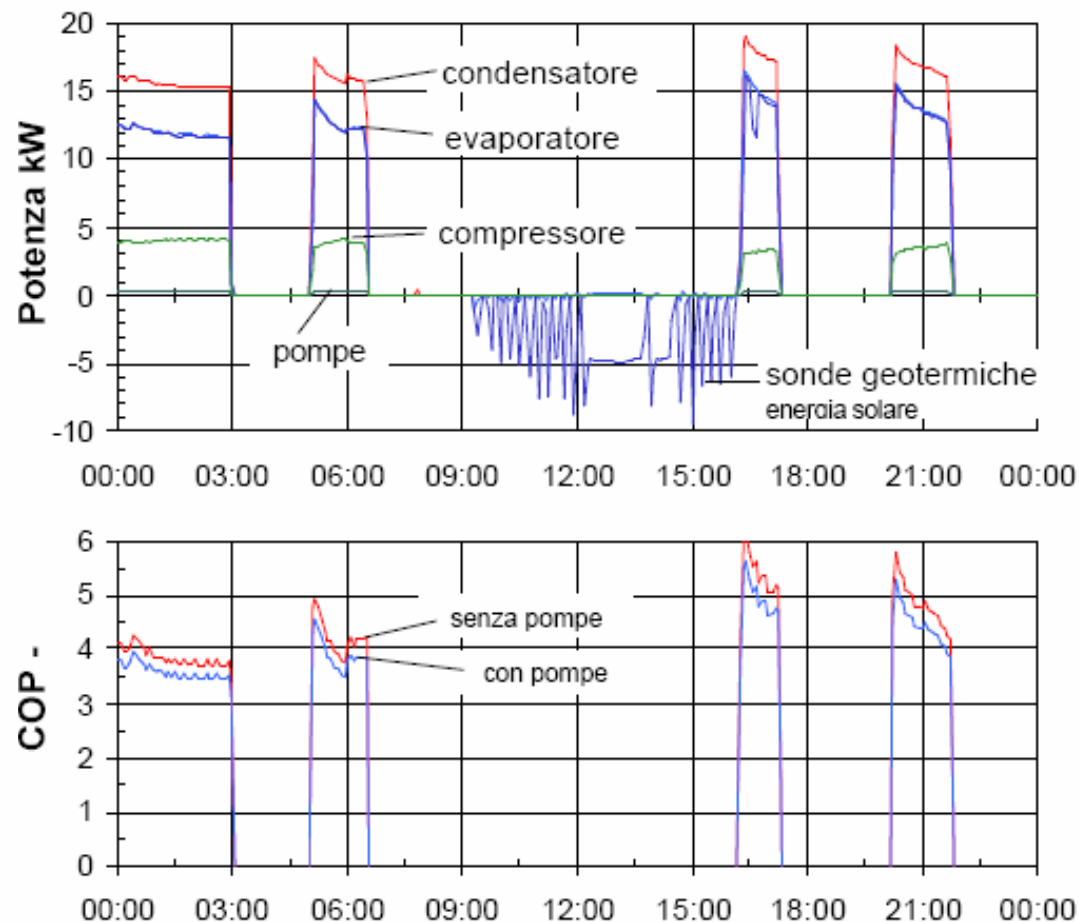
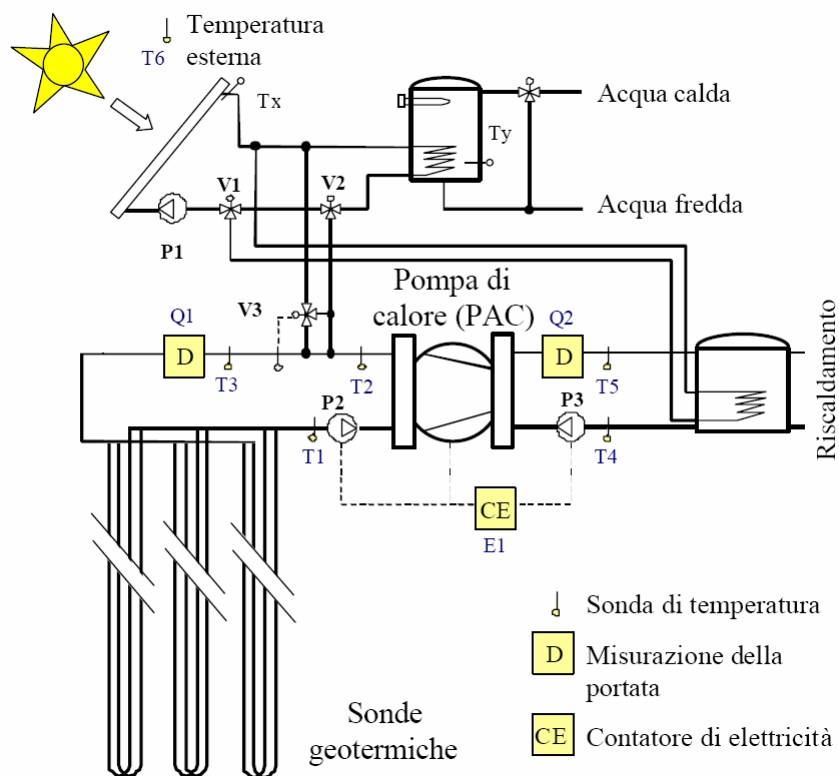
- potenza di riscaldamento (condensatore) 14-20 kW (media 16kW)
- potenza d'estrazione (evaporatore) 10-17 kW (media 12,5kW)
- potenza elettrica (compressore) 3,1-4,9 kW (media 3,9kW)
- energia termica annuale prodotta dalla pompa di calore 30.700kWh
- coefficiente di prestazione medio senza pompe di circolazione  $COP_{pdc}=4,1$
- coefficiente di prestazione medio con pompe di circolazione  $COP_{impianto}=3,8$
- livello di temperatura medio all'uscita del condensatore 44°C
- livello di temperatura medio all'entrata dell'evaporatore 8°C

Il COP medio è circa 4, quindi 1kWh elettrico permette di produrre 4kWh di calore termico per il riscaldamento. La sensibilità del COP alla temperatura di riscaldamento è elevata, ne segue l'importanza di riscaldare con una temperatura più bassa possibile.

**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



**Progetto pilota: andamento dell'impianto in riscaldamento, marzo 2002**

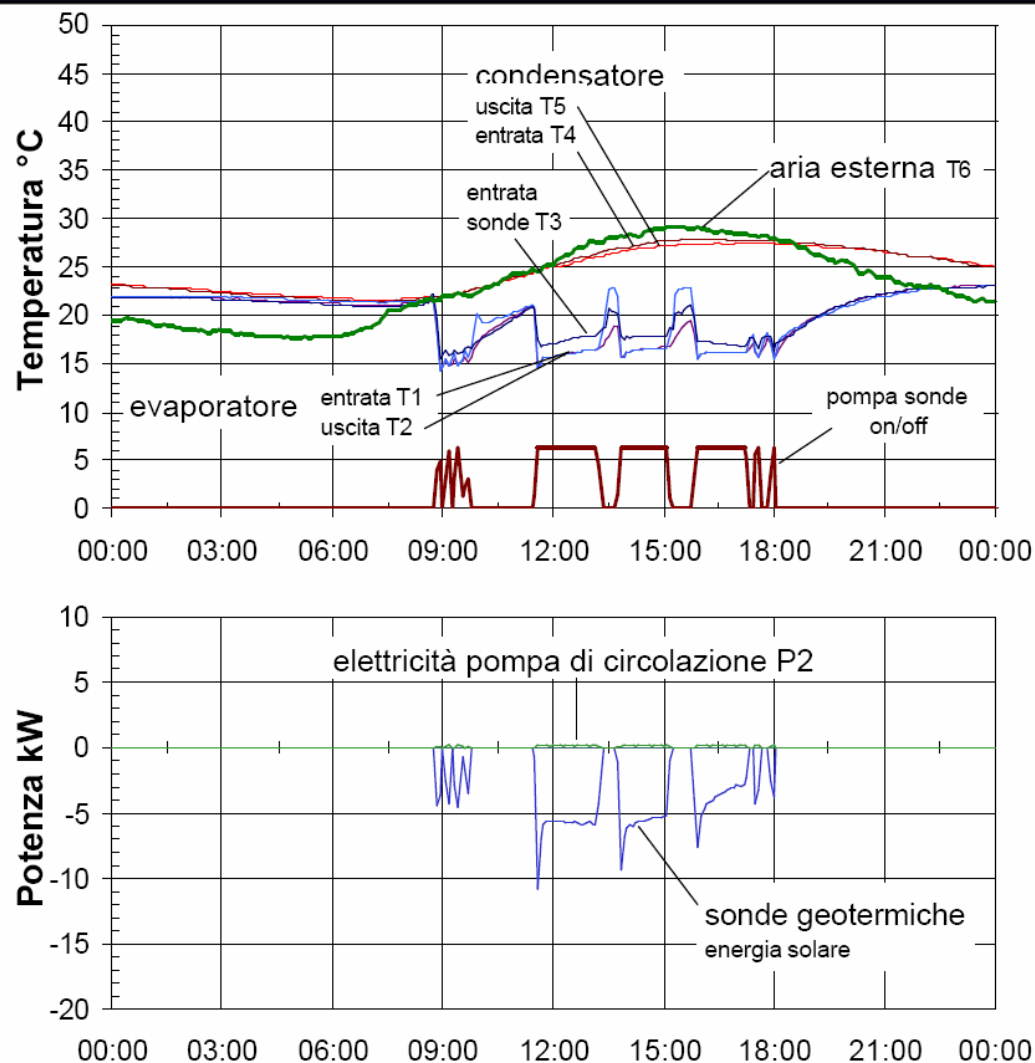
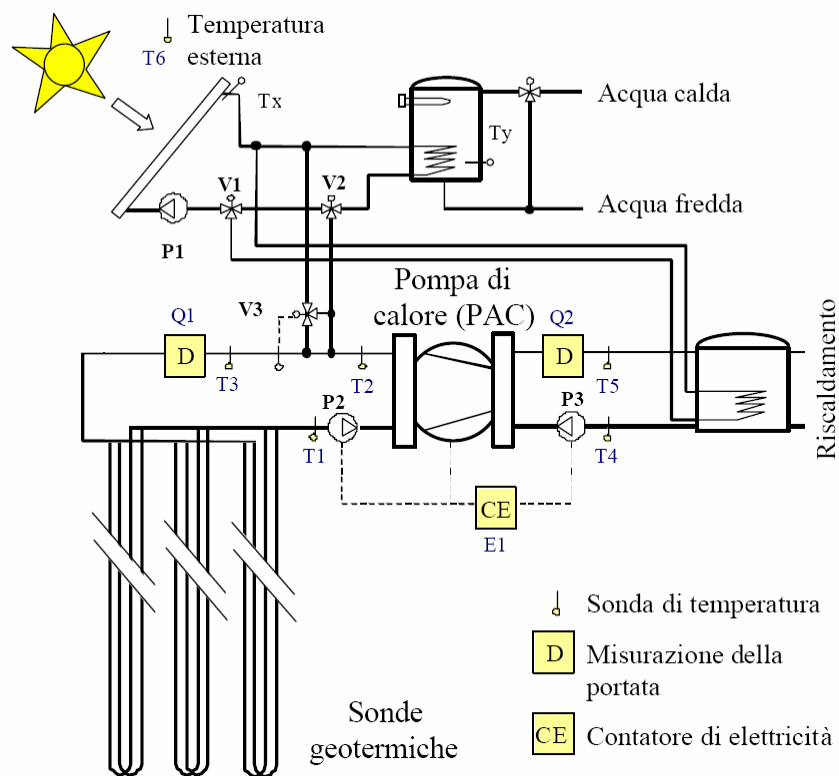


**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**





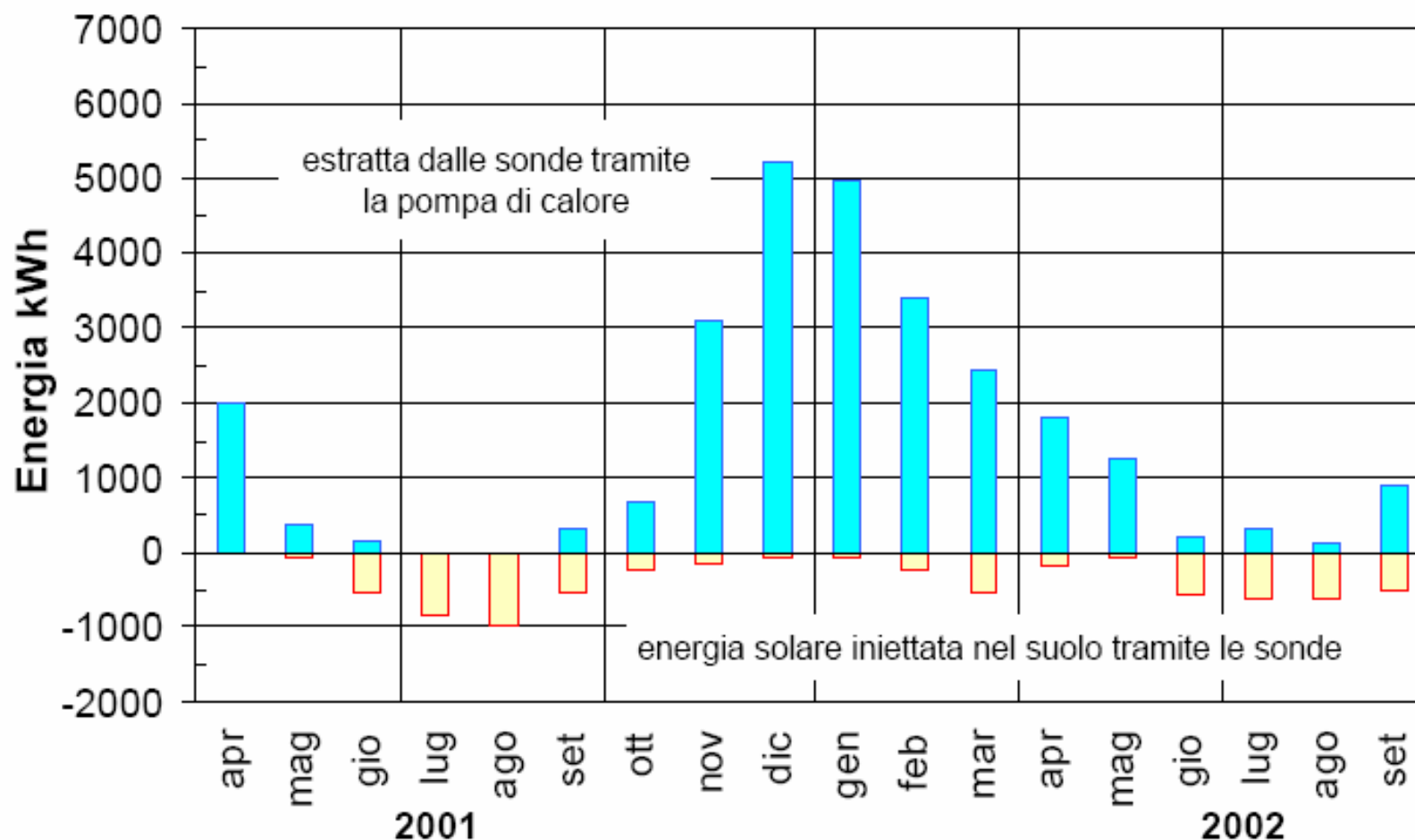
## Progetto pilota: andamento dell'impianto in raffrescamento, luglio 2002



Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore



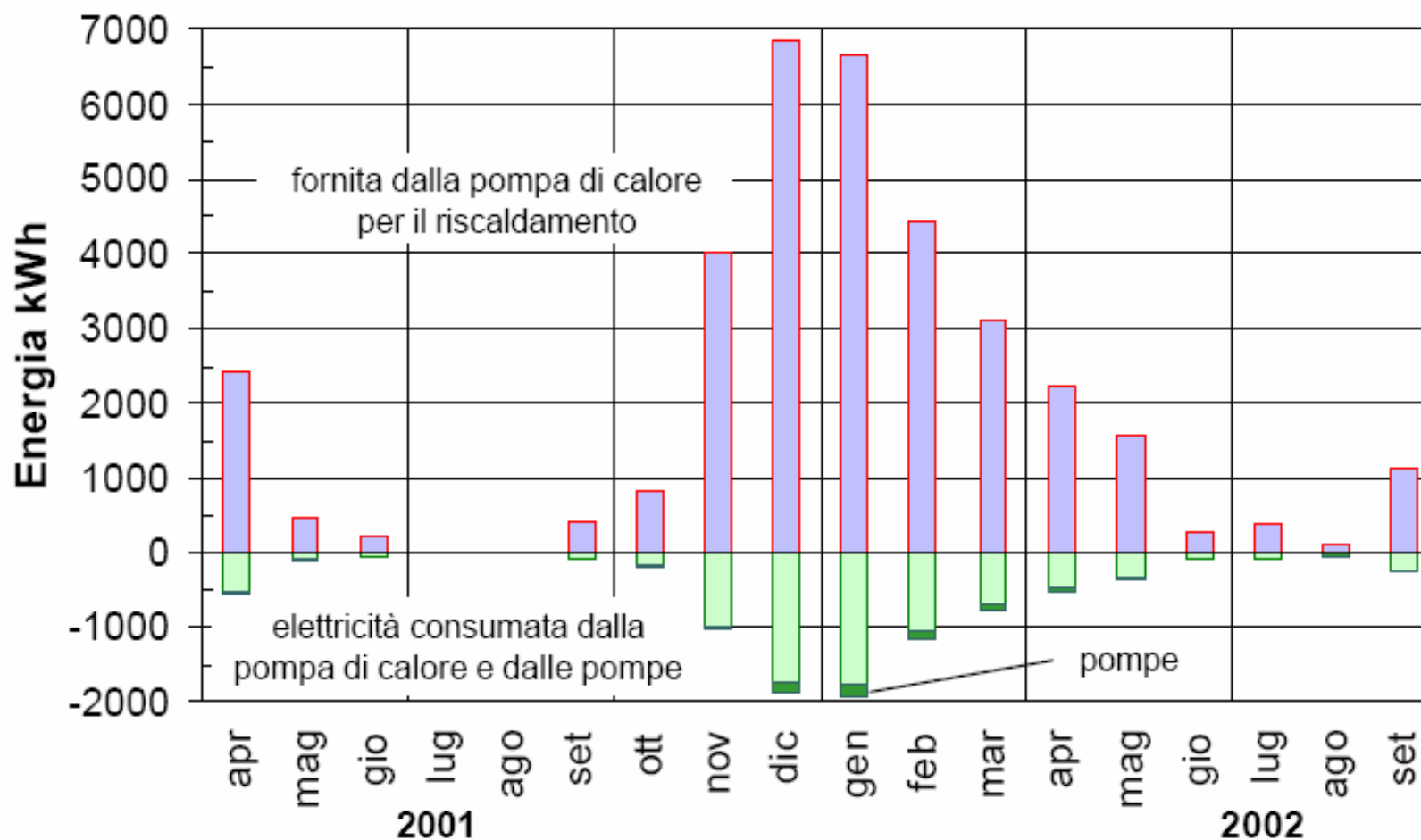
## Energia estratta dalle sonde ed energia solare iniettata nel sottosuolo



**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



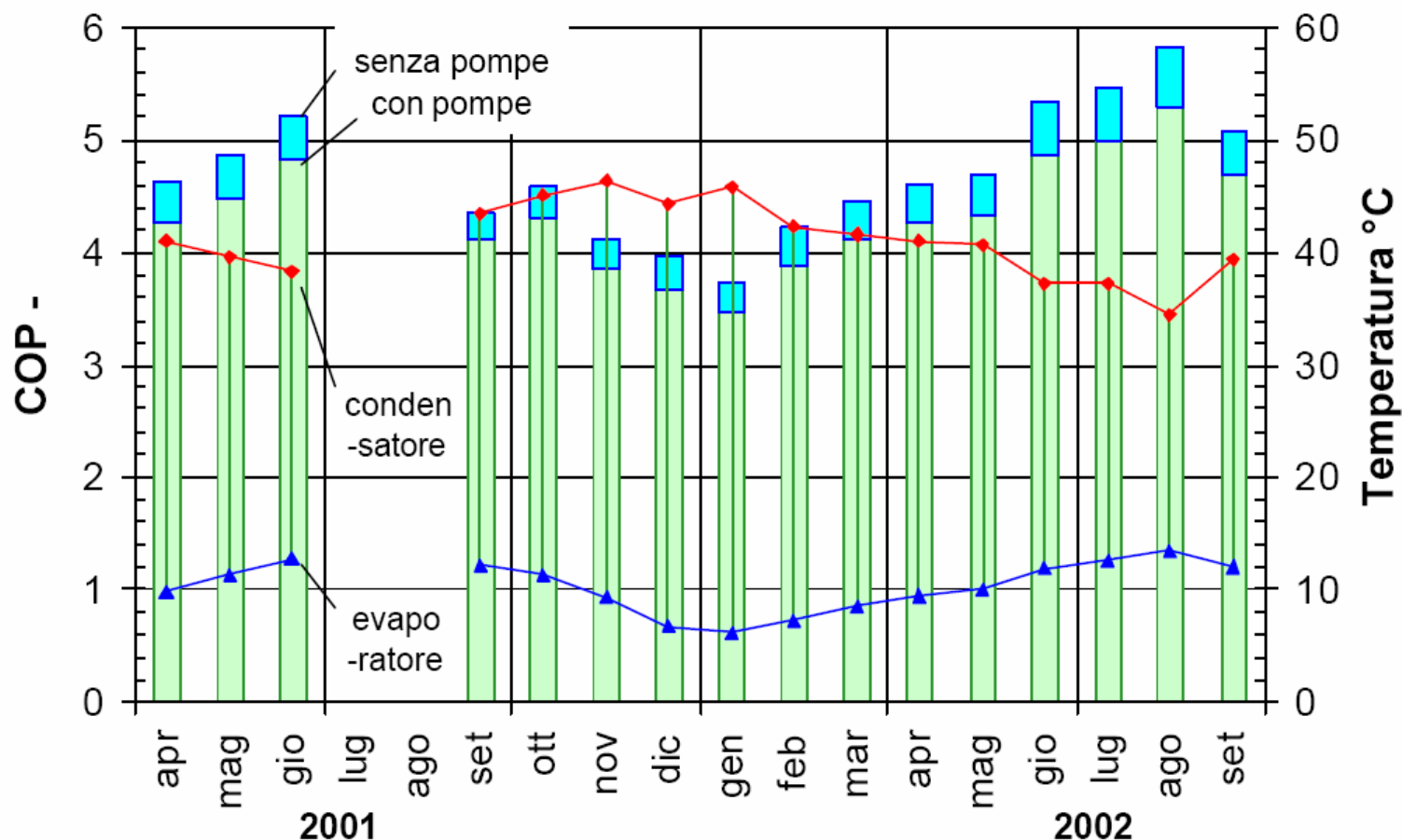
### Energia fornita dalla PdC ed en. elettrica consumata dall'impianto



**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



## Andamento del COP e delle temperature entrata evaporatore e uscita condensatore



**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



## **Confronto tra impianti di scambio termico a circuito aperto/circuito chiuso -1**

Riqualificazione di un complesso edilizio storico, verifica di prefattibilità di un impianto termico a circuito aperto (CA, pompa di calore con sistema acqua-acqua) e di un impianto a circuito chiuso (CC, sonde geotermiche verticali)

### **Fasi dello studio:**

- prefattibilità normativa;
- analisi idrogeologica del sottosuolo (idrostrutture interessabili dai sistemi di CA e di CC, sistema multifalda in pressione);
- confronto tecnico-economico delle alternative;
- ricostruzione campo di flusso, prove di pompaggio, misure piezometriche, analisi chimiche delle acque di falda (stratigrafia locale, parametri idrogeologici quali permeabilità o trasmissività, coeff. di immagazzinamento, modello numerico)

*Fonte Sinergeo*

**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



## Confronto tra impianti di scambio termico a circuito aperto/circuito chiuso -2

- Per l'insediamento risultano necessari:  
CA) n. 1 pozzo di presa da 500 mm ( $Q_{med} = 5 - 7 \text{ l/s}$ ,  $Q_{picco} = 20 \text{ l/s}$ ) + n. 2 pozzi di restituzione da 300 mm (prof. 40 m. circa.);  
CC) n. 120 perforazioni da 150/200 mm, spinte fino a 100 m da p.c. (1 sonda ogni 50 mq per complessivi 6000 mq).
- La soluzione a C.C. presenta costi molti superiori (400.000 – 450.000 €)
- Necessario verificare e monitorare la compatibilità idrogeologica e termometrica degli emungimenti e reiniezioni (160 - 170.000 mc /anno per l'impianto a regime)
- $K=8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ ; trasmissività  $T=1,8-2,2 \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $T=14^\circ\text{C}$

Periodo estivo:

150gg, portata emunta e reiniettata 7,5l/s;  
temperatura di reiniezione media 20°C, di picco 22°C

Periodo invernale:

150gg, portata emunta e reiniettata 5,6l/s;  
temperatura di reiniezione media 8°C, di picco 6°C

**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**





REGIONE AUTONOMA  
FRIULI VENEZIA GIULIA

Direzione centrale ambiente e lavori pubblici  
Servizio geologico

**grazie dell'attenzione**

**Ing. Mario Dall'Acqua**

**Udine 10 settembre 2010**



**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**



Seguono 3 diapositive ad eventuale integrazione della discussione a seguito della presentazione

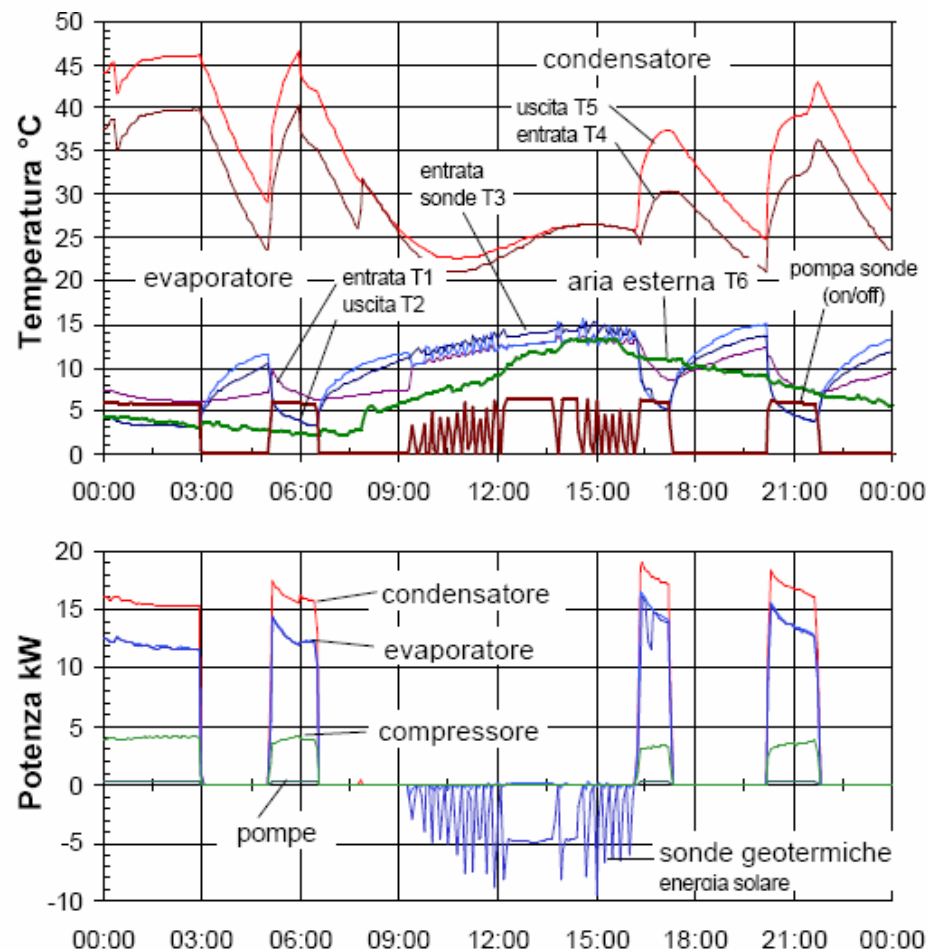
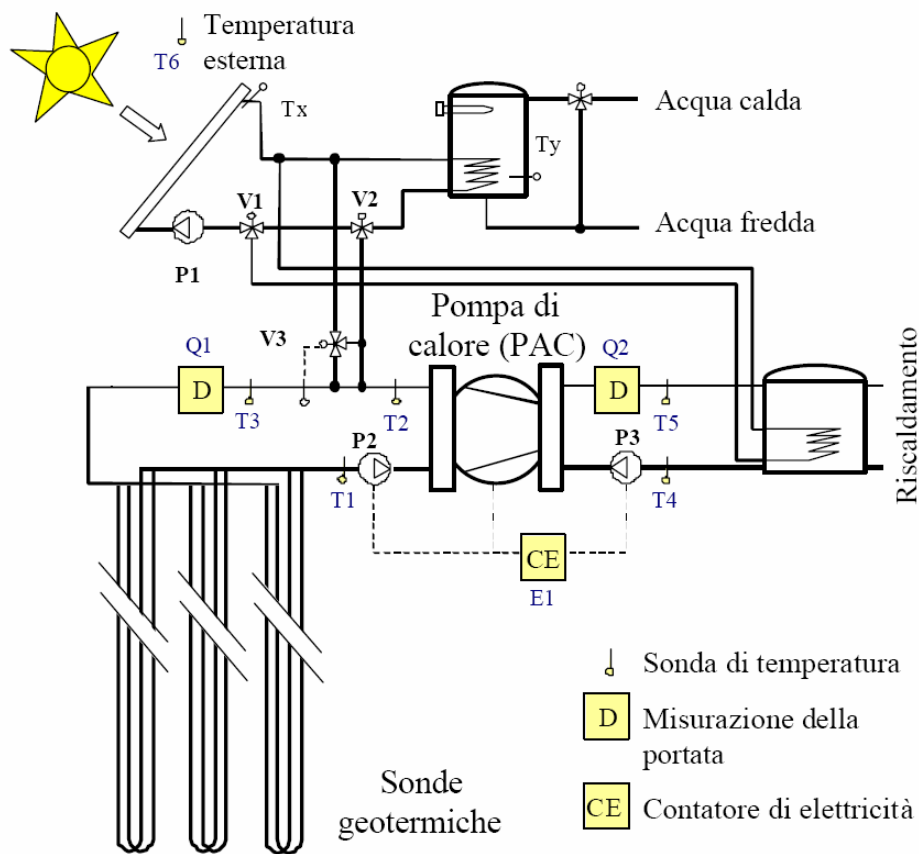


## **Crescita esponenziale dell'utilizzo di PdC in Svizzera (impianti a circuito chiuso)**

- sensibilità all'ambiente
- informazione
- integrazione ottimale negli edifici a basso consumo energetico
  - Isolamento edifici, certificazione energetica...
- maturazione tecnologica- standardizzazione
- qualità – affidabilità – certificazione
- riduzione costo energia elettrica che alimenta le PdC
  - l'erogazione di incentivi consente di monitorare la realizzazione delle utilizzazioni geotermiche e di quantificarne gli effetti
- costi medi:
  - 40-60Euro/ml, (sonda unica)
  - 110Euro/ml (incluso costo della PdC)

Risultato: 80% di case nuove nel 2006 con pompe di calore ( $P_e < 20\text{kW}$ )

**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**

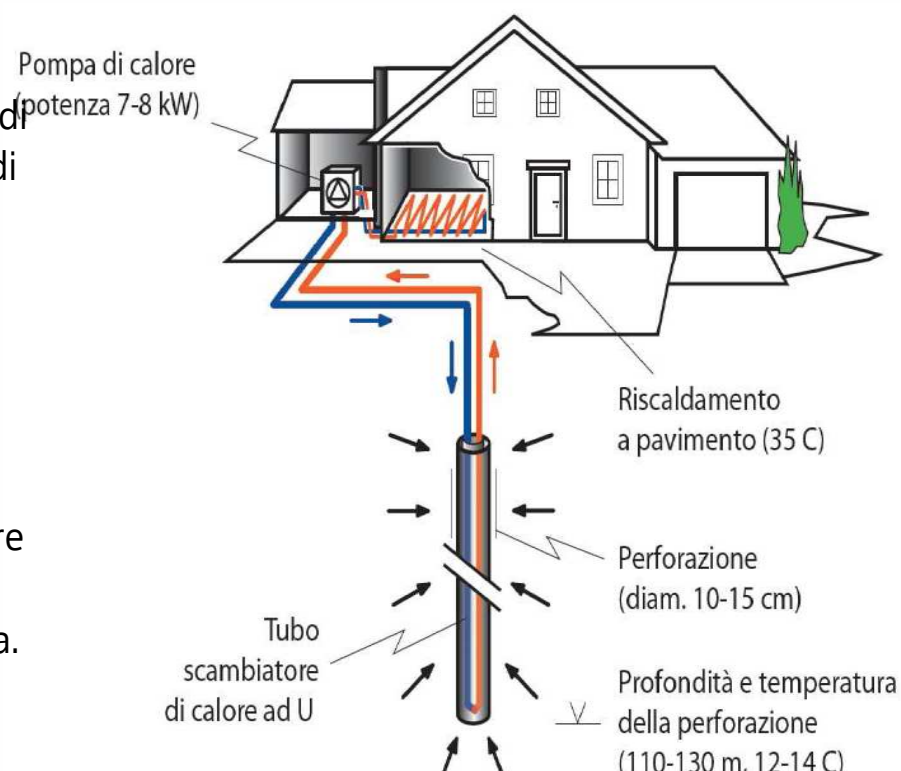


Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore



## Impianti a circuito chiuso: sonde geotermiche -1

- Il dimensionamento è sempre effettuato con l'obiettivo di ottenere temperature del fluido in ingresso alla pompa di calore al di sopra di un livello minimo invernale e al di sotto di un livello massimo estivo
- È quindi molto importante, che tutto il sistema sia ben bilanciato, che l'impianto d'estrazione d'energia nel sottosuolo sia leggermente sovradimensionato e la pompa di calore di conseguenza sia leggermente sottodimensionata. La conseguenza è che le temperature d'operazione per la pompa di calore sono più alte, favorendo una migliore prestazione generale del sistema.
- Per migliorare il COP e l'EER medio stagionale è necessario incrementare il numero di sonde



**Utilizzazione geotermica locale: impianti termici con pompe di calore**