

# Geotermia a bassa entalpia con sonde verticali e diffusione dell'onda di calore nel terreno

(estratto cap. 7 della tesi \*)

Rocco Domenico Manzi †

Ingegnere civile geotecnico

2 agosto 2013

**Sommario:** Andamento delle isoterme nel terreno con la figurazione di pompa spenta  $q=0W/m$  e con la configurazione accesa  $q=105W/m$  e il rischio del congelamento lungo la sonda per assorbimento eccessivo del calore.

**Parole chiave:** Calore, Elementi Finiti, Geotermia, isoterme.

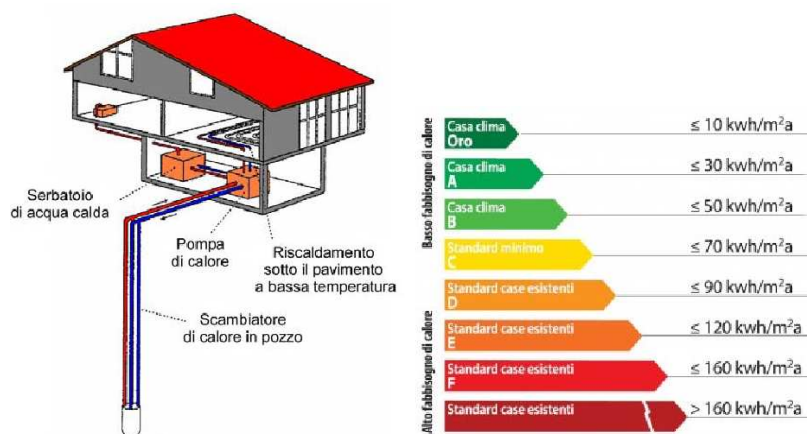


Figura 1: Schema geotermico con sonde verticale a bassa entalpia; Certificazione energetica di CasaClima

Quando viene installato un impianto geotermico la pompa di calore manda in circolo i fluidi termovettori, i quali a loro volta prelevano calore dal sottosuolo durante la fase di riscaldamento (*schema di fig. 1*). L'analogia con l'idraulica dei pozzi, a questo proposito è evidente. Quando la pompa idraulica in esercizio emunge acqua dalla falda questa si abbassa, e così avviene anche per le isoterme, le quali si abbassano quando viene accesa la pompa di calore. Il modello fem realizzato con il software *Comsol4.2* evidenzia l'andamento delle isoterme e l'andamento delle temperature lungo il bordo della sonda come si può vedere nel *grafico c*

di *fig. 2*.

In particolare se l'impianto è sottodimensionato, ovvero con un assorbimento specifico sopra i  $140W/m$  c'è la probabilità che la sonda congeli. Il congelamento della sonda comporta la rottura della stessa e il versamento dei *fluidi termovettori* nel sottosuolo con conseguente danno ambientale, e inquinamento della falda laddove ci fosse.

## Calcolo semplificato della lunghezza della sonda:

Dal fabbisogno energetico dell'edificio e dalla resa termica del terreno si ricava la lunghezza della sonda e il calore specifico. Per l'occasione si riportano due soluzioni di fabbisogno energetico distanti di 30 anni.

I dati sono raccolti nel seguente schema:

- area:  $A= 150m^2$
- fabbisogno unitario:  $FU = 120kWh/m^2a$  certificato *CasaClima*

\*Studio geotecnico e termico di un impianto geotermico a sonda verticale a bassa entalpia

†indirizzo mail: rocco.manzi2011@gmail.com

- ore di funzionamento dell'impianto:  $OEF = 1800\text{ore}$

**Soluzione 2000 classe E**  $\rightarrow FI = \frac{FU \cdot A}{OEF} = \frac{120 \cdot 150}{1800} = 10\text{kW}$

**Soluzione 1970 classe A**  $\rightarrow FI = \alpha \cdot V = 26 \cdot 405 = 10.5\text{kW}$

- quantità di calore assorbito istantaneo:  $FI = -QAI = 10\text{kW}$
- resa termica media del terreno:  $RT = 30\text{m/kW}$
- lunghezza unitaria della sonda:  $LU = 150\text{m}$
- Lunghezza totale sonde:  $LT = RT \cdot |QAI| = 30 \cdot 10 = 300\text{m}$
- numero di sonde:  $NS = \frac{LT}{LU} = \frac{300}{150} = 2$

La potenza unitaria assorbita risulta:

$$q = \frac{QAI}{LU} = \frac{10500}{150} = 70\text{W/m}$$

Nel nostro modello si è deciso di adottare due sonde di pari lunghezza, cosicché nel modello come condizione al contorno si è inserita una parametrizzazione di  $q$  tra 0 e 105 ogni 35, intesi come W/m. I lati estremi del dominio sono stati considerati adiabatici. Il lato superficiale del terreno con una temperatura invernale di  $2^\circ\text{C}$ .

### EQUAZIONE FONDAMENTALE DELLA CONDUZIONE:

Il fenomeno della conduzione è governato dalla equazione che segue:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (1)$$

La soluzione dell'equazione differenziale alle derivate parziali è la seguente:

$$T(z,t) = T_0 + dT_0 \cdot e^{-\frac{z}{\delta}} \cos \left[ w(t - t_0) - \frac{z}{\delta} \right], \quad (2)$$

dove:

$T(z,t)$  temperatura del terreno [ $^\circ\text{C}$ ] alla profondità  $z$ [m] e al tempo  $t$ [s];

$T_0$  temperatura media del terreno ;

$dT_0$  variazione dell'ampiezza dell'onda di calore in superficie;

$t_0$  tempo per il quale la temperatura resta massima in superficie [s];

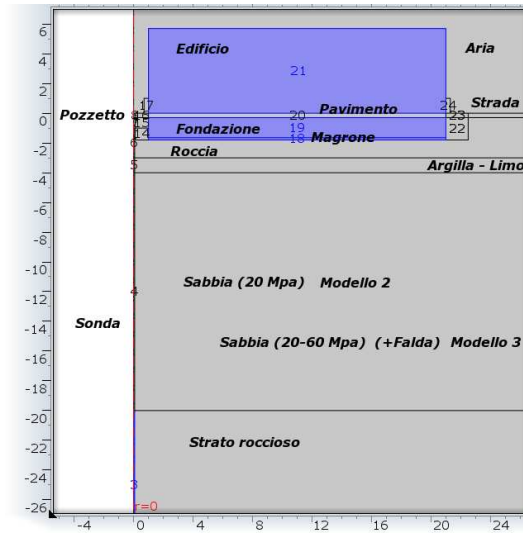
$\delta = \sqrt{\frac{2a}{w}} = \sqrt{\frac{aT}{\pi}}$  profondità di penetrazione [m];

$T$  periodo dell'onda di calore [s];

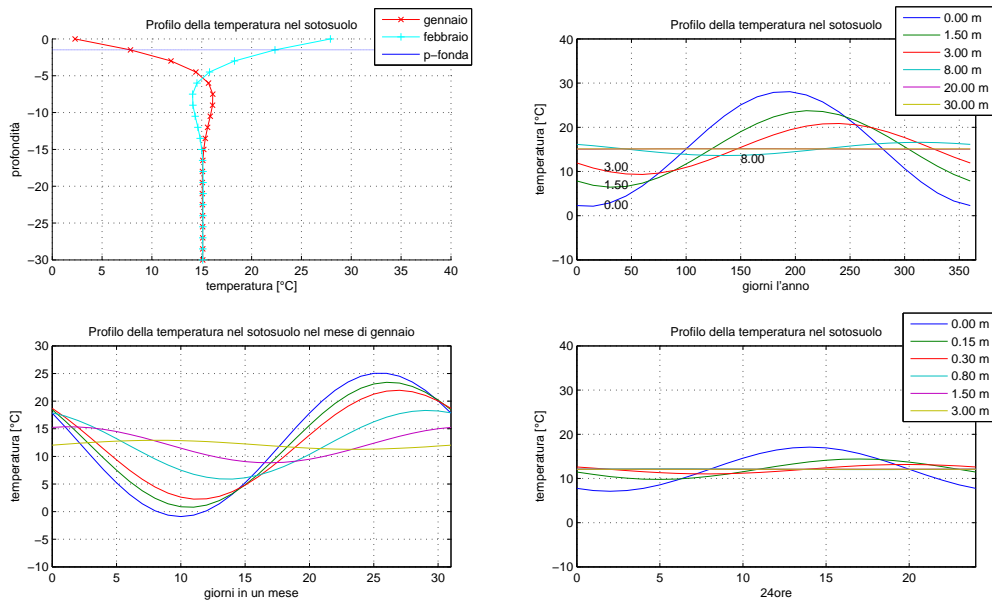
$w = \frac{2\pi}{T}$  frequenza dell'onda  $s^{-1}$ ;

$a$  diffusività termica del mezzo  $a = \frac{\lambda}{\rho c} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### RISULTATI GRAFICI DELLE ANALISI ↷

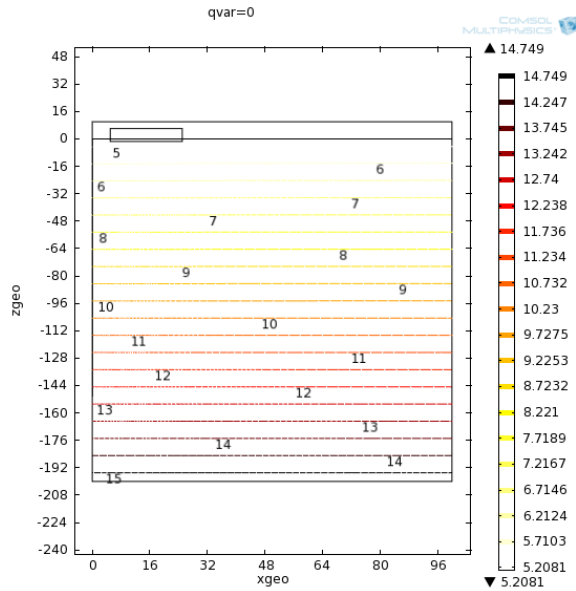


(a) *Dominio del terreno per l'analisi fem .*

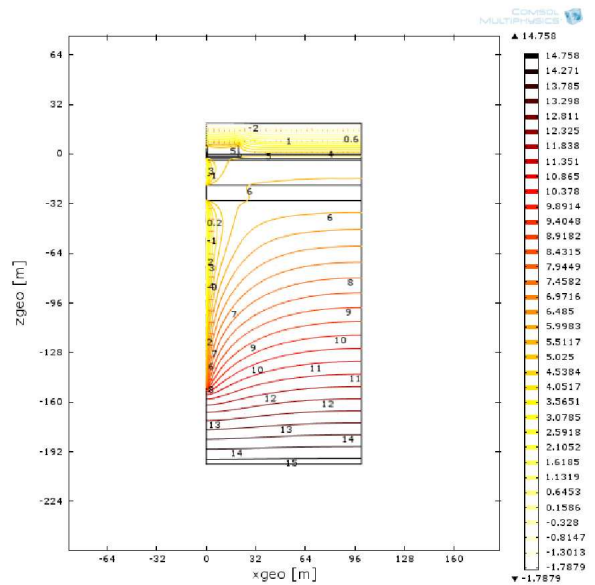


(b) *Andamento delle onde termiche nel sottosuolo ottenuto con un programma in Matlab implementando l'equazione 2, sfruttando i dati termici ambientali raccolti dall'ARPAV.*

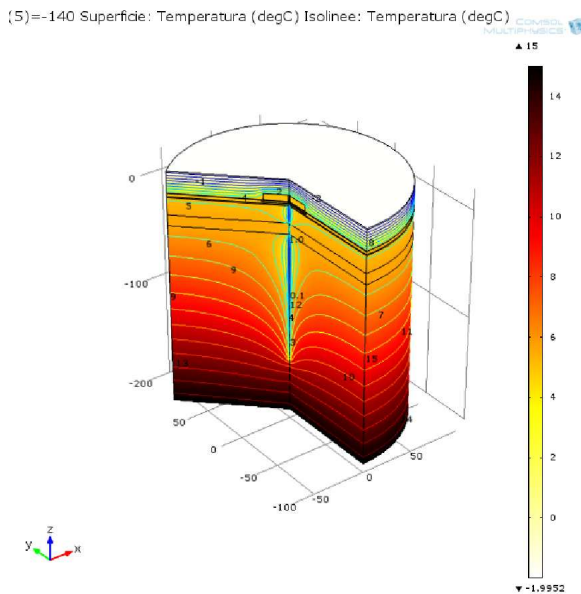
Figura 2: Dominio del terreno e diffusione della temperatura



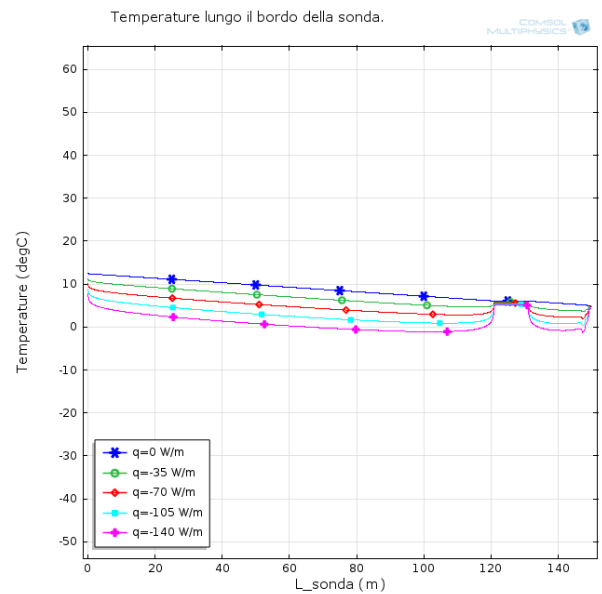
(a) Pompa di calore spenta  $q=0\text{W/m}$  e isoterme orizzontali.



(b) Pompa di calore accesa  $q=105\text{Wm}$ , modello 2D.



(c) Pompa di calore accesa  $q=105\text{W/m}$ , modello 3D.



(d) Andamento della temperatura lungo la sonda al variare dell'assorbimento  $q$ .

Figura 3: Andamento delle isoterme nel sottosuolo con pompa di calore accesa  $q[\text{W/m}]$