

Il flusso di calore geotermico

Il flusso di calore nel terreno, nella parte più superficiale della crosta terrestre corrispondenti alle prime centinaia di metri di profondità, è quello che ci interessa più direttamente nelle applicazioni geotermiche a bassa entalpia. Queste permettono di utilizzare l'energia termica presente nel sottosuolo per il riscaldamento ed il raffrescamento di edifici (Fig. 1).

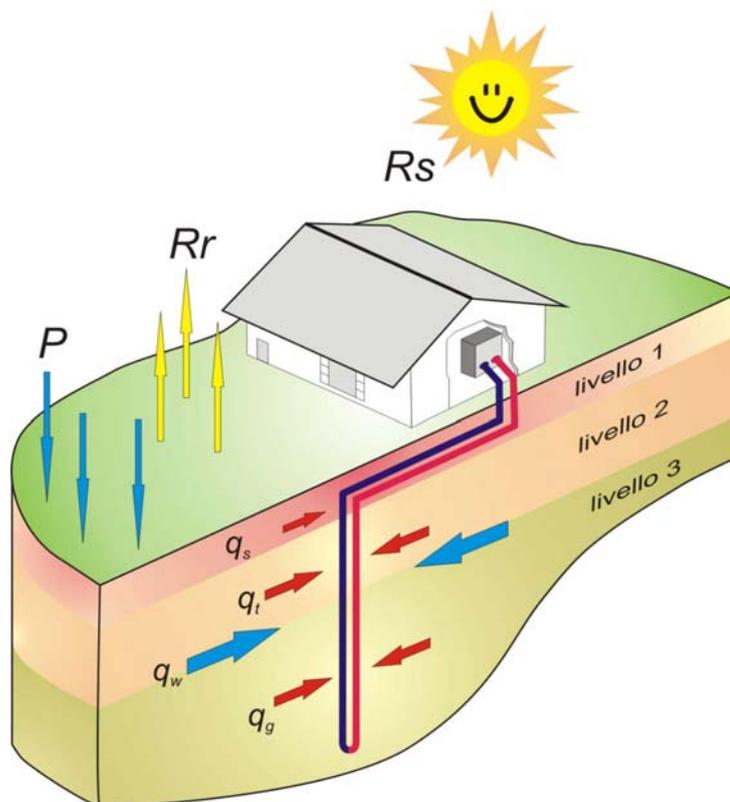


Figura 1 – Suddivisione della parte più esterna della crosta terrestre in funzione del flusso di calore nell'intorno di una sonda geotermica. R_s : radiazione solare; R_r : radiazione solare riflessa; P : pioggia; q_s : flusso di calore superficiale; q_t : flusso di calore dal terreno; q_w : flusso di calore dalla falda freatica; q_g : flusso di calore geotermico (da Menichetti et al, 2009).

Dal punto di vista del comportamento termico è possibile suddividere il sottosuolo in almeno tre livelli :

- 1) *Zona superficiale* – comprende il suolo, con uno spessore medio di circa 1 m alle nostre latitudini. Questa è una zona molto sensibile alle variazioni atmosferiche. Infatti la superficie topografica del terreno è interessata da un flusso energetico che riceve dalla radiazione solare (R_s), che in parte viene riflessa (R_r). Il flusso di calore verso il sottosuolo (q_s) sarà dato dalla somma della porzione di radiazione solare che riesce a penetrare nel terreno (differenza tra R_s-R_r) e dal trasporto operato nel sottosuolo dalle precipitazioni (P).
- 2) *Zona poco profonda* – varia da 1 a 8-10 m fino a 20 m di profondità in funzione delle caratteristiche geologiche legate alla litologia delle rocce presenti e all'assetto idrogeologico dell'area. In questa zona la temperatura può essere considerata "costante" e pari alla media annuale della temperatura dell'aria in superficie. Risente delle variazioni stagionali atmosferiche con uno sfasamento spaziale e temporale. Il livello 1 e 2 possono essere definiti strati termicamente "attivi" o livelli *etero termici*.
- 3) *Zona profonda* – oltre 8-20 m di profondità in funzione delle caratteristiche geologiche dell'area. In questa zona la temperatura è praticamente costante e le variazioni sono funzione del gradiente geotermico presente. Questo livello viene definito *omotermico*. Il calore ricevuto da questo strato è legato alle proprietà termiche delle rocce.

In sintesi nella parte più superficiale del terreno oltre al flusso di calore (q_s) prodotto dalla radiazione solare, si ha un flusso proprio del terreno (q_t), un apporto dalla fonte geotermica profonda (q_g) e un contributo dalla falda freatica (q_w) (Fig. 1).

La regione Marche

I dati derivanti da misurazioni in diverse località della regione Marche, nell'entroterra anconetano, mostrano che non sempre la temperatura aumenta con la profondità. Esistono degli scostamenti dovuti alla diversa conducibilità e capacità termica delle litologie del sottosuolo e alla presenza di una circolazione di fluidi profondi messa in evidenza in superficie dall'esistenza di sorgenti fortemente mineralizzate. Infatti, è possibile osservare come i pozzi presenti nelle litologie argillose, marnose e soprattutto arenacee hanno un gradiente maggiore.

La comprensione di queste relazioni tra litologie, circolazione di fluidi all'interno di sistemi di fratture e temperature sotterranee riveste un'importanza fondamentale per le installazioni di sonde geotermiche fino a profondità delle centinaia di metri. Questo indica per l'area centro-adriatica una notevole potenzialità di utilizzo del sottosuolo per estrarre energia termica (Fig.2).

I dati relativi alle temperature sotterranee nell'area centro-adriatica indicano gradienti geotermici di circa 25°C/km, che localmente possono raggiungere anche 60°C/km con un flusso di calore variabile tra 30-70 mW/m² (Fig. 2). Le zone a maggiore anomalia termica sono localizzate soprattutto ad Acquasanta Terme (Ascoli Piceno) dove sono note acque minerali che raggiungono in superficie temperature di circa 40 °C. Particolarmente interessante è tutta la fascia litoranea che da Pesaro raggiunge Civitanova dove si ha un flusso di calore di 40 mW/m², con incrementi locali e significativi nella zona di Fano e soprattutto del Conero a sud di Ancona. Queste località fortemente antropizzate, risultano potenzialmente favorite per l'utilizzo di sonde geotermiche per il condizionamento di edifici civili ed industriali.

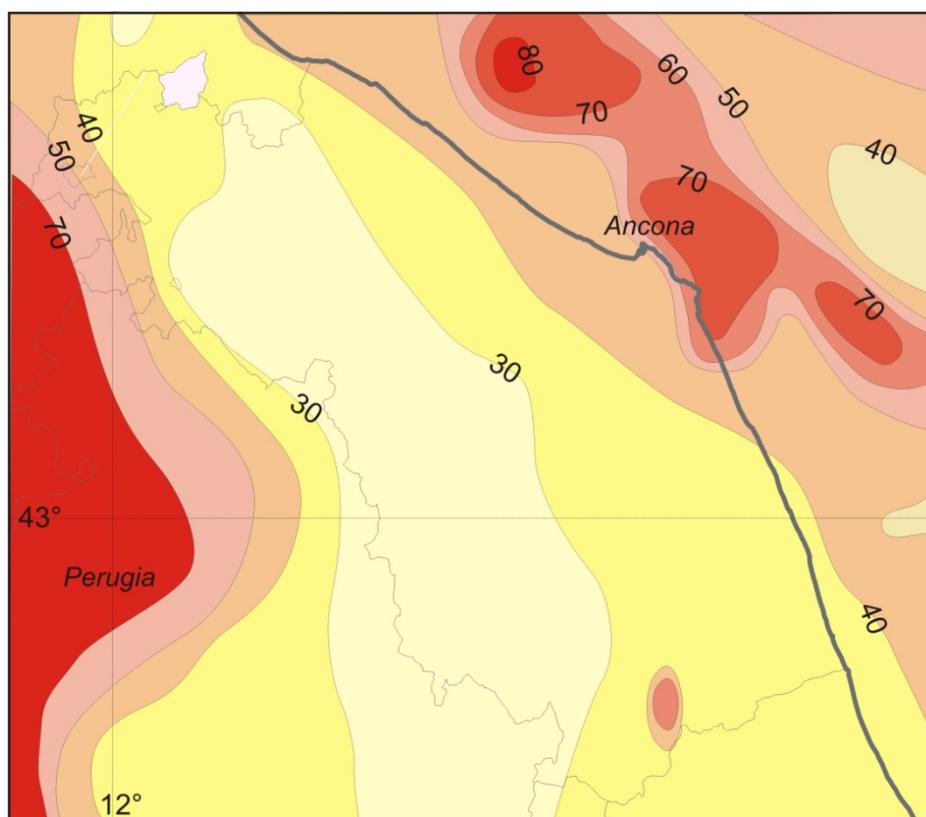


Figura 2 – (a) Carta del flusso di calore nelle Marche e nella zona costiera adriatica costruita attraverso misure di temperatura in pozzi profondi. I valori delle isolinee sono in mW/m² (da Menichetti et al., 2009).

Profili verticali di temperatura

Nella progettazione delle sonde geotermiche per applicazioni a bassa entalpia, risulta particolarmente importante conoscere sia la temperatura del sottosuolo, che il suo andamento nelle primissime centinaia di metri di profondità. Questo perché il profilo termico permette di avere importanti indicazioni sulla propagazione della temperatura superficiale nel terreno, del flusso di calore geotermico, ma soprattutto permette di valutare il contributo dell'advezione sulle proprietà termiche di una potenziale sonda geotermica. In sintesi è possibile determinare con una maggiore accuratezza la presenza nel sottosuolo di diversi livelli termici e l'eventuale interazione con la falda freatica .

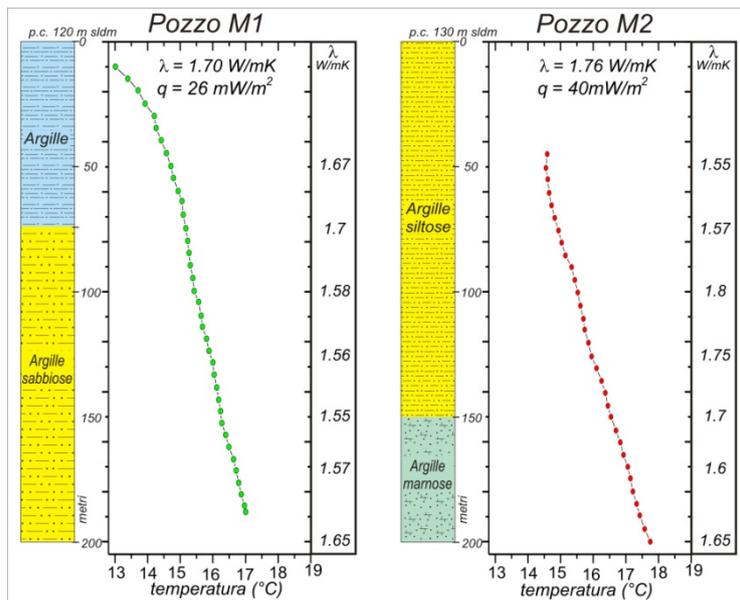


Figura 3 – Stratigrafia, temperature e conducibilità termica di due pozzi perforati nella regione Marche nei terreni dell’avanfossa Pliocenica. I valori di conducibilità termica sono stati misurati su campioni in laboratorio.

Due pozzi perforati per scopi geotermici nella regione Marche, forniscono preziose indicazioni sul flusso di calore esistente. Il pozzo M1 localizzato in provincia di Ancona e il pozzo M2 nella provincia di Macerata, scavati fino alla profondità di circa 200 m, attraversano entrambi litologie argilloso-sabbiose appartenenti all’avanfossa pliocenica. Le misure eseguite mostrano che la temperatura tende ad aumentare in maniera lineare con la profondità secondo un gradiente che è di circa 1,6°C/100m nel pozzo M1 e 2°C/100m nel pozzo M2. L’andamento della temperatura con la profondità non è sempre lineare e varia in funzione anche della litologia e in presenza di piccole falde confinate nei livelli sabbiosi più permeabili. La conducibilità media delle litologie attraversate, ottenuta da misure sperimentali in laboratorio, varia da $\lambda = 1.5 - 1.8 \text{ W/mK}$ dalle quali si ottiene un flusso di calore $q_{M1} = 26 \text{ mW/m}^2$ per il pozzo M1 e $q_{M2} = 40 \text{ mW/m}^2$ per il pozzo M2.

Le sonde geotermiche

Esistono diversi metodi di estrazione dell’energia termica del sottosuolo mediante sonde geotermiche che si differenziano tra loro soprattutto per la geometria e la profondità di installazione. L’estrazione del calore dal sottosuolo può essere effettuata in un circuito aperto o chiuso a seconda che esista o meno un utilizzo diretto delle acque di falda (Fig. 4).

Condizione fondamentale per realizzare un efficiente scambio termico con il terreno è l’utilizzo di una pompa di calore che riesca a regolare le temperature di ingresso ed uscita dal sistema e una tipologia di condizionamento termico dell’edificio che preveda pannelli radianti o a pavimento [30].

Comunemente le sonde geotermiche superficiali permettono di estrarre da 40W/m a 55 W/m $\pm 16 \text{ W/m}$ [3] in funzione delle caratteristiche termiche delle rocce [31].

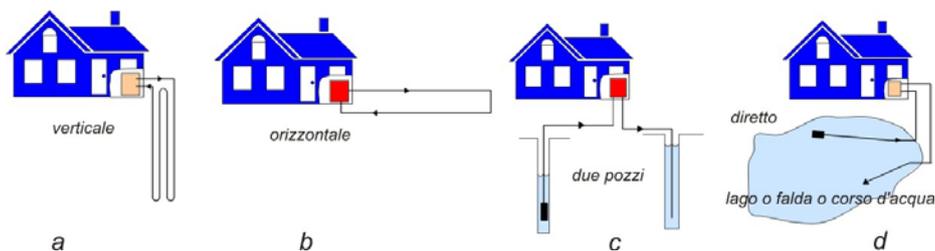


Figura 4 – Schema delle possibili configurazioni di sonde geotermiche a circuito chiuso (a, b) e con circuito aperto (c, d)

Le sonde geotermiche più comunemente utilizzate sono quelle a circuito chiuso e possono essere raggruppate in tre gruppi:

- *sonde geotermiche orizzontali*: tubazioni messe in opera nel terreno a qualche metro di profondità con uno sviluppo prettamente orizzontale. Ovviamente questo tipo di sonde risentono delle variazioni termiche indotte dalla superficie, che in parte posso utilizzare sia per raffreddare che riscaldare edifici. La loro diffusione è abbastanza limitata anche perché necessitano di ampie superfici di installazione, anche se come vantaggio hanno un costo relativamente basso.

- *sonde geotermiche verticali in pozzi*: sono comunemente costituite da tubazioni ad U inserite in un pozzo che può avere una profondità compresa tra 30 e 250 m. Esistono diverse configurazioni geometriche e quelle più utilizzate consistono o di un semplice tubo ad U oppure due tubi ad U messi a 90° l'uno dall'altro. La differenza di rendimento termico tra questi due sistemi non è rilevante, anche se la doppia U presenta ovviamente una minore resistenza termica.

- *sonde geotermiche elicoidali*: recentemente hanno trovato larga applicazione sistemi con tubazioni a spirale che hanno notevoli vantaggi sia dal punto di vista tecnico che economico. Infatti, queste a parità di superficie di scambio termico, possono essere installate a profondità di poche decine di metri.

Meno comuni sono sistemi con tubazioni coassiali o pali di fondazioni all'interno dei quali sono annegate sonde geotermiche.

Nella progettazione di sonde geotermiche, specialmente se interessano le prime decine di metri di profondità, risulta di fondamentale importanza conoscere la stratigrafia e lo stato termico del sottosuolo.

La zona attiva, influenzata dalle temperature superficiali, come abbiamo visto, raggiunge circa 25-30 metri di profondità. Questa, qualora sollecitata termicamente per la presenza di sonde con una ampia superficie di scambio, potrebbe essere utilizzata per immagazzinare una certa quantità di energia termica nel periodo estivo per rilasciarla poi nel periodo invernale.

La profondità di penetrazione della zona attiva dipende molto dalla litologia e soprattutto dalla presenza o meno di una rete di fratture.

La propagazione del calore dal terreno alla sonda è controllata dalla resistenza termica operata dalle malte di riempimento del foro e soprattutto dalla qualità della loro messa in opera. In particolare i parametri che maggiormente influenzano il rendimento di una sonda geotermica sono: il diametro della perforazione, la distanza tra i tubi di mandata e ritorno e quindi le dimensioni degli spaziatori, la conducibilità termica del materiale di riempimento, il regime di flusso del fluido termovettore, la portata unitaria e la lunghezza della sonda. Va rilevato che anche il materiale plastico che costituisce la sonda geotermica rappresenta una resistenza termica frapposta tra la temperatura del fluido vettore e la roccia.

Il dimensionamento di una sonda geotermica in sintesi è un processo che richiede la conoscenza delle proprietà termiche del terreno (geologia), delle necessità termiche

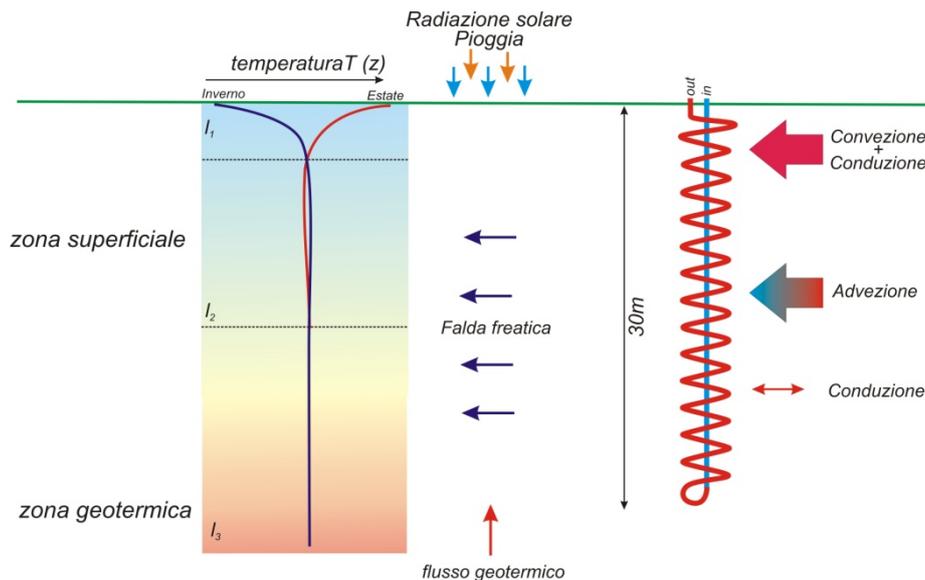


Figura 5 – Scambio termico di una sonda geotermica a geometria elicoidale per il riscaldamento ed il raffrescamento di edifici. l_1 , l_2 , l_3 sono i tre livelli termici.

dell'edificio e delle caratteristiche tecniche dell'impianto di condizionamento termico (termotecnica). La resa stessa della sonda nel terreno, comunemente indicata in W/m va valutata attraverso la quantità di calore scambiato nel tempo di funzionamento dell'impianto stesso in presenza di un determinato carico termico. Il rendimento della pompa di calore, indicato dal COP (Coefficiente Of Performance) risulterà quindi dall'insieme dei parametri geologici e termotecnici.

Fattori geologici rilevanti sull'installazione delle sonde geotermiche

Esistono numerosi fattori che hanno una incidenza significativa sia sulla progettazione che sulla realizzazione delle sonde geotermiche. In particolare il contesto idrogeologico nella Regione Marche può essere riferito a due tipologie (Fig. 6):

- Zone di fondovalle dove si ha la presenza di mezzi porosi con falde, sia libere che confinate, localizzate a diversa profondità. In questi contesti la realizzazione di sonde geotermiche va valutata con molta attenzione anche in funzione delle zone di rispetto di zone di prelievo per acquedotti. Lo scavo stesso della sonda e la sua messa in opera può rappresentare elementi di criticità.
- Zona pedemontana dove il flusso all'interno della massa rocciosa avviene attraverso sistemi di fratture. La compartimentazione dei sistemi di fratture limita l'interazione tra le falde freatiche con la sonda geotermica.

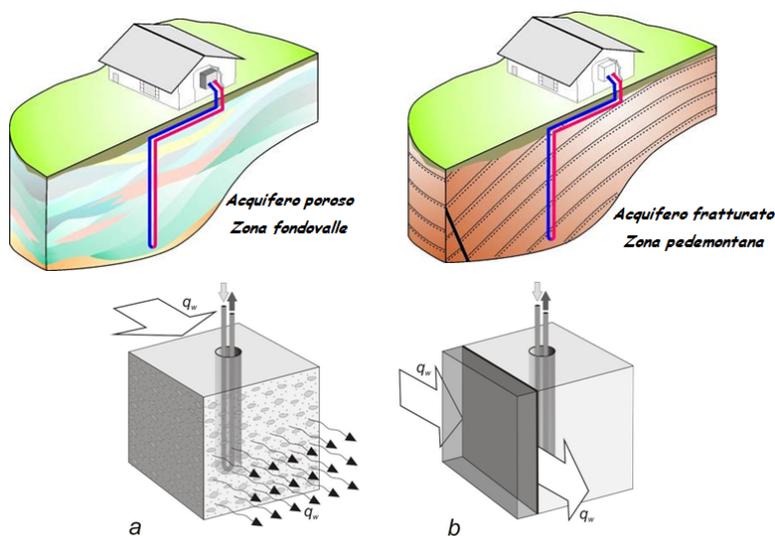


Figura 6 – Tipologia di contesti idrogeologici della Regione Marche rispetto all'installazione di sonde geotermiche. In basso è schematizzato lo scambio termico (q_w) attraverso un sistema poroso (a) e un mezzo fratturato (b) (da Menichetti et al, 2009)

La tabella di seguito sintetizza l'incidenza dei diversi fattori geologici nella progettazione e realizzazione delle sonde geotermiche .

Fattori geologici	incidenza
Temperatura superficiale Temperatura sotterranea	efficienza dell'impianto profondità dello scavo
Caratteristiche geomeccaniche della roccia Copertura vegetale Suolo e livello di alterazione	sistema di scambio termico (pozzo o trincea)
Conducibilità termica della roccia Diffusività termica della roccia	rendimento dello scambio termico
Idrogeologia dell'area Acquifero e saturazione in acqua	proprietà termiche ed efficienza dell'impianto
Scavo sotterraneo	metodi e costi di scavo o di perforazione

