

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell' Energia

Relazione per la prova finale
**«SFRUTTAMENTO E SOSTENIBILITA’
DELL’ ENERGIA GEOTERMICA»**

Tutor universitario: Prof.ssa

Campanale Manuela

Laureando: *BUGGIO MATTIA*

Padova, 07/07/2023

ENERGIA DEL SOTTOSUOLO

L'energia geotermica è la fonte di energia dovuta al calore immagazzinato dalla crosta terrestre, poi rilasciato a rocce e ai fluidi vettori quali gas e acqua, che ne consentono la propagazione fino alla superficie. Il calore nel sottosuolo si propaga per conduzione e per convezione.

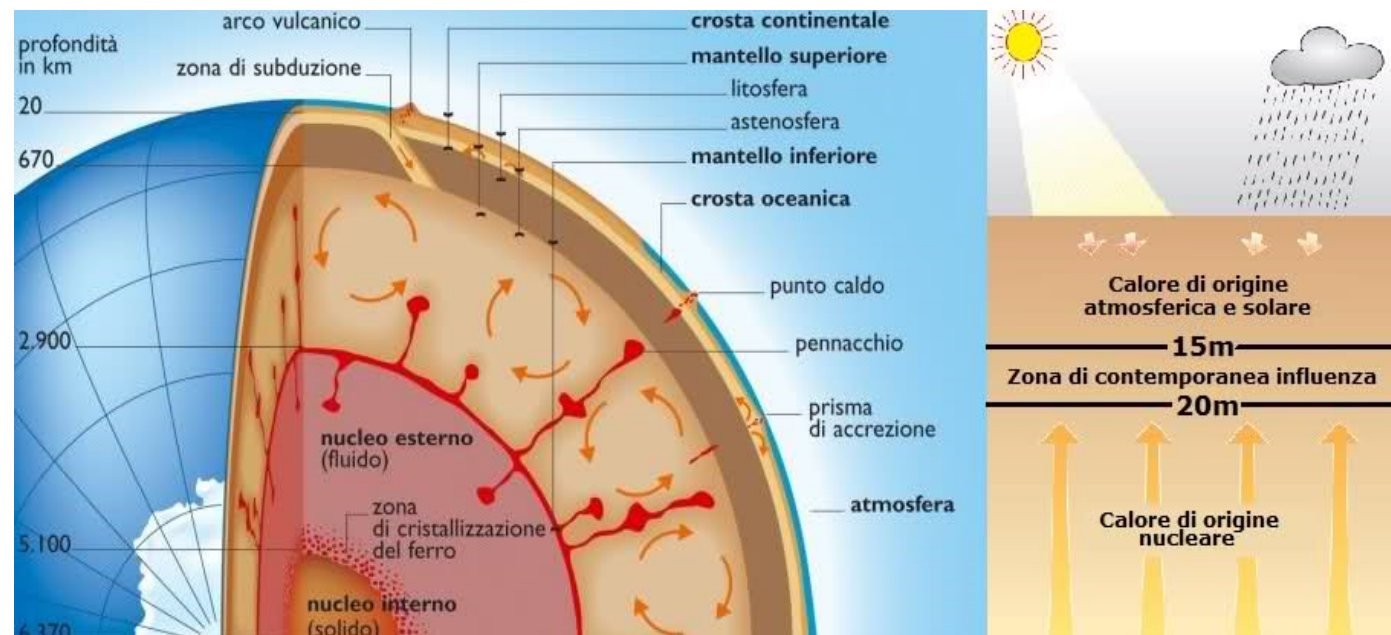
L'unità di misura del flusso di calore che attraversa una superficie è l' heat flow unit.

$$1 \text{ hfu} = 42 \text{ mW/m}^2$$

Nel nostro pianeta mediamente il flusso geotermico che raggiunge la superficie è **1,5 hfu=63mW/m²**.

Essendo il gradiente geotermico uguale al rapporto tra flusso geotermico q_{geo} [W/m] e la conduttività termica del terreno λ [W/(m·K)], considerando il flusso geotermico pari a 0,065 W/m e assumendo la conduttività del terreno costante (a partire da profondità superiori ai 100 m) è pari a 2,2 W/(m·K), otteniamo un valore di gradiente di temperatura pari a 3°C/100m.

$$T_{\text{geo}} = \frac{q_{\text{geo}}}{\lambda}$$



SISTEMI AD ALTA E BASSA ENTALPIA

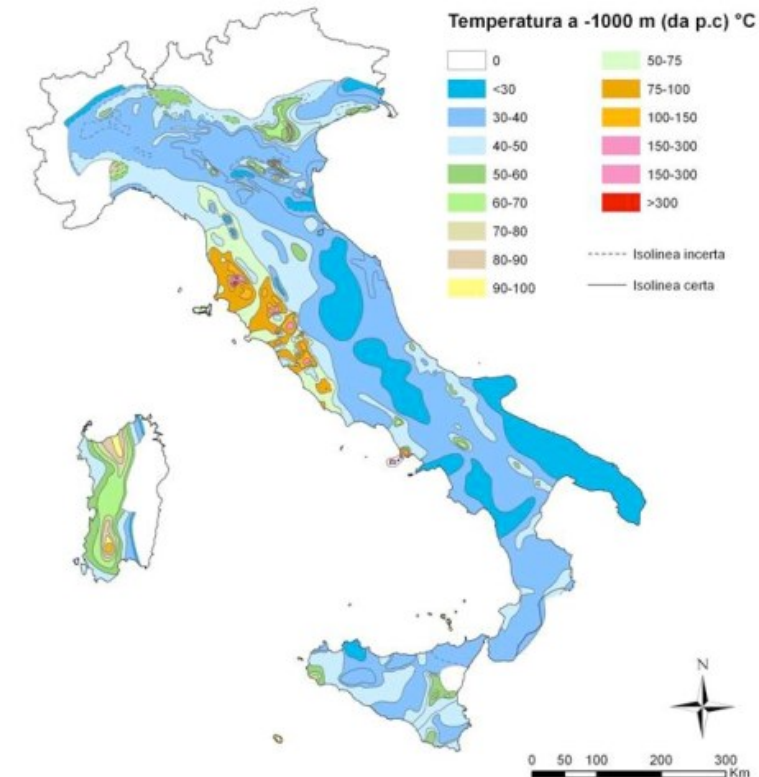
La geotermia in base alla sua potenzialità di estrazione del calore viene distinta in: a bassa o ad alta entalpia.

La geotermia ad alta entalpia è caratterizzata da sistemi il cui vettore fluido, solitamente vapore, raggiunge temperature superiori a 100°C e pressioni elevate. L'energia ricavata può essere impiegata per USI INDIRETTI, quali la produzione di energia elettrica (in Italia la geotermia AE è presente solo in Toscana e Lazio).

La geotermia a bassa entalpia è caratterizzata invece da sistemi nei quali il fluido vettore ha temperature inferiori ai 90°C e pressioni di poco superiori a quella atmosferica. L'uso di questo calore può essere solo di tipo DIRETTO come per il riscaldamento urbano, per l'agrozootecnica, per l'industria e per il settore dei bagni termali.

Per l'utilizzo diretto della bassa entalpia c'è un sistema che non prevede la presenza di un serbatoio poroso e permeabile, né di un fluido vettore geotermico, né di un gradiente di temperatura anomalo, bensì sfrutta le proprietà conduttive dei terreni tramite delle tubazioni particolari inseritevi: **le sonde geotermiche**.

Su quest'ultima tecnologia riporrò l'attenzione, la quale può essere utilizzata per la produzione di acqua calda per la climatizzazione invernale o acqua fredda per la climatizzazione estiva e inoltre può essere realizzata diffusamente su tutto il territorio nazionale, ad eccezione di aree, seppur di limitata estensione, destinate alla tutela delle acque pubbliche.



PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO PDC GEOTERMICA E CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI

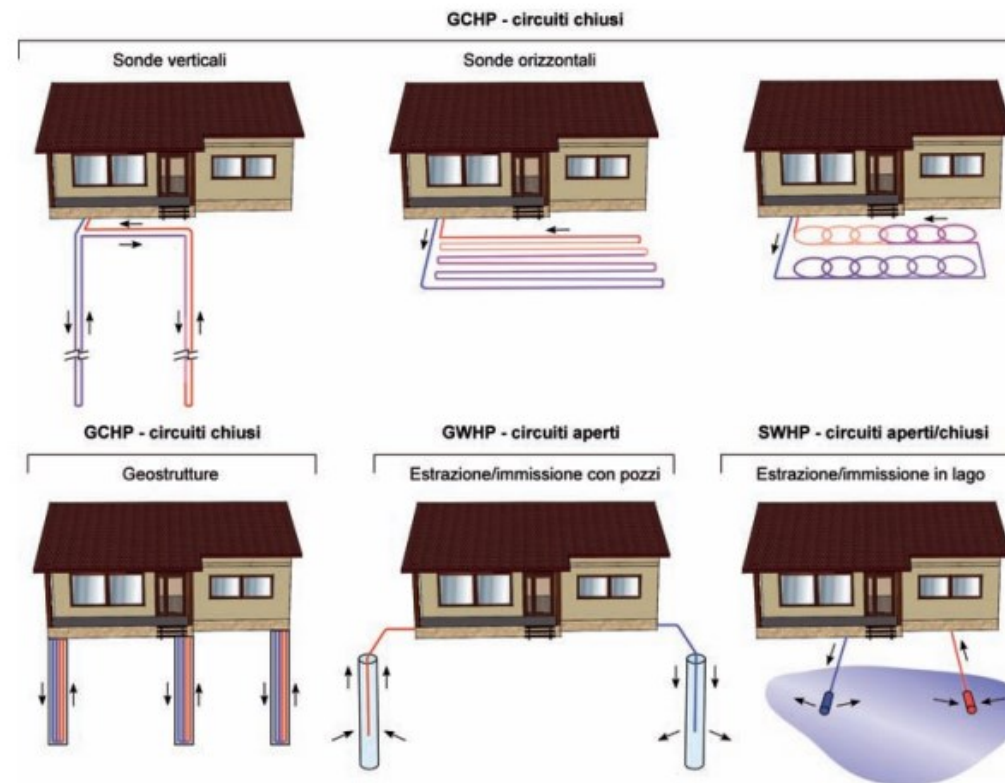
La pompa di calore (PDC) è la macchina in grado di trasferire calore da una sorgente a temperatura più bassa ad un'altra a temperatura più alta. La PDC inverte, pertanto, nel suo funzionamento il flusso naturale di trasferimento del calore.

Le pompe di calore geotermiche (in anglosassone GSHP) sono i dispositivi che combinano il funzionamento di una pompa di calore connessa con uno scambiatore geotermico a circuito chiuso o aperto. In modalità riscaldamento, questi dispositivi utilizzano il sottosuolo come sorgente di calore, mentre in modalità raffreddamento, il sottosuolo viene utilizzato per la dispersione del calore.

Le GSHP si adattano molto bene alla fonte a bassa entalpia.

Secondo la nomenclatura ASHRAE, si distinguono tre categorie principali di sistemi GSHP, a seconda delle caratteristiche del fluido vettore:

- GWHP, Groundwater Heat Pumps: il fluido termovettore è costituito da acqua di falda che viene catturata e rilasciata una volta terminato il ciclo di scambio termico;
- GCHP, Ground-Coupled Heat Pumps: il fluido termovettore scorre in un circuito chiuso a contatto con il terreno;
- SWHP, Surface Water Heat Pumps: il fluido termovettore è costituito da acqua di superficie che, anche in questo caso, viene catturata e rilasciata una volta finito il ciclo.



POZZI VERTICALI

I pozzi verticali sono perforazioni in cui si annegano, in miscele bentonitiche, le sonde di varia configurazione, di materiale plastico o metallico, con una lunghezza che può variare tra i 20 e 300 m.

Sonda

Le sonde che attraversano i diversi strati del terreno possono avere varie configurazioni. Di norma sono composte da due tubi plastici, di piccolo diametro (20, 40 mm), a forma di U o doppia U, interrati nel pozzo. Secondo la resistenza e la conducibilità termica dei materiali, esistono differenti tipi di sonde. Le sonde in polietilene ad alta densità o polietilene reticolato sono le più utilizzate.

La base, raccordata a V, è agganciata a un peso per facilitarne la discesa nel pozzo. La vita media in condizioni nominali (pressione di 1 bar e temperatura di 15°C) è superiore ai 100 anni.

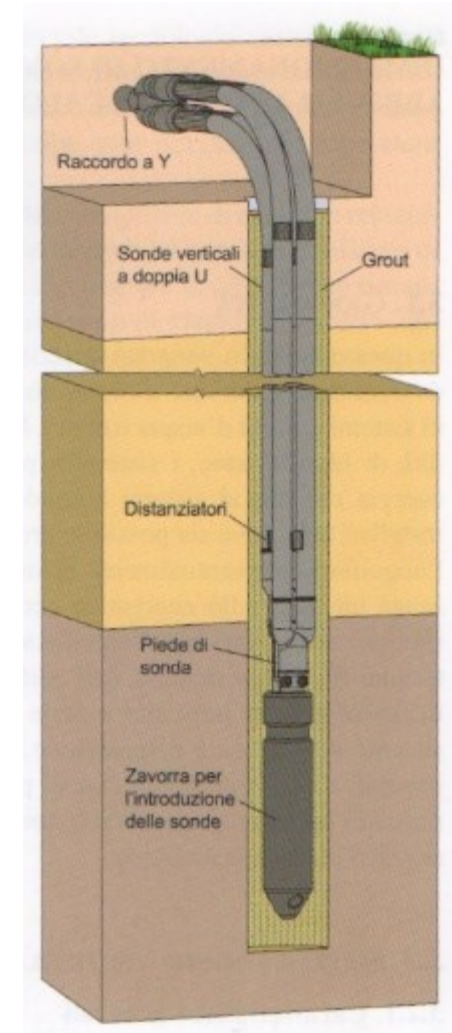
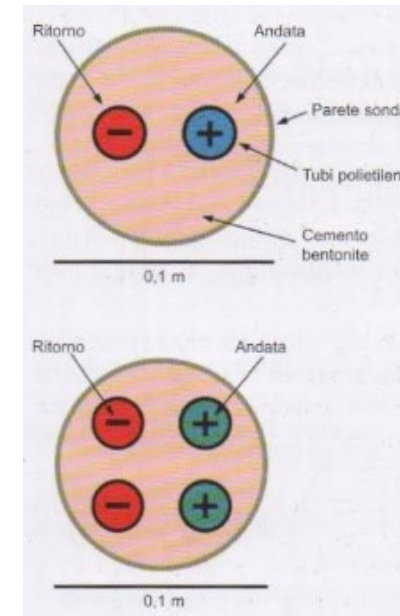
Materiale di ripieno (Grout)

Viene introdotto un materiale di ripieno tra i tubi e la parete del pozzo per assicurare un buon contatto termico col suolo. Nel caso in cui la perforazione attraversi una falda acquifera, il materiale di ripieno ha anche la funzione di prevenire la circolazione verticale di acqua sotterranea. A questo scopo possono essere utilizzati vari materiali: il più comune è una boiaccia cemento-bentonitica.

Oltre alla conducibilità termica, vanno considerati due parametri:

- La solubilità: il materiale non deve essere solubile in quanto, nel caso dell'intercettazione di falde, non deve alterarne la composizione;
- L'elasticità: deve poter resistere alle sollecitazioni indotte dai movimenti naturali e antropici del terreno.

La miscela bentonitica benché perfetta per questi fattori non possiede una elevata conducibilità termica (0,7 W/mK), e ciò rende la resistenza termica della malta la più elevata tra le resistenze in serie del pozzo

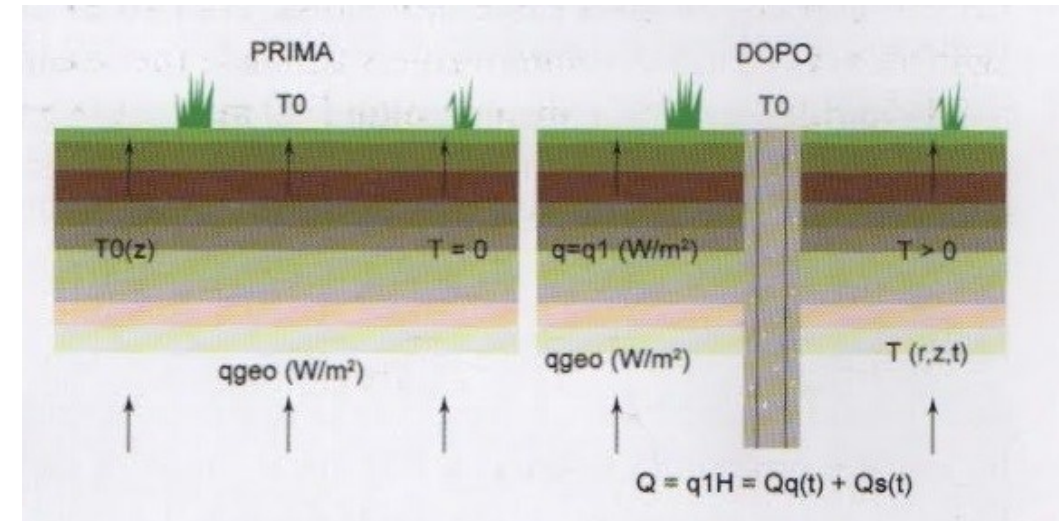


SCAMBIO COL SOTTOSUOLO

Il trasporto conduttivo in una sonda geotermica avviene generalmente in tre materiali diversi: attraverso le pareti del collettore, attraverso la malta cementizia e attraverso il terreno.

Il fenomeno della convezione regola invece lo scambio termico nel circuito fluido freddo / tubo caldo dove però avvengono anche fenomeni di dispersione termica. Da qui la scelta di diametri più piccoli.

Queste considerazioni iniziali portano a definire il problema a lungo termine correlato a una sonda geotermica.



Il flusso geotermico q_{geo} , assunto costante, è responsabile del gradiente di temperatura e questo è uno stato di equilibrio che definisce le condizioni naturali. Il campo di temperatura nella terra è stazionario e dipende solo dalla profondità z . Il flusso geotermico attraversa il terreno ed è totalmente dissipato in ambiente.

L'estrazione del calore può essere caratterizzata dalla quantità media di estrazione $q_1 = Q/H$ [W/m] (Claesson J., Eskilson P., 1987), dove H è la lunghezza attiva della sonda, cioè la lunghezza per la quale il calore è estratto.

Abbastanza in profondità oltre la sonda, il flusso geotermico non sarà influenzato e rimarrà costante.

Sulla superficie, un flusso dipendente dal tempo e dal raggio $q_{surf}(r,t)$ inizierà a fluire dall'ambiente al suolo, si sovrapporrà al flusso geotermico naturale che normalmente attraversa la superficie del suolo. La potenza termica $Q_s(t)$ risulta dall'integrazione di questo flusso di calore attraverso la superficie del terreno.

$Q_s(t)$ è una delle due fonti di energia della sonda, chiamata infatti fonte di energia di contorno poiché il calore arriva sia dal flusso geotermico, sia dall'ambiente. Il contributo netto dell'ambiente è definito dall'integrazione del flusso totale alla superficie del terreno, cioè $q_{surf}(r,t) - q_{geo}$.

L'altra fonte di calore è $Q_q(t)$ che è semplicemente la potenza termica estratta dalla capacità termica del suolo. Questa fonte di calore può esser considerata solo se la temperatura del suolo decresce col tempo.

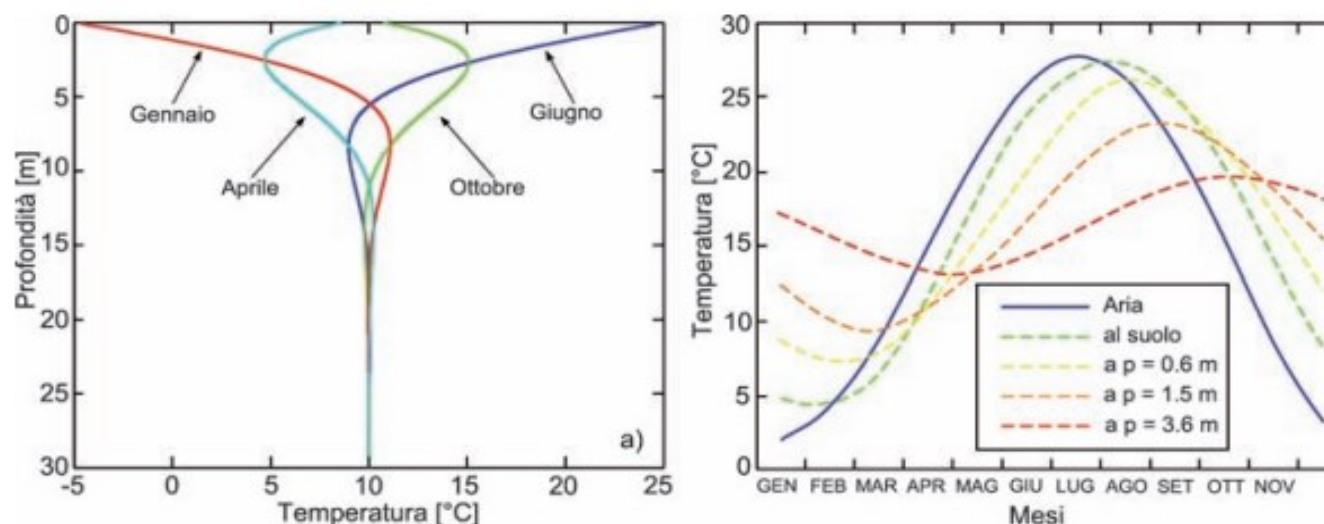
Per quanto riguarda l'influenza della superficie sulla temperatura del terreno, si è dimostrato che le oscillazioni stagionali possono essere trascurate già a una ventina di metri e la temperatura si assesta intorno al valore medio annuale delle temperature superficiali.

Si riporta un grafico dell'andamento tipico di temperatura.

Per l'estrazione di calore dal sottosuolo esistono sostanzialmente due linee di azione: si ricercano alte temperature con sondaggi profondi o si realizzano più tubazioni in serie per aumentare la portata totale, infatti la potenza termica ceduta da un fluido:

$$P = C_p * Q * \Delta T$$

Risulta evidente quindi che, per aumentare la potenza disponibile, occorre aumentare il flusso oppure ottenere una differenza di temperatura più elevata.



Tralasciando le anomalie geotermiche che possono indurre a ricercare alte temperature, in genere, non risulta conveniente perseguire attraverso perforazioni profonde in quanto le dispersioni termiche durante il percorso di risalita vanificherebbero in parte gli sforzi e costi effettuati; inoltre, se si vogliono utilizzare i medesimi collettori anche per lo stoccaggio del calore nel sottosuolo, e quindi per esigenze di raffrescamento, non è ottimale per il bilancio termico annuale raggiungere temperature troppo elevate che inficerebbero l'efficienza del sistema durante il funzionamento estivo.

La soluzione più adottata, dettata dall'esperienza e dal bilancio dei costi, consiste nel posare più tubi all'interno di una serie di pozzi con profondità sufficienti a creare una piccola ΔT ma con portate elevate.

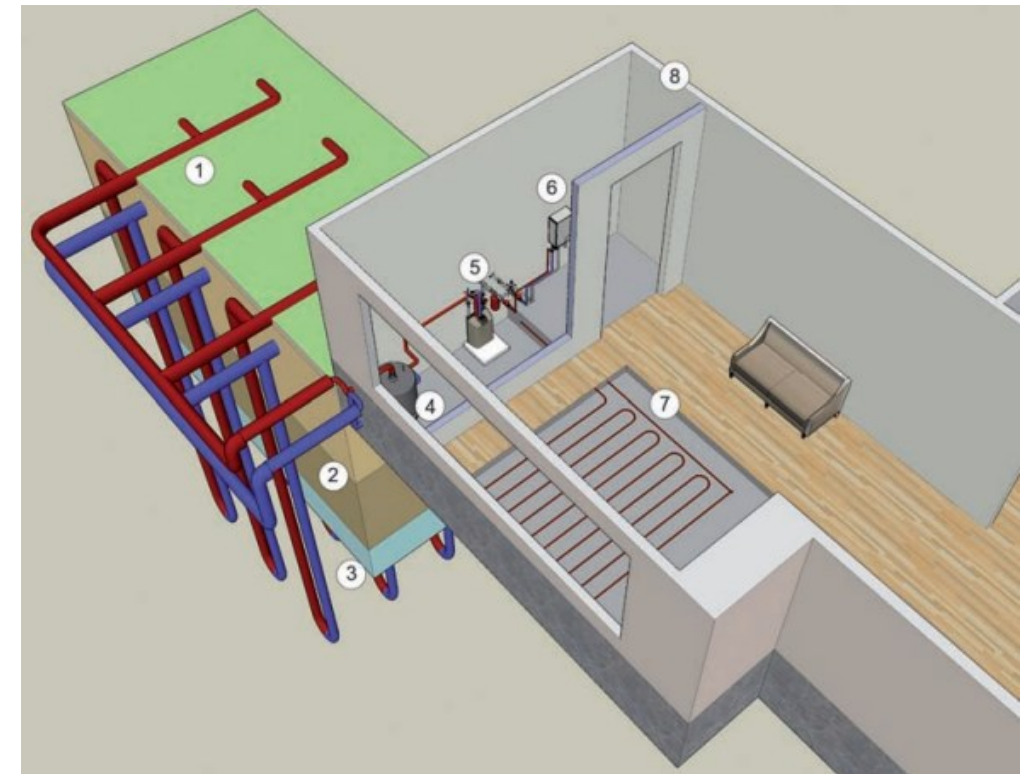
FASI PROGETTUALI

Un sistema geotermico è, nella maggioranza dei casi, composto da tre parti distinte che si integrano tra loro e il cui dimensionamento è fortemente correlato. Esse sono:

- L'edificio e il suo impianto di climatizzazione: l'involucro e la tipologia del terminale di riscaldamento.
- Sistema geologico, idrogeologico e termico e le strutture geotermiche
- La macchina di climatizzazione: la pompa di calore.

Al contrario dei sistemi geotermici per la produzione di elettricità e gli usi termali, per cui si costruiscono i manufatti in base al potenziale geotermico verificato nel sottosuolo, la progettazione dei sistemi di climatizzazione parte sempre dall'alto, ovvero dal fabbisogno necessario all'edificio.

1. Preliminarmente alla progettazione del sistema GSHP, è necessario effettuare uno studio di fattibilità e un'analisi delle esigenze dell'utenza finale in termini energetici, impiantistici.
2. In seconda fase, è necessario effettuare una scelta del più idoneo tipo di sistema GSHP, valutando sia i vincoli normativi e ambientali esistenti sia il locale contesto geologico-idrogeologico.
3. Chiariti questi punti, è fondamentale svolgere un'indagine geologica-idrogeologica nel sito d'interesse, il cui livello di dettaglio è funzione della taglia dell'impianto geotermico. (<30kW o >30kW)



4. Infine si passa alle fasi di progettazione geologica e ingegneristica, dove il geologo deve effettuare il dimensionamento dello scambiatore geotermico sulla base delle deduzioni geologiche e idrogeologiche del sito, mentre l'ingegnere sulla base delle caratteristiche dello scambiatore geotermico e della previa analisi termotecnica effettua un dimensionamento della PDC e del sistema di distribuzione.

SISTEMA GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E TERMICO

L'acquisizione di informazioni a carattere geologico, idrogeologico e termico consente di progettare sistemi in grado di fornire energia termica e frigorigena all'edificio senza dover effettuare cautelativamente sovradimensionamenti dispendiosi.

Per la progettazione dei sistemi GSHP i fattori da quantificare sono: la temperatura del sottosuolo, le conducibilità e le diffusività termiche degli stati di terreno e roccia, il livello dell'acqua di falda, le caratteristiche dell'acquifero e il suo flusso sotterraneo. È inoltre utile considerare le caratteristiche di resistenza meccanica di terreni e rocce in modo da stabilire metodi di perforazione più adeguati.

Tipo di terreno/roccia	Conducibilità termica (W/m K)	Calore specifico (J/kg*K)	Densità (kg/m³)	Diffusività termica (m²/giorno)
Ghiaie e sabbie secche	0.3-0.9	800	1890	0.045
Ghiaie e sabbie umide	1.3-1.8	840	2010	0.056
Ghiaie e sabbie sature	1.8-2.4	960	2100	0.078
Argille e limi asciutti	0.2-1.0	840	1440	0,024
Argille e limi umidi	1.2-2.3	1050	2100	0.045
Marne umide (senza Qz)	1.0-1.6	879	2080-2640	0.047-0.056
Marne umide (con Qz)	1.7-3.1	879	2080-2640	0.084-0.11
Arenarie	1.5-4.2	1005	1900-2500	0.065-0.11
Calcari	2.4-3.4	920	1600-2700	0.093-0.13
Dolomiti	3.2-5	879	2700-2850	0.10-0.21
Gneiss	2.1-4.2	920	2600-2850	0.084-0.11
Marmi	2.5-3	920	2670-2750	0.074-0.11
Basalti	1.3-2.9	796	2950	0.065-0.084
Graniti	2.4-3.8	879	2650	0.093-0.13
Gabbri	1.9-4.0	753	2950	0.079-0.14
Dioriti	2.8-3.6	920	2800	0.065-0.093
Granodioriti	2.0-3.5	879	2700	0.074-0.12

PRINCIPIO DIMENSIONAMENTO

Il dimensionamento di sonde verticali ha per obbiettivo una stima della loro lunghezza complessiva, mantenendo un controllo delle temperature del fluido termovettore in entrata e in uscita della PDC.

Il calcolo della lunghezza deve essere vincolato dalle seguenti condizioni:

- Le temperature del terreno in prossimità del pozzo non devono scendere al di sotto di 0°C per evitare il congelamento delle porzioni di terreno umido;
- Il raggiungimento di potenze adeguate al fabbisogno termico e/o frigorifero dell'edificio e compatibile con la potenza ottenibile tramite la PDC;
- La stima e il controllo degli effetti termici dovuti al prelievo e allo smaltimento di calore nel terreno sul breve e sul lungo periodo, per evitare che si verifichi un eccessivo decremento o incremento termico del sottosuolo;
- Il controllo delle temperature del fluido termovettore in modo che la PDC operi dentro un intervallo compatibile con il suo corretto funzionamento.

Per ottenere ciò è indispensabile che i progettisti definiscano l'insieme dei fattori impiantistici e geologici che determinano il corretto funzionamento come visto in fase di progettazione.

Vanno non trascurate l'influenza sul breve periodo dovuta alla richiesta della massima prestazione energetica (picco di potenza) e l'influenza sul lungo periodo (10-20 anni) dovuta alle richieste energetiche distribuite negli anni.

Il fabbisogno energetico dell'edificio è un parametro che va considerato attentamente quanto il carico di picco: a livello di risposta del terreno, è diverso un carico di 10 kW*1500 ore/anno, rispetto a 10kW*3000 ore/anno.

Prefissato il valore di COP del sistema, saranno note le condizioni di lavoro e la quantità di calore da sottrarre al sottosuolo. Ad esempio, prendendo in considerazione un sistema con una PDC con COP pari a 4 e potenza 4 kW, di questi, 3 kW sono di natura geotermica e 1 kW è fornito come energia elettrica di alimentazione.

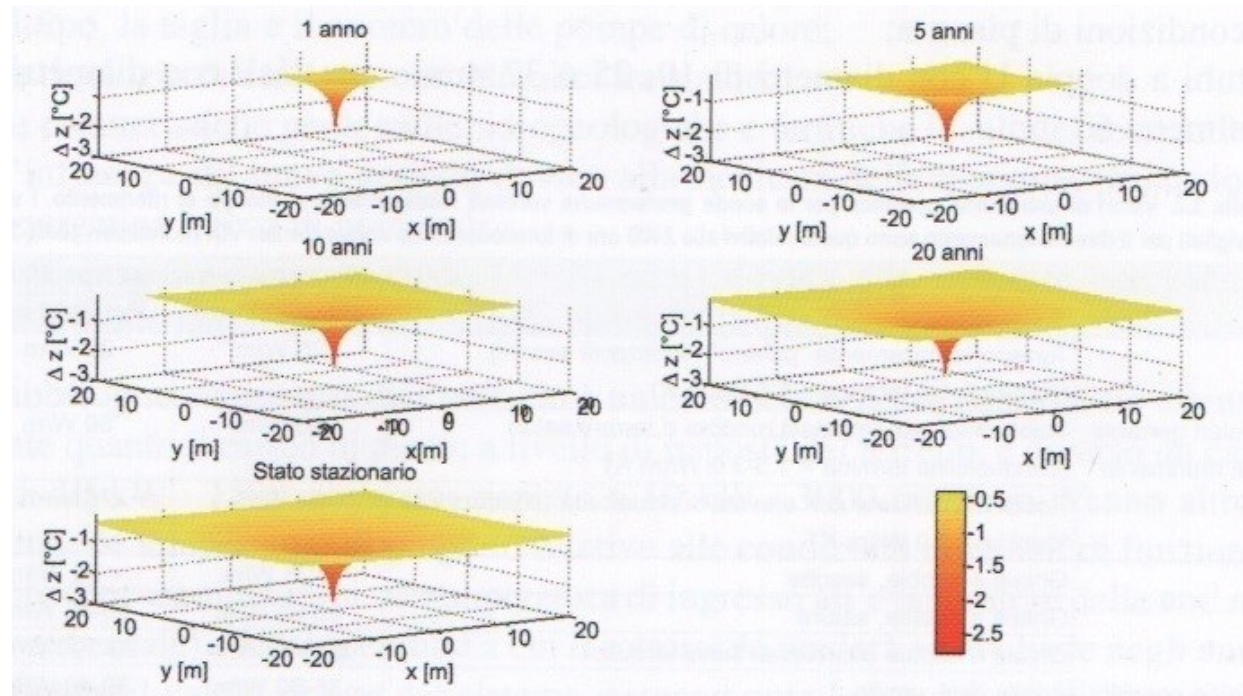
METODO DIMENSIONAMENTO TABELLARE

Nel corso degli anni sono stati messi a punto diversi metodi di dimensionamento basati su criteri tabellari e nomogrammi, modelli analitici e modelli misti analitico-numeric. La scelta del metodo di dimensionamento da utilizzare è funzione della taglia del progetto: la normativa Europea VDI 4640 distingue tra impianti GSHP con potenza inferiore e impianti con potenza superiore a 30 kW, proponendo per i primi metodologie di dimensionamento semplificate basate su criteri tabellari (qui riportata) e su nomogrammi e consigliando per i secondi di ricorrere a calcoli analitici o a software di dimensionamento dedicati.

Sottosuolo		Potenza estrazione specifica	
		Per 1800 ore	Per 2400 ore
Valori generali di riferimento	Terreno termicamente "povero" (sedimenti secchi) (conducibilità termica $< 1.5 \text{ W/(m K)}$)	25 W/m	20 W/m
	Valori medi per ammassi rocciosi o terreni saturi (conducibilità termica $= 1.5\text{-}3.0 \text{ W/(m K)}$)	60 W/m	50 W/m
	Rocce consolidate con elevata conducibilità (conducibilità termica $> 3.0 \text{ W/(m K)}$)	84 W/m	70 W/m
Valori specifici per litotipo	Ghiale e sabbie, secche	$< 25 \text{ W/m}$	$< 20 \text{ W/m}$
	Ghiale e sabbie, sature	65-80 W/m	55-65 W/m
	Ghiale e sabbie con elevati flussi idraulici	80-100 W/m	80-100 W/m
	Argille, limi, umido	35-50 W/m	30-40 W/m
	Calcari massicci	55-70 W/m	45-60 W/m
	Arenarie	65-80 W/m	55-65 W/m
	Graniti	65-85 W/m	55-70 W/m
	Basalti	40-65 W/m	35-55 W/m
	Gneiss	70-85 W/m	60-70 W/m

Si riscontra che un approccio abbastanza diffuso tra i progettisti è quello di considerare una potenza media di estrazione di 50 W/m, indipendentemente dal tipo di terreno in cui gli scambiatori vengono collocati. Si sottolinea che questa assunzione è un cosiddetto *falso mito* che può portare ad errori anche significativi. La potenza di estrazione, infatti, è funzione di molti parametri come la temperatura indisturbata del terreno, la temperatura in ingresso alla pompa di calore e la conducibilità termica del terreno. Ad esempio, si può dimostrare che una variazione di 1°C della temperatura del fluido in entrata alla pompa di calore può produrre differenze anche maggiori del 10% sulla potenza d'estrazione.

METODO DIMENSIONAMENTO TABELLARE



Il processo di trasferimento del calore attorno ad uno scambiatore verticale coinvolge una molteplicità di fattori, come le proprietà termiche del sottosuolo, la circolazione idrica sotterranea e i carichi termici di un edificio per periodi di diversi anni. Il trasferimento di calore rappresenta quindi un fenomeno complesso, da trattare in maniera transitoria (figura).

La conducibilità termica influenza la forma del cono termico che si forma in prossimità delle sonde verticali: per valori bassi il cono sarà ristretto, ma l'abbassamento di temperatura sarà più importante.

METODO DIMENSIONAMENTO ANALITICO ASHRAE

Una delle metodologie analitiche più affidabili per il dimensionamento di sonde verticali è quella proposta dall'ASHRAE e implementata da Kavanaugh e Rafferty (1997).

Vengono definite due equazioni che permettono di ricavare rispettivamente una lunghezza complessiva di sonde relativa al riscaldamento e al raffreddamento:

$$L_c = \frac{q_a R_a + (q_{pc} - W_c) * (R_b + FCP_{mc} * R_m + R_g * F_{sc})}{T_s - \frac{T_{f\ in} + T_{f\ out}}{2} - T_p} \quad ; \quad L_f = \frac{q_a R_a + (q_{pf} - W_f) * (R_b + FCP_{mf} * R_m + R_g * F_{sc})}{T_s - \frac{T_{f\ in} + T_{f\ out}}{2} - T_p}$$

La lunghezza totale delle sonde da installare corrisponde alla maggiore delle due risultanti tra il riscaldamento e il raffreddamento. Nel caso in cui, ad esempio, il fabbisogno frigorifero estivo prevalga nettamente su quello termico invernale, un'opzione è quella di dimensionare secondo il carico richiesto per il riscaldamento e di compensare il sottodimensionamento estivo avvalendosi di un sistema ausiliario (ad esempio refrigeratori condensati ad aria). Scelta che permetterebbe di equilibrare nel sottosuolo gli input ed output termici.

Nelle due equazioni il processo di trasferimento del calore viene analizzato in due regioni separate: una è la regione di terreno/roccia attorno al pozzo, l'altra è la porzione interna al pozzo contenente il materiale di riempimento, le sonde verticali e il fluido termovettore. Per queste ragioni vengono calcolate due tipi di resistenze termiche, rispettivamente: una associata agli impulsi temporali di calore nel terreno (*resistenza del terreno*) e una riferita alla resistenza cumulativa del fluido termovettore, dei tubi e del materiale di riempimento del pozzo (*resistenza di pozzo*). Nella prima regione il processo di trasferimento viene trattato come transitorio, mentre nella seconda, per semplicità, può esser considerato come stazionario. La resistenza termica del terreno per unità di lunghezza è calcolata in funzione del periodo di tempo in cui un particolare impulso di calore viene applicato.

Ove L_c e L_f sono le lunghezze totali di perforazione necessarie rispettivamente per riscaldamento invernale e raffreddamento estivo

q_a = flusso termico medio annuale (W) scambiato dalle sonde col terreno

q_{pc} e q_{pf} = carichi di progetto necessari per riscaldare e per raffreddare

FCP_{mc} e FCP_{mf} = fattore di carico parziale mensile durante il mese di progetto in riscaldamento e in raffreddamento

W_c e W_f = potenze elettriche assorbite dal compressore

T_s = temperatura (°C) del suolo indisturbato;

T_p = temperatura (°C) di penalizzazione determinata dal disturbo termico reciproco di scambiatori presenti in un campo sonde

$T_{f\ in}$ e $T_{f\ out}$ = temperature (°C) del fluido in ingresso e in uscita alla PDC lato sonde

R_a = resistenza termica del terreno ((m·K)/W) dovuta ad un impulso termico annuale

R_m = resistenza termica del terreno ((m·K)/W) dovuta ad un impulso termico mensile

R_g = resistenza termica del terreno ((m·K)/W) dovuta ad un impulso termico giornaliero

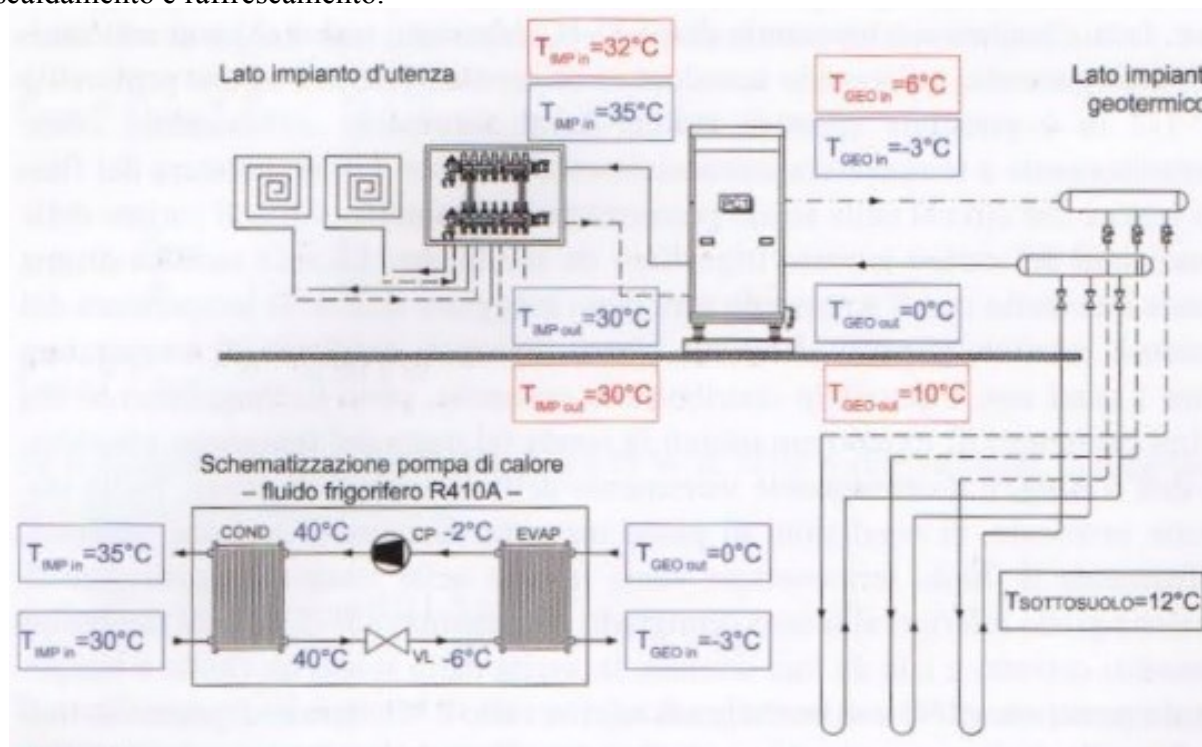
R_b = resistenza termica del pozzo ((m·K)/W) dovuta ad un impulso termico annuale

F_{sc} = fattore di cortocircuito (-) dovuto all'interferenza termica tra lo stelo in andata e in ritorno.

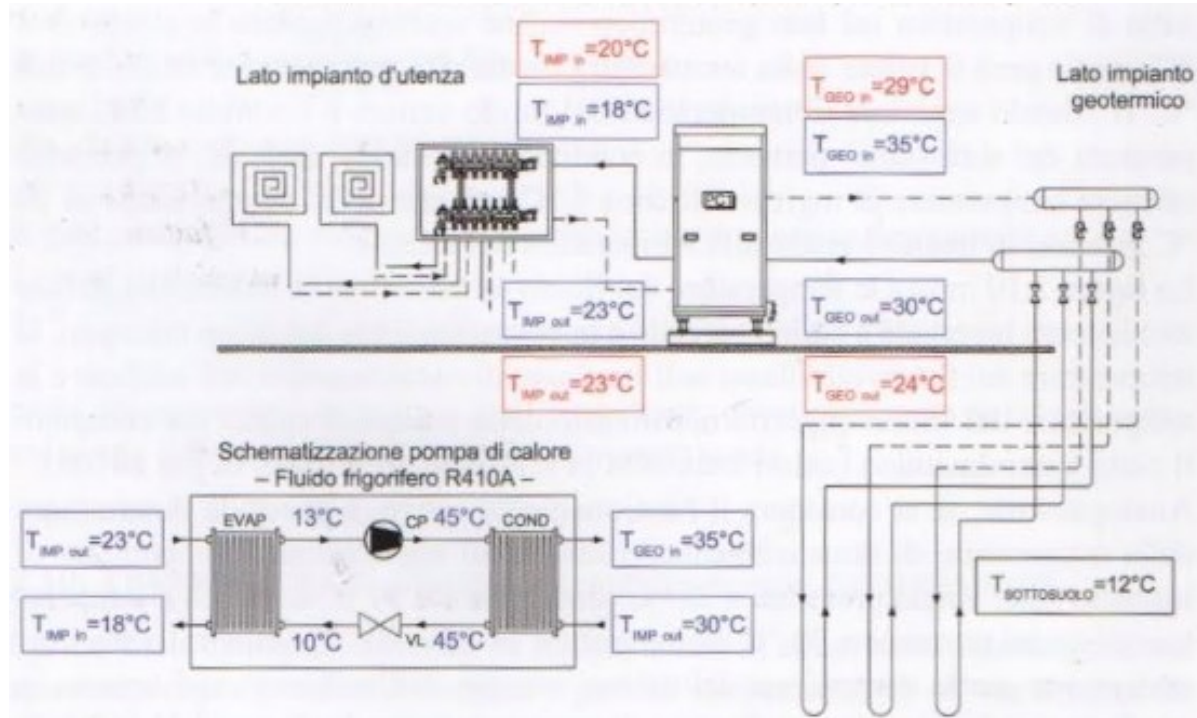
METODO DIMENSIONAMENTO ANALITICO ASHRAE

Un parametro sensibile che viene considerato nel metodo ASHRAE è quello della temperatura del fluido di ingresso ($T_{f, in}$) e uscita ($T_{f, out}$) alla PDC. La selezione della temperatura del fluido all'ingresso della PDC è critica nel processo di dimensionamento, dipendendo essenzialmente dalla temperatura indisturbata del terreno e dalle caratteristiche della pompa di calore. La scelta di un valore prossimo a quello del terreno indisturbato comporta un'elevata efficienza del sistema, che però può richiedere una lunghezza di tubi scambiatori eccessivamente elevata, con una notevole incidenza sui costi. Al contrario, la scelta di un valore di temperatura molto diverso da quello del terreno indisturbato può risultare in scambiatori di minima lunghezza, ma con ridotta capacità di riscaldamento e in raffreddamento.

Gli scambiatori vanno dimensionati in maniera tale da rientrare nell'intervallo di funzionalità ottimale della macchina. Come regola generale, Kavanagh e Rafferty (1997) suggeriscono di selezionare intervalli di temperature di ingresso alla PDC di circa 5-11°C inferiore e di circa 11-17°C superiore alla temperatura indisturbata del terreno, rispettivamente per la modalità riscaldamento e raffreddamento.



METODO DIMENSIONAMENTO ANALITICO ASHRAE



Il calore trasferito dalle sonde geotermiche al terreno muta in relazione alle variazioni dei carichi termici dell'edificio climatizzato. Conseguentemente, la temperatura del terreno varia per effetto dell'estrazione/immissione dell'energia nel terreno. Se il calore estratto dal terreno in inverno viene compensato con il calore immesso in estate, la temperatura media di riferimento attorno allo scambiatore di calore cambierà poco e quindi l'efficienza delle sonde geotermiche non decadrà durante l'esercizio prolungato negli anni. Al contrario, se il calore estratto in inverno non viene bilanciato dal calore immesso in estate, si avrà un abbassamento delle temperature nell'introno dello scambiatore. In assenza di falde acquifere, uno sbilanciamento tra l'energia annuale sottratta e immessa nel terreno comporta la formazione di un *imbuto termico* (figura imbuto termico).

Se lo sbilanciamento termico permane, tale imbuto tende a crescere nel tempo fino a stabilizzarsi dopo diversi anni (10 anni o anche di più, a seconda della profondità del pozzo). Sbilanciamenti termici prolungati maggiori di $\pm 2^\circ\text{C}$ sono da evitare per preservare l'efficienza dello scambiatore.

- Lo sfruttamento della geotermia a bassa entalpia, in un bilancio energetico nel sistema Terra-Ambiente, risulta nettamente meno impattante rispetto ai sistemi a entalpia più elevata. Questi ultimi prelevano energia ad un livello più elevato ai fini di un utilizzo indiretto quale la produzione di energia elettrica, ma operano a rendimenti tuttavia bassi vista la comunque non elevata qualità (temperatura della sorgente) dell'energia prelevata e immettono in ambiente gran parte del calore non convertito in potenza o direttamente o tramite la condensazione a fine espansione.
- Il dimensionamento della stessa macchina GSHP è sostenibile perché accompagna il fabbisogno dell'edificio da riscaldare e rende così l'applicabilità del sistema estendibile senza eccessive limitazioni.
- Direzionandoci sempre più verso l'elettrificazione delle utenze finali, necessiteremo quindi di sistemi di climatizzazione degli edifici alimentati ad EE e ad alto rendimento. Da qui, l'utilizzo di un sistema GSHP, in questo caso GCHP, crea il netto vantaggio rispetto alle pompe di calore ad aria proprio per la disponibilità per il primo di una sorgente/serbatoio caratterizzata/o da una temperatura pressoché costante nel tempo. Considerando le oscillazioni termiche stagionali dell'aria si otterrebbero comportamenti prestazionali energetici medi peggiori per le pompe di calore ad aria rispetto ai sistemi GSHP.
- Infine, la piena sostenibilità nei confronti del sottosuolo avviene tramite la compensazione di energia estratta e immessa. Ad esempio, nel caso invernale: effettuando lo scambio termico con il fluido esterno, il terreno va raffreddandosi, questo processo può essere invertito durante l'estate facendo circolare nei tubi acqua più calda derivante dai processi di raffrescamento. Infatti, il terreno può venire utilizzato come serbatoio di stoccaggio di energia termica durante i mesi caldi e questa energia verrà poi rilasciata nei mesi freddi. Nello scambio col suolo diventa quindi preponderante la capacità termica del terreno e l'energia che deriva da essa, cercando quindi di preservarla. Nel caso in cui l'esigenza di raffrescamento non sia particolarmente elevata, si può pensare di usare la sola ΔT del terreno per ottenere la T richiesta, con un abbattimento dei costi di esercizio: si parla in questo caso di freecooling. Una maggior sostenibilità risiede quindi nel Geoscambio.