

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'energia

Relazione per la prova finale
«Lo scambiatore aria-terreno per la
ventilazione negli edifici»

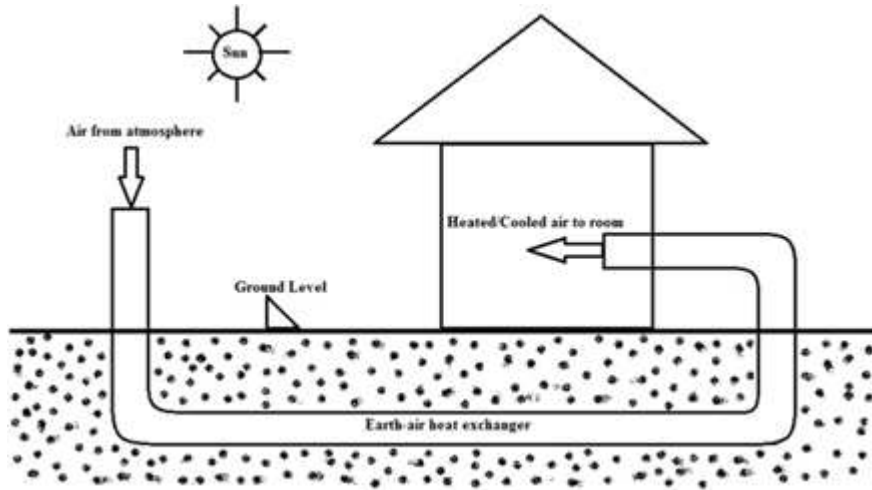
Tutor universitario:

Prof. Angelo Zarrella

Laureando:

Nicolò Ormenese

Padova, 07/11/2024



Lo scambiatore aria-terreno pone le sue basi sulla differenza di temperatura che si riscontra tra l'ambiente esterno e il terreno a una data profondità.

A seconda della tipologia del terreno e alle condizioni a cui si vuole ottenere l'aria al termine del percorso si può optare per soluzioni:

- A circuito aperto;
- A circuito chiuso;
- A singolo tubo;
- Soluzioni multi-tubo con diverse modalità di collegamento reciproche.

Per la valutazione dell'efficacia dei sistemi si valuta il bilancio termico dell'aria. Definita la massa d'aria che percorre il sistema come $\dot{m} = \rho AV = \rho \pi R^2 V$ si valutano i diversi fattori che influenzano lo scambio come umidità dell'aria e conformazione e tipologia del terreno.

Considerando la più generale delle ipotesi, il bilancio energetico risulta $\dot{m} c_p \frac{dT}{dt} = \Delta \dot{Q}$ in cui vanno inseriti tutti i componenti che ne prendono parte. Al termine delle valutazioni lo scambio risulta:

$$\dot{Q} = \frac{1}{\frac{1}{h_i S A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_{tubo o} + r_{tubo i}}{2 r_{tubo i}}\right)}{2\pi L_{air} \lambda_{tubo}}} (T_{tubo} - T_{air}) = \frac{1}{R_{air} + R_{wall}} (T_{tubo} - T_{air}).$$

L'obiettivo del lavoro è valutare la possibilità di guadagno in termini di risparmio energetico ed economico nell'utilizzo dello scambiatore aria-terreno.

Valutare il comportamento dello scambiatore al variare di dati di input fondamentali come condizioni climatiche e scelte diverse di materiali per la realizzazione.

Valutare il modello economico in funzione del ROI (*Return of investment*) per un'accurata stima sulla convenienza dell'investimento sul medio-lungo periodo.

Valutando simulazioni e casi reali in località con situazioni climatiche molto diverse in fase estiva si può dedurre che:

- Il materiale con cui sono costruiti le tubazioni che compongono lo scambiatore è trascurabile rispetto alle altre variabili che prendono parte al sistema;
- La lunghezza delle tubazioni ha una forte influenza sull'efficacia del sistema fino al raggiungimento di un punto di flesso dello scambio dovuto all'avvicinarsi della temperatura dell'aria che percorre le tubazioni e il terreno;
- La profondità di posa deve essere valutata come ottimizzazione del rapporto tra beneficio energetico ed economico. Pose più profonde hanno temperature più stabili del terreno ma costi più elevati;
- Climi più miti sono più favorevoli in quanto il terreno subisce meno l'influenza del ambiente esterno mantenendosi più vicina alla sua temperatura indisturbata;
- La velocità dell'aria influisce in maniera inversamente proporzionale sull'efficacia del sistema;
- L'abbinamento del sistema alla deumidificazione permette di ottenere aria in ambiente con temperatura inferiore a quella indisturbata del terreno.

Dallo studio dell'utilizzo dello scambiatore aria terreno in condizioni invernali si può dedurre che:

- Anche nel caso invernale il materiale delle tubazioni risulta trascurabile, mentre la velocità di percorrenza, la lunghezza del sistema e la composizione del terreno hanno un ruolo fondamentale;
- La scelta della profondità di posa necessita una valutazione che si basi anche sulla possibilità che il terreno ghiacci a basse profondità. In questo caso sarà preferibile costruire un sistema a doppio strato rispetto a un'installazione più profonda per ottimizzare i costi;
- Nelle zone fortemente urbanizzate, è stata modificata la struttura del terreno ottenendo come risultato una temperatura indisturbata più elevata. Infatti, si ha un effetto apprezzabile del sistema per un periodo molto più lungo;
- A differenza dello studio nel periodo estivo, la saturazione dell'aria all'interno della tubazione gioca a favore del sistema permettendo un preriscaldamento più efficace e temperatura in uscita più elevate.

Un primo modello economico è ottenibile andando a definire il periodo di *payback* «*b*» considerando anche aspetti esterni all'impianto

$$b = \begin{cases} \frac{\ln[1 - (\frac{d-1}{1+i}) \frac{C_n}{A_s}]}{\ln(\frac{1+i}{1+d})} & \text{se } i \neq d \\ (1+i) \frac{C_n}{A_s} & \text{se } i = d \end{cases}$$

Risulta evidente che i fattori su cui si potrebbe intervenire sono il costo dell'investimento iniziale C_n e il risparmio annuale A_s , mentre i valori fissati dal mercato sono l'inflazione i e il tasso di sconto del mercato d .

Si può dedurre che terreni più lavorabili e materiali più economici influiscano positivamente sul periodo di *payback*

		Saving in summer conditions (€)	Saving in winter conditions (€)	System extra-cost (€)	Payback (years)	Component costs	%
1	Naples	633.9	–	3513	5.5	Solution 1:	
	Rome	720.1	–		4.9	Ground moving	50
	Milan	659.3	120.1		4.5	Earth tube	50
2	Naples	633.9	–	5771	9.1	Solution 2:	
	Rome	720.1	–		8.0	Ground moving	69
	Milan	659.3	120.1		7.4	Earth tube	31
3	Naples	633.9	–	17809	28.1	Solution 3:	
	Rome	720.1	–		24.7	Ground moving	90
	Milan	659.3	120.1		22.8	Earth tube	10
4	Naples	633.9	–	12495	19.7	Solution 4:	
	Rome	720.1	–		17.4	Ground moving	14
	Milan	659.3	120.1		16.0	Earth tube	86

In tabella sono evidenziati degli esempi in cui vengono usati tubi in PVC nei casi 1, 2 e 3 e tubo in metallo nel caso 4 in soluzioni con terreno di composizione diversa, con i casi 1 e 4 che presentano terreno slegato, il caso 2 con roccia tenera e, infine, roccia dura nel caso 3.

Il metodo principale per valutare l'efficacia energetica del sistema risulta andarne a valutare il coefficiente di performance definito come

$$COP = \frac{Q}{W}$$

In cui si pone al denominatore il consumo di energia elettrica necessaria ad alimentare il ventilatore che insuffla l'aria all'interno delle tubazioni e, successivamente, nell'ambiente.

Al numeratore viene posta la potenza termica che il sistema riesce a generare e portare all'interno dell'ambiente da climatizzare.

Posto il c_p dell'aria pari a 1005 J/KgK, definisco la potenza Q come:

$$Q = \begin{cases} \dot{m}c_p(T_{in} - T_{out}) & \text{per l'estate} \\ \dot{m}c_p(T_{out} - T_{in}) & \text{per l'inverno} \end{cases}$$

Di interesse ancora maggiore è il dato relativo alle valutazioni sulla priorità di installazione in base alla richiesta energetica necessaria per raffrescare *Cooling Degree Hours (CDH)* e per riscaldare *Heating Degree Hours (HDH)*.

▼heating		▼Applicability of EAHX [%] - percentage of reduction				
		< 10%	10%-25%	25%-50%	50%-75%	> 75%
Intensity need (HDH)	< 7,5k	Null	Null	Null	Null	VL
	7,5-12,5k	VL	VL	VL	L	L
	12,5-27,50k	VL	VL	L	M	H
	27,5-50k	VL	L	M	H	VH
	50k-80k	L	M	H	VH	VH
	>80k	L	H	VH	VH	VH
▼cooling						
Intensity need (CDH)	< 1k	Null	Null	Null	Null	VL
	1,0-2,5k	VL	VL	VL	L	L
	2,5-7,50k	VL	VL	L	M	H
	7,5-17,5k	VL	L	M	H	VH
	17,5k-32,5k	L	M	H	VH	VH
	>32,5k	L	H	VH	VH	VH

L'ultimo dato di interesse risulta l'uniformità di resa delle diverse tipologie di conformazione dei sistemi con posa multi-tubo, con differenze dovute alla conformazione e alle connessione diverse tra i vari livelli.

Type	Z-type	U-type	L-type	I-type
Heat transfer rate (W)	485.57	512.48	513.88	537.82
Temperature extraction efficiency θ	0.19	0.20	0.23	0.21
Pressure drop (Pa)	1053.21	800.49	73.05	50.92

Si è valutato che lo scambiatore aria-terreno necessita di condizioni climatiche favorevoli per diventare un vantaggio dal punto di vista sia economico che energetico.

Nel caso di climi molto miti è evidente la necessità di installare un sistema di by-pass per non consumare una grande quantità di energia per azionare i ventilatori a fronte di uno scarso guadagno energetico dato che l'aria scambierebbe una bassa quantità di calore.

Questo tipo di impianto, se affiancato da una progettazione ottimale per massimizzarne i guadagni, risulta molto più efficace se affiancato a situazioni ZEB (*Zero Energy Buildings*) o, addirittura, nZEB (*net Zero Energy Buildings*).

Il sistema dipende comunque da una serie di fattori esterni come le condizioni dell'ambiente esterno, la composizione del terreno e le sue caratteristiche.

A livello progettuale andrà ottimizzato l'investimento rispetto alle possibilità di guadagno energetico-economico. La scelta della tipologia di disposizione dei tubi e il materiale scelto per la realizzazione hanno un ruolo fondamentale, mentre i costi per lavorare il terreno dipendono dalla tipologia dello stesso risultando un parametro non modificabile.