

SCAMBIATORI DI CALORE A TERRENO

ing. Giuseppe Starace, phd

Professore aggregato di Fisica tecnica e Tecnica del Freddo
Ricercatore di Fisica Tecnica Ambientale (ING-IND/11)



UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione
CREA – Centro Ricerche Energia e Ambiente



ordine degli ingegneri
della provincia di bari



Collegio Provinciale
Geometri e Geometri Laureati
di Bari



LEGEND



- 1. Descrizione della tecnologia della pompa di calore geotermica e dei suoi vantaggi**
- 2. Tipologie di scambiatori di calore a terreno**
- 3. Studi numerici sui parametri di installazione, funzionamento degli scambiatori di calore orizzontali a terreno, analisi di sensibilita' e indicazioni scelte progettuali**

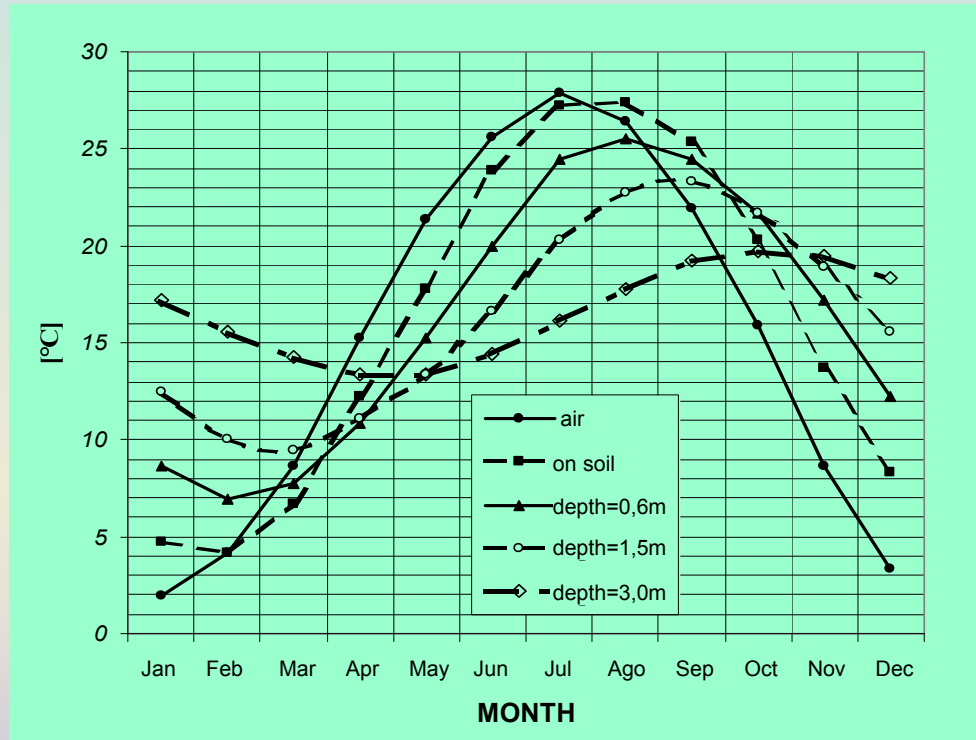
CLASSIFICAZIONE DELLE POMPE DI CALORE GEOTERMICHE



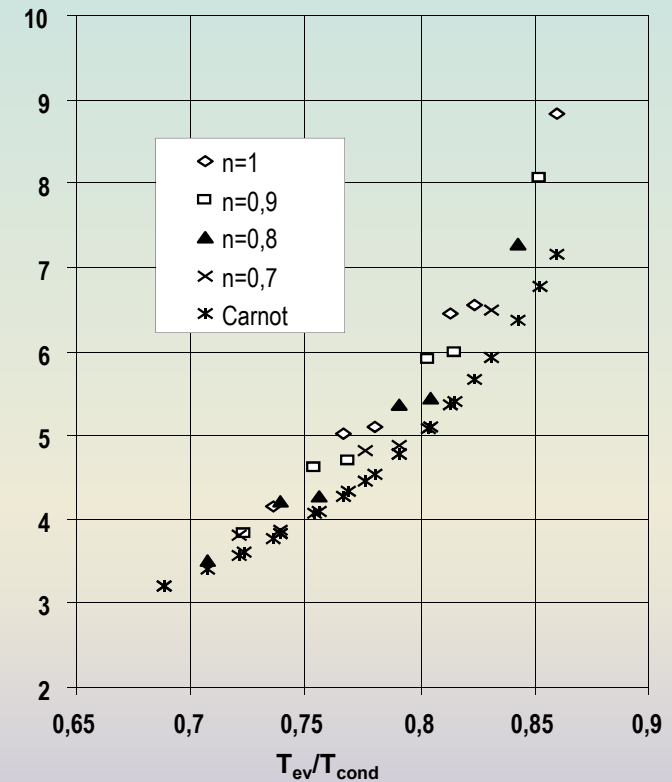
- 1. Ground-Coupled Heat Pumps – GCHPs**
Pompe di calore accoppiate direttamente a terreno tramite appositi scambiatori di calore geotermici;
 - 2. Ground Water Heat Pumps – GWHPs**
Pompe di calore accoppiate con acqua di falda attraverso pozzi di emungimento e di reimmissione;
 - 3. Surface Water Heat Pumps – SWHPs**
Pompe di calore termicamente accoppiate con corpi idrici superficiali a circuito aperto o chiuso con scambiatori immersi.
-

L'OPPORTUNITA' GEOTERMICA

Trend di temperatura nel tempo per l'aria ambiente e per il suolo a differenti profondità

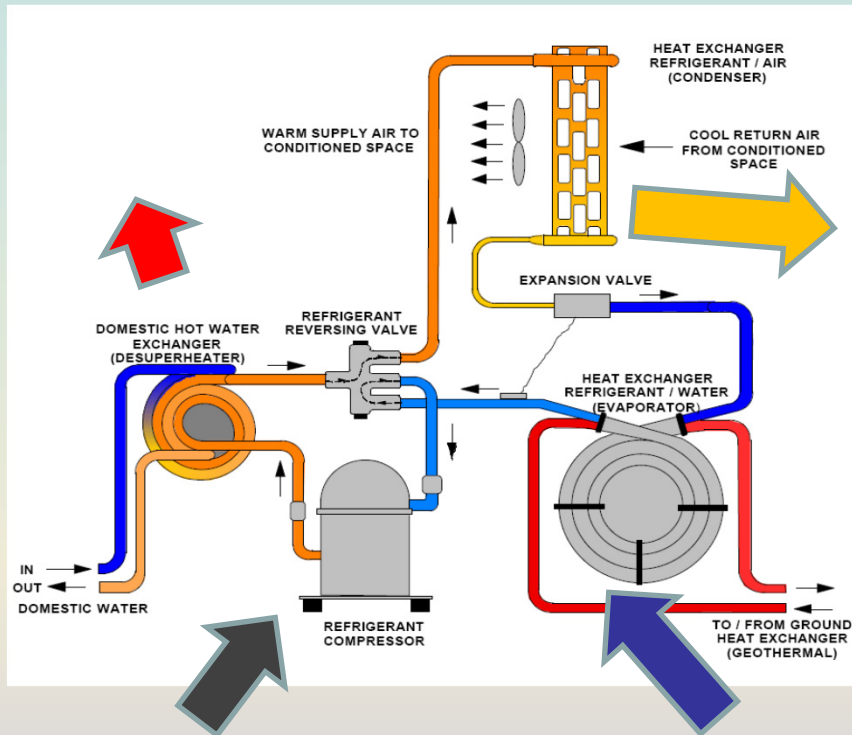


COP Pdc - R22

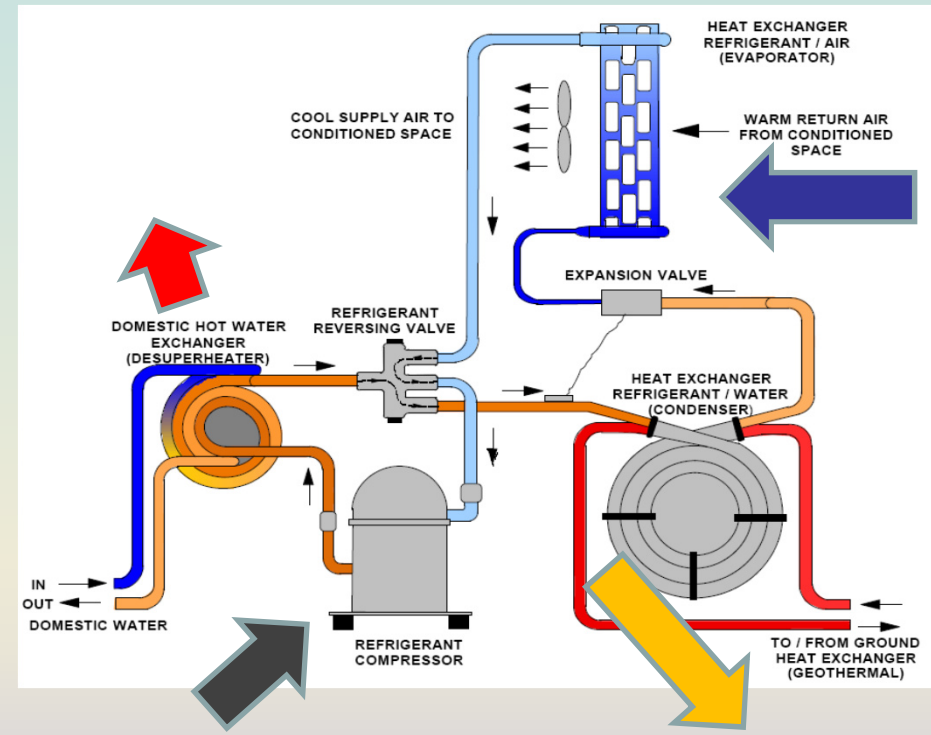


- La terra costituisce una fonte di energia a temperatura pressoché costante.
- La terra è un serbatoio di energia termica: una sorgente in inverno e un pozzo in estate.
- Trivellare pozzi o scavare trincee nel suolo è pratica tecnica comune.

LA POMPA DI CALORE GEOTERMICA

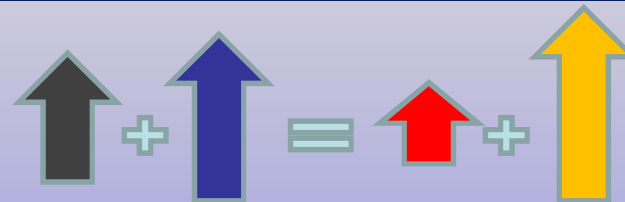


RISCALDAMENTO



RAFFRESCAMENTO

BILANCIO ENERGETICO



Vantaggi delle Pompe di calore geotermiche

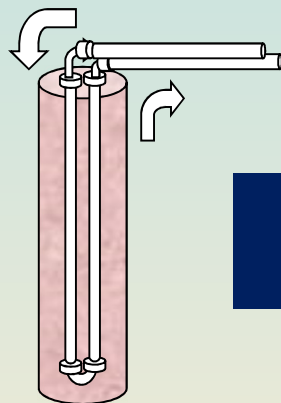


- **Bassi consumi di energia e costi generali di funzionamento ridotti.**
- **Emissioni di gas serra significativamente ridotti.**
- **Elevata affidabilità e ridotta manutenzione.**
- **Compattezza delle macchine e delle centrali termiche.**
- **Migliore estetica esterna e ridotto impatto visivo, (la necessità di unità esterne o di torri evaporative).**
- **Riduzione delle emissioni acustiche.**

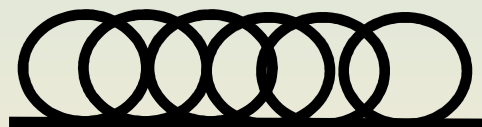
Tipologie di Scambiatori a terreno per GHPs



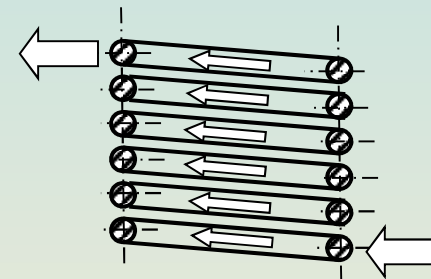
Scambiatori verticali (ad U, singola o doppia)



Slinky (scambiatori a spirale)

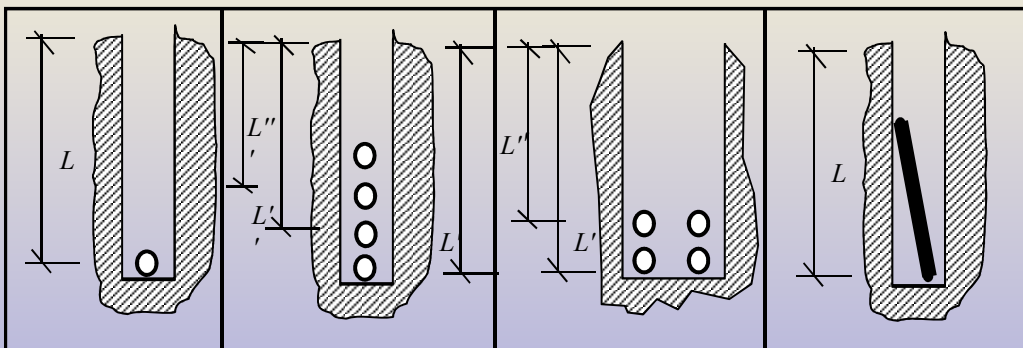


Eliche (vert. o orizz.)



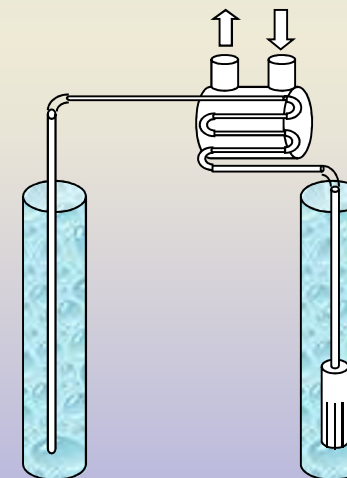
Circuito chiuso

Scambiatori orizzontali (sez. trasv.)

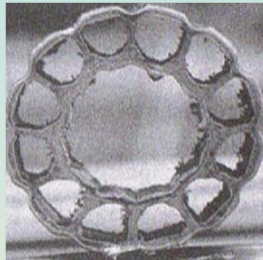


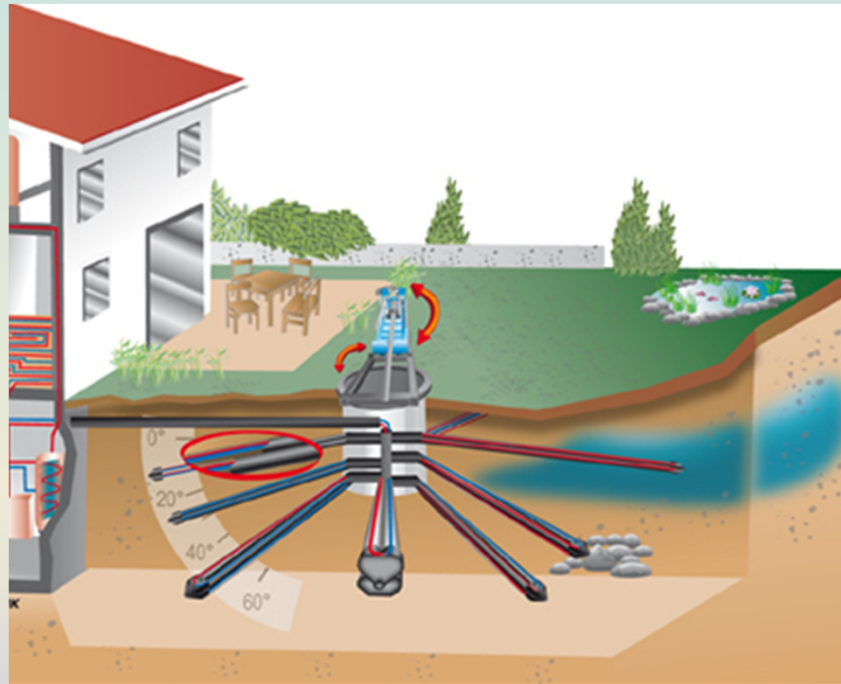
Ad acqua di falda

Circuito aperto



Scambiatori di calore a terreno per GHPs





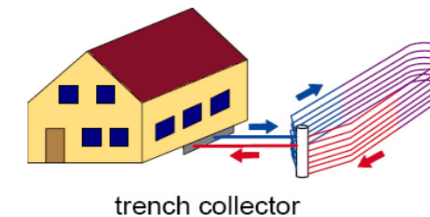
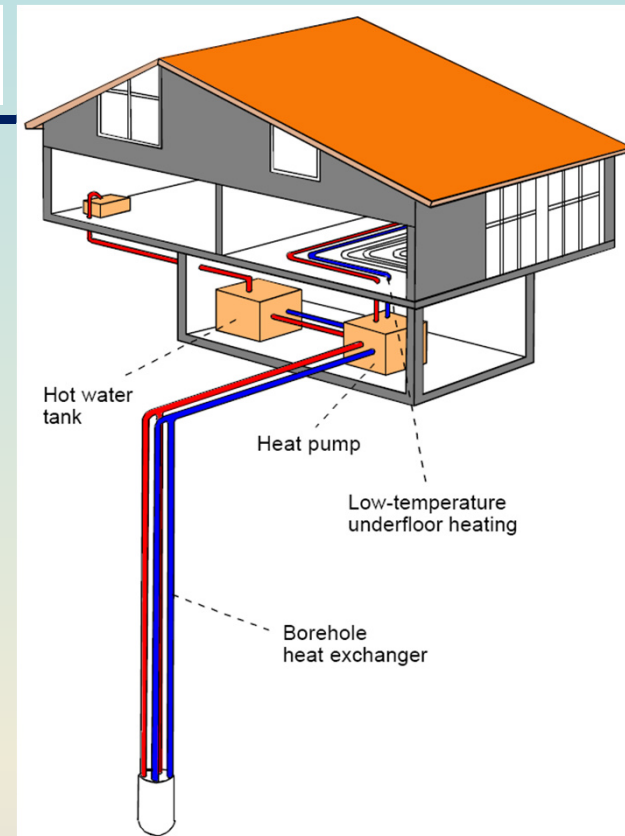
Pozzi radiali ad angoli differenti per lo sfruttamento massimo del volume di terreno coinvolto nello scambio termico



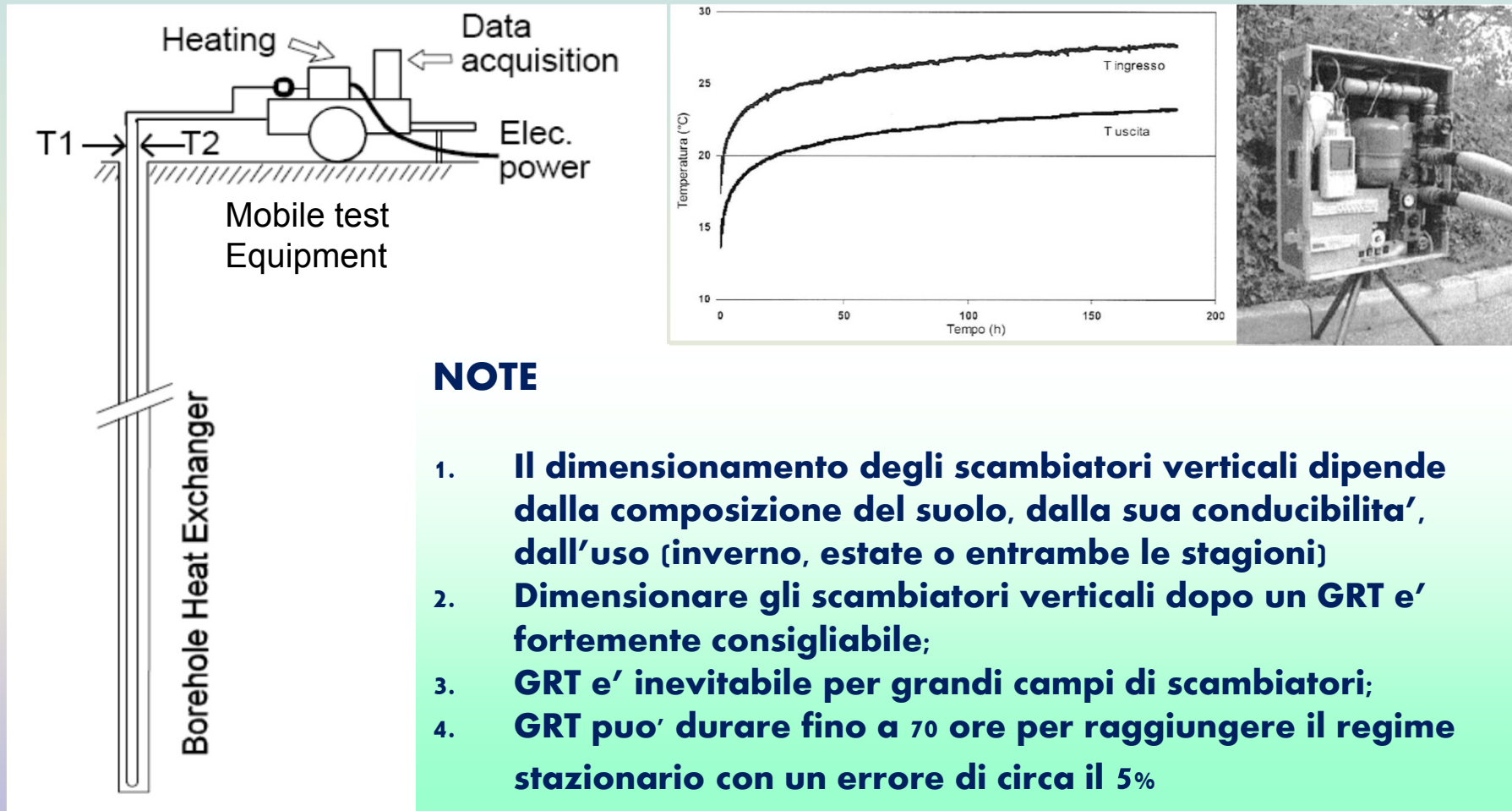
Tracto Technik - Germania

PROBLEMI PROGETTUALI

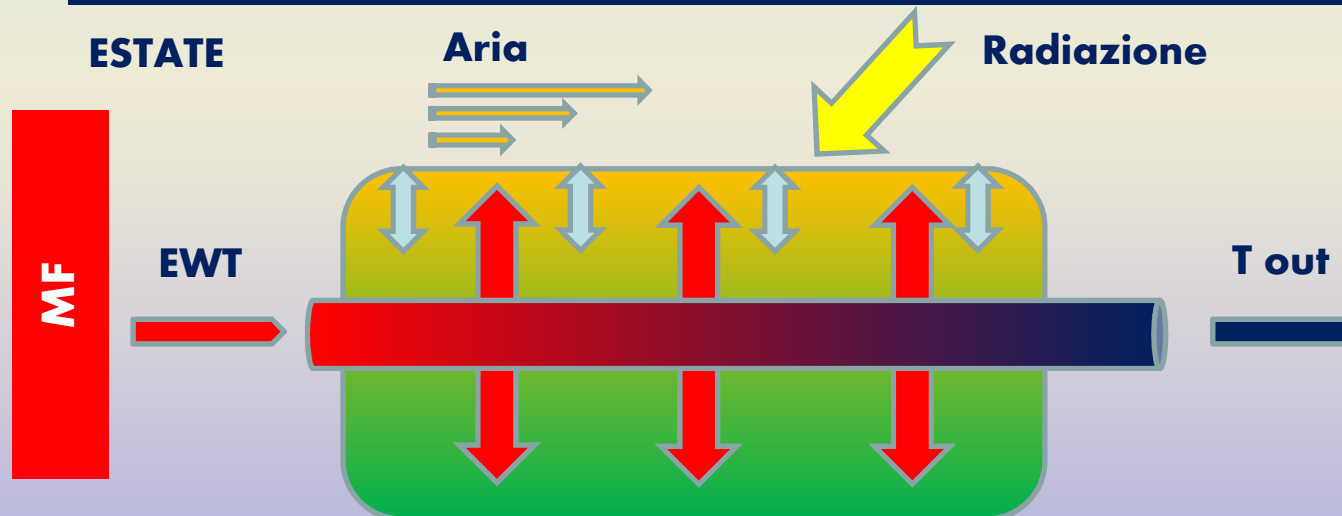
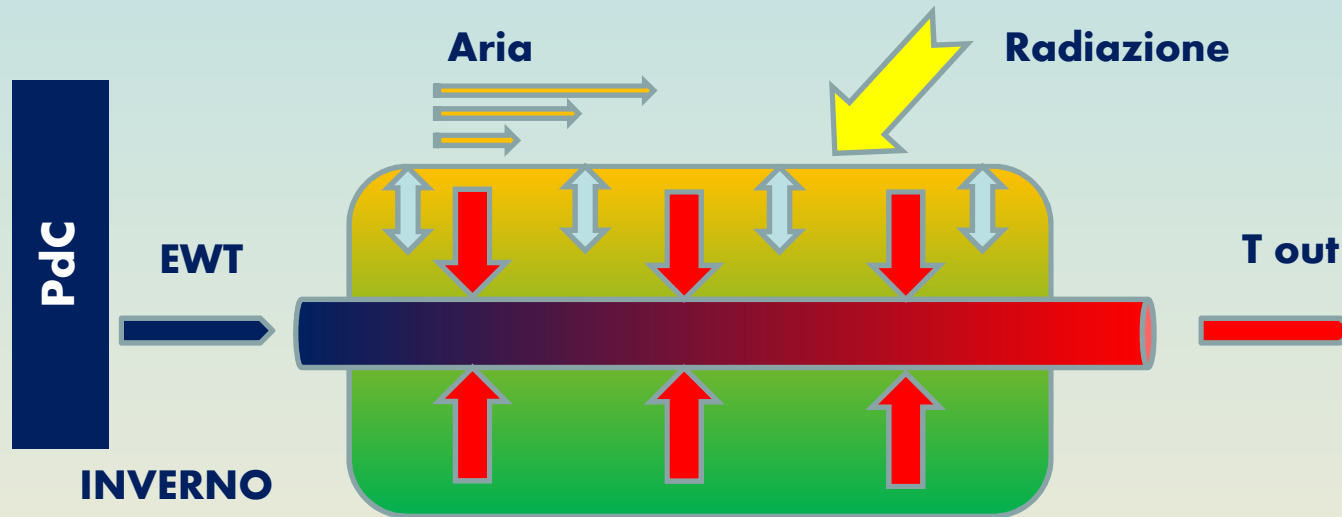
1. Bilanciamento tra circuiti paralleli;
2. Scelta del diametro dei tubi: compromesso tra perdite di carico, costi di pompaggio e di installazione, difficoltà di posa.
3. Rimozione aria in presenza di disposizioni idrauliche complesse.
4. Quantità di fluido e di antigelo ;
5. Potenziale di scambio termico dipendente dalla disponibilità di spazio intorno all'edificio.
6. Scelta del giusto materiale di riempimento dei pozzi per assicurare una migliore conducibilità a terreno



Ground Response Test (GRT)



IL SISTEMA SCAMBIATORE DI CALORE



CONDIZIONE DI SCAMBIO TERMICO COMPLESSA

- Irraggiamento solare;
- Convezione con aria ambiente;
- Conduzione a terreno;
- Interazione termica con la tubazione;
- Campo termico variabile con la profondità e con il tempo

1. **Le condizioni al contorno sono basate su dati sperimentali o su semplificazioni consentite dall'analisi teorica.**
2. **La simulazione e' in regime non stazionario.**
3. **Vengono simulati almeno due anni consecutivi prima di rilevare i risultati cosi' da evidenziare l'accumulo di energia termica per il primo anno;**
4. **La simulazione e' 3D**

Le simulazioni sono condotte per scambiatori orizzontali per l'indagine sulla loro utilizzabilita' e convenienza in termini prestazionali di scambio termico

Le simulazioni sono state condotte con FLUENT.

- **Comportamento di piu' geometrie di scambiatori (lineare, Slinky e ad elica con asse orizzontale) in dipendenza delle caratteristiche del suolo e delle condizioni di lavoro.**
- **L'analisi 2D condotta per validare le condizioni al contorno e' stata svolta su di un rettangolo di 1m x 6.9m [lunghezza x profondita'].**
- **L'analisi 3D per la soluzione dei campi termici e' stata condotta su di un parallelepipedo di 1m x 0.5m x 2m [lunghezza x larghezza x profondita'] ipotizzando una tubazione di diametro pari a 0.05m di polietilene (PE) a una profondita' di 2m, lunghezza pari a 1m and spessore di 2mm.**

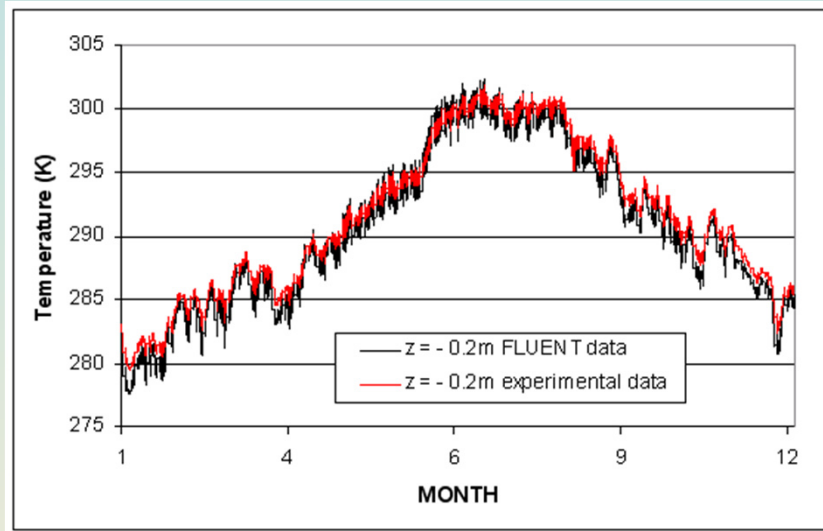
DATI SPERIMENTALI PER LE SIMULAZIONI



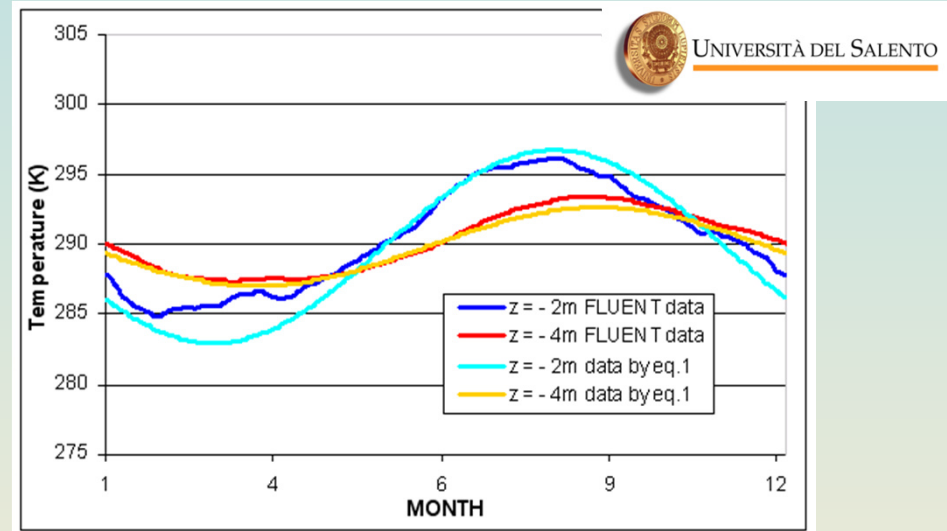
I dati climatici disponibili sono :

- **Temperatura e velocità dell'aria**
- **Temperatura del suolo a due profondità (0.1 e 0.2 m)**
- **Irradiazione solare (anno 2002).**
- **I dati erano mediati ora per ora ed erano registrati da una stazione di rilevamento automatico, posta a Lecce, alle coordinate:**
 - **Latitudine $40^{\circ}26'16''$ Nord**
 - **Longitudine $18^{\circ}14'42''$ Est.**

Comportamento termico del suolo e condizioni al contorno



Le condizioni al contorno ricalcano i valori sperimentali



L'Eq.(1) puo' essere utilizzata con accuratezza sufficiente a profondita' non inferiori a un metro.

$$T(z,t) = T_M + a \cdot e^{-z \sqrt{\frac{\omega}{2D_T}}} \sin\left(\omega t - z \sqrt{\frac{\omega}{2D_T}} + b\right) \quad \text{Eq.(1)}$$

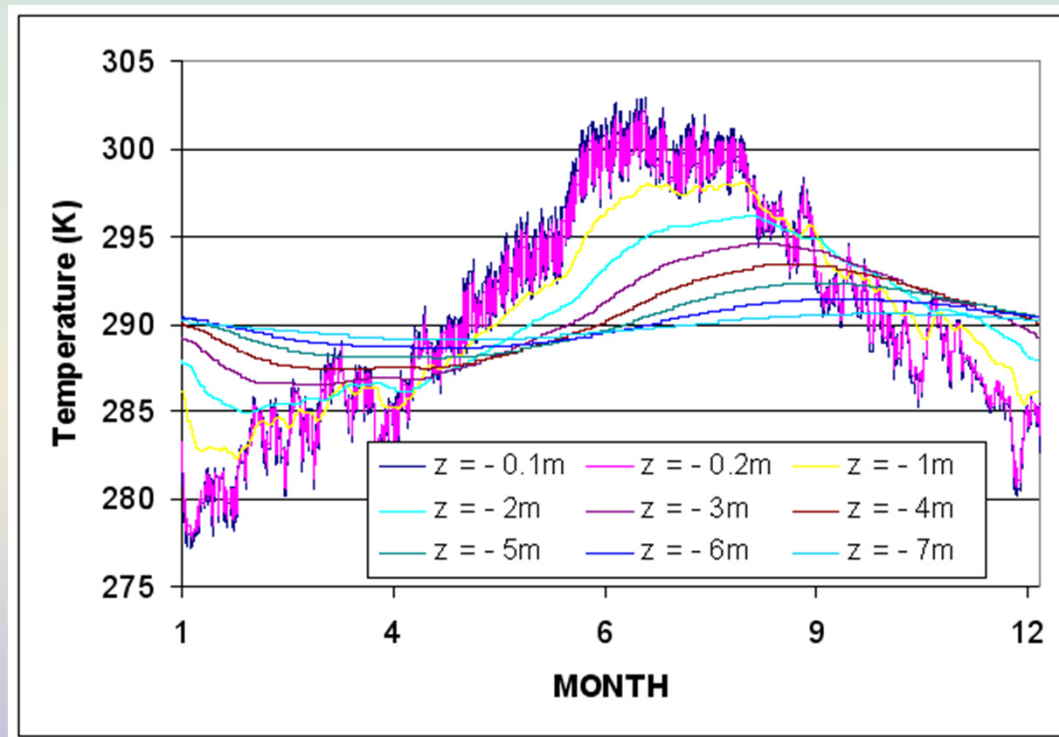
$$\omega = 2\pi / \tau$$

$$b = (\tau - 4t_M)\pi / 2\tau$$

- a** Semiampiezza della differenza massima di temperatura sul suolo
- b** Costante di fase
- D_T** Diffusivita' termica del terreno
- T_M** Temperatura media del periodo di riferimento
- t_M** Tempo necessario per raggiungere la temperatura massima in superficie

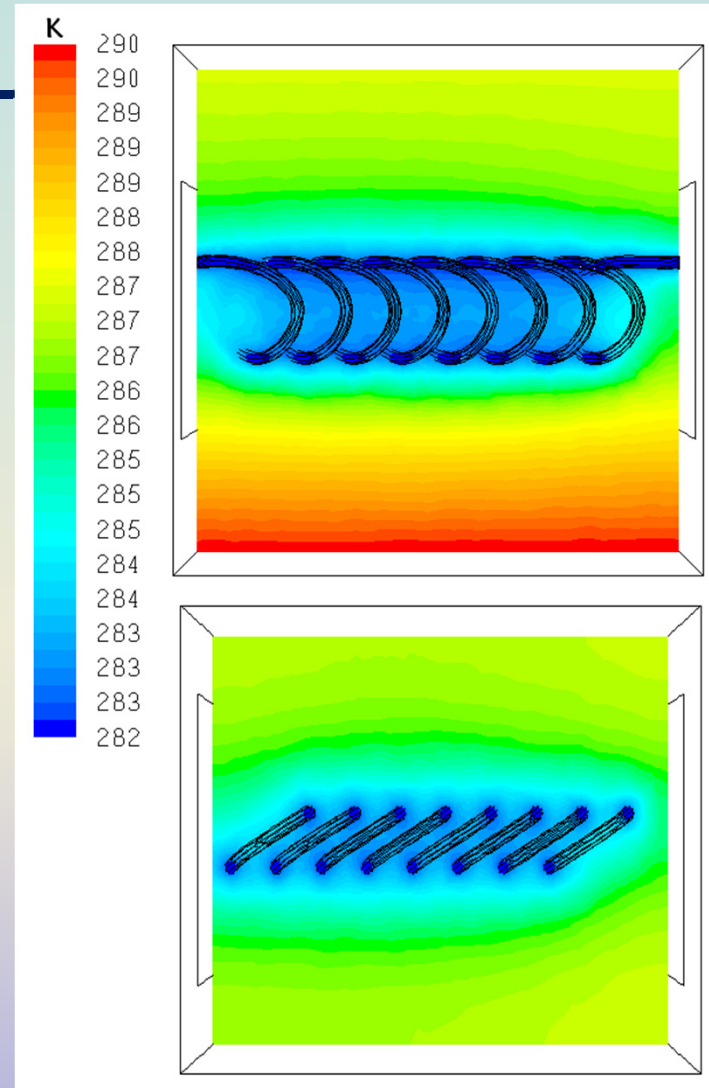
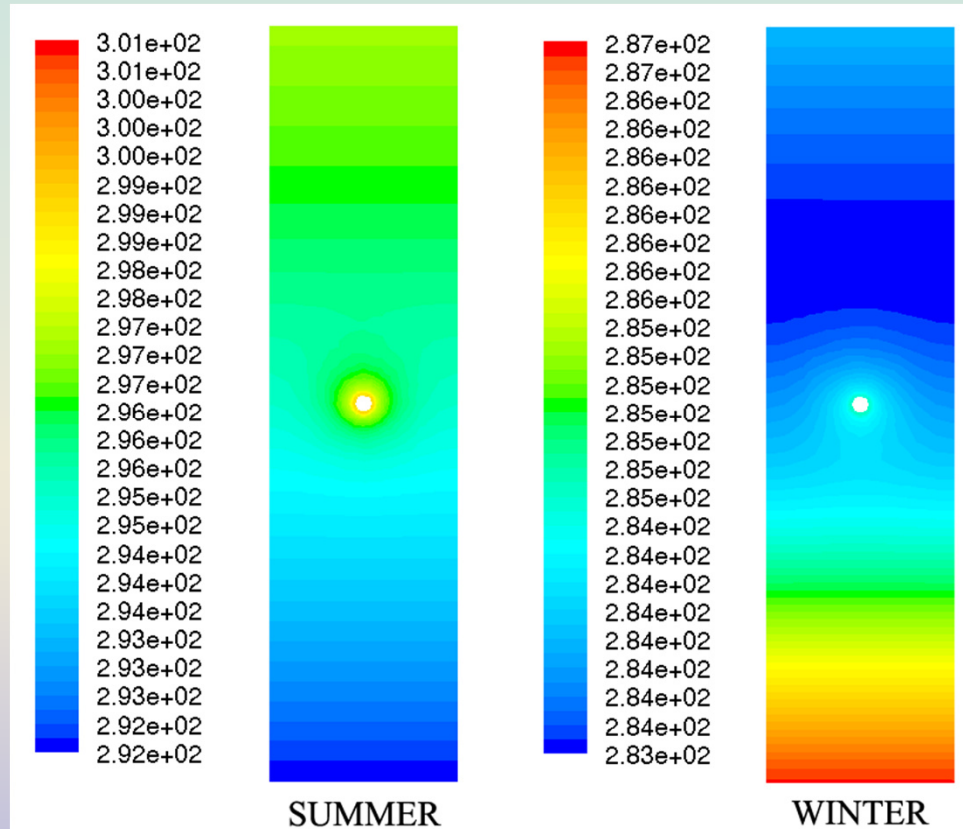
VARIABLE	VALUE
T_M	16.84°C
a	16.95°C
τ	1 anno
t_M	218° giorno

Simulazione del comportamento termico del suolo per la determinazione delle condizioni al contorno

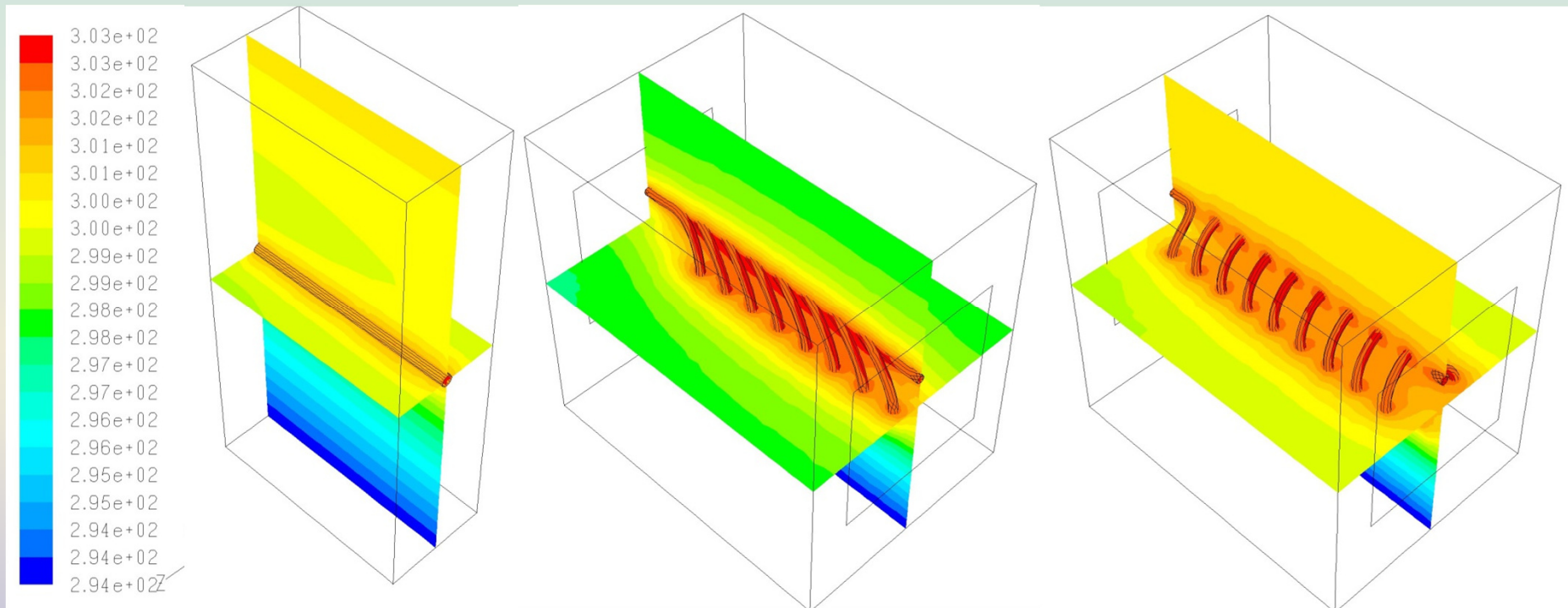


- A profondità crescenti nel sottosuolo le oscillazioni di temperatura giornaliere non sono più visibili dopo un metro;
- Le oscillazioni di temperatura annuali scompaiono più in basso;
- È chiaramente osservabile lo sfasamento temporale dei valori di temperatura dovuto all'inerzia termica del terreno.

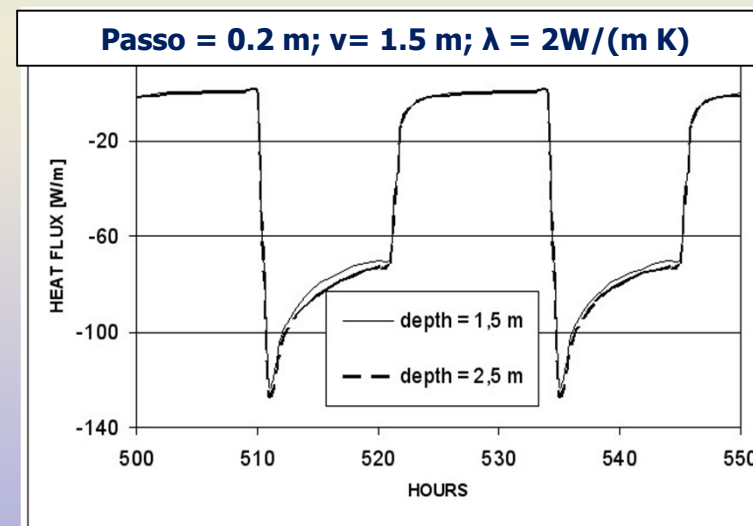
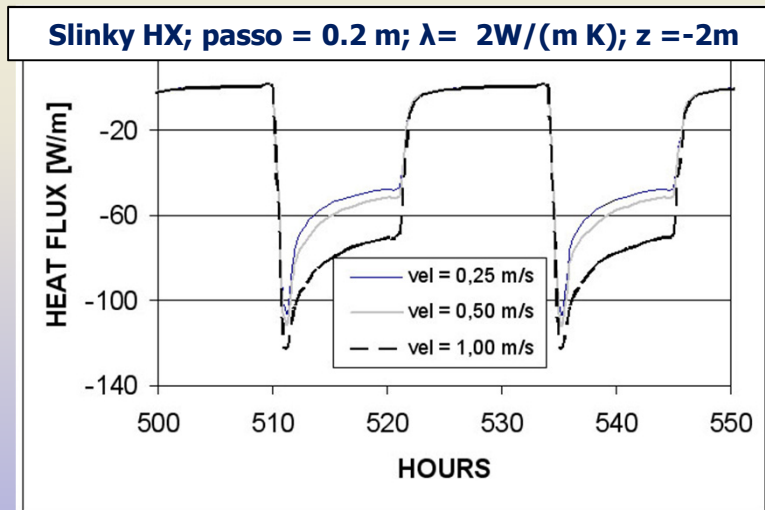
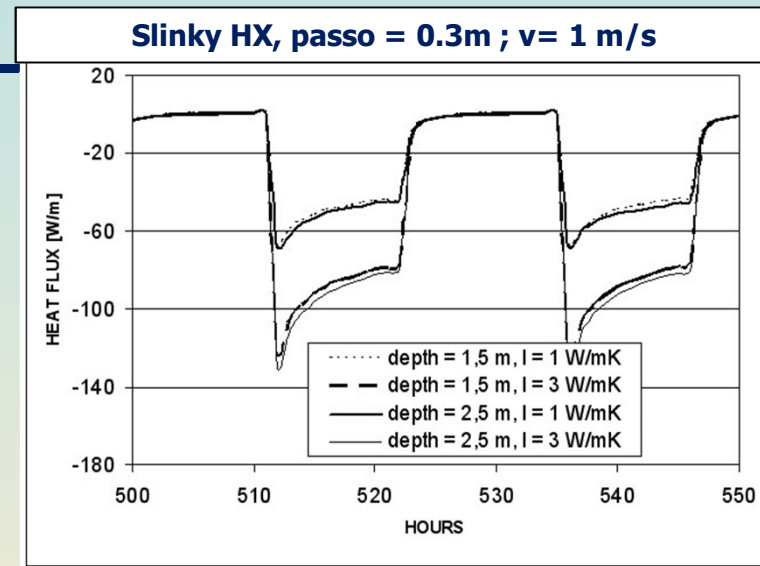
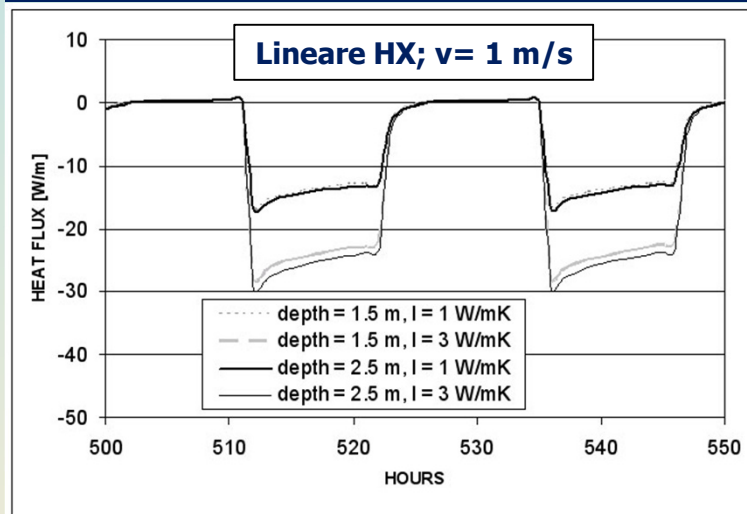
L'INFLUENZA DEGLI SCAMBIATORI SUL CAMPO TERMICO IN PROFONDITA'



L'INFLUENZA DEGLI SCAMBIATORI SUL CAMPO TERMICO IN PROFONDITA'



Flusso termico da e verso il suolo per unita' di lunghezza di trincea



Risultati delle simulazioni numeriche

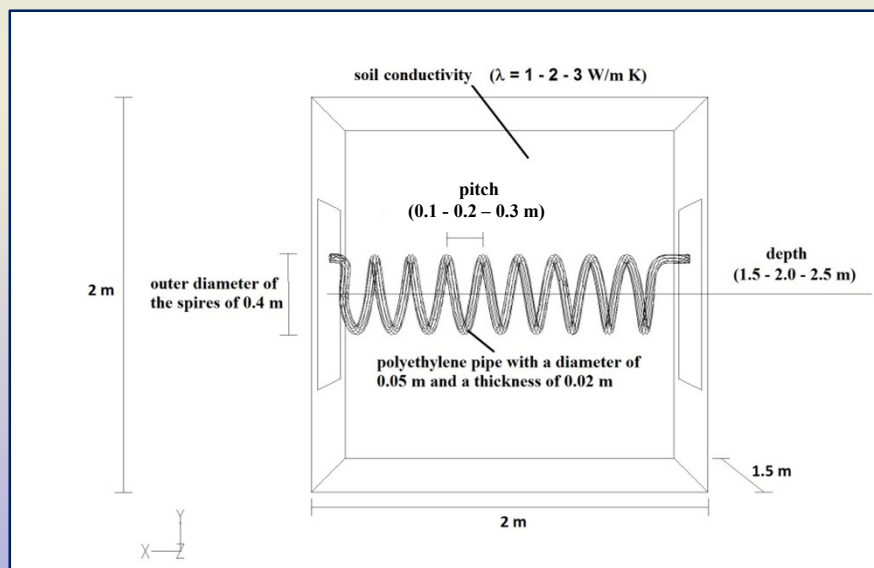
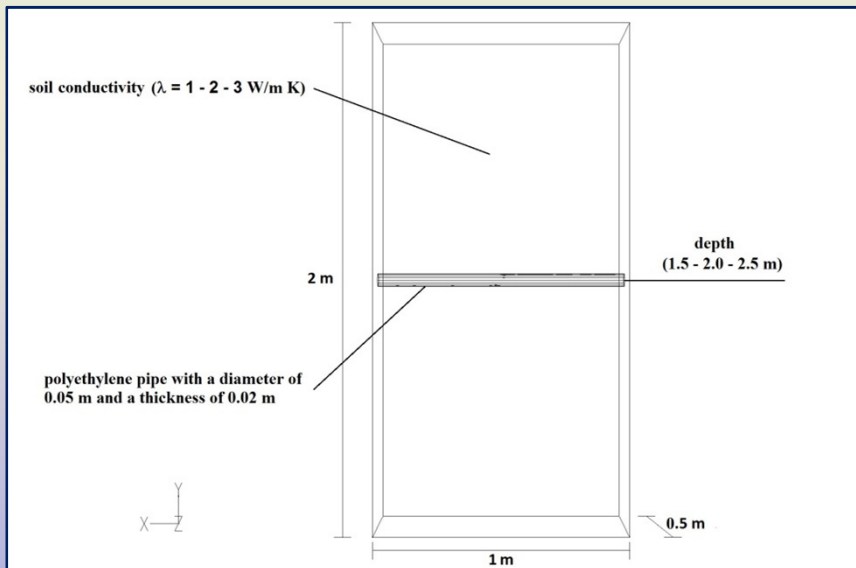
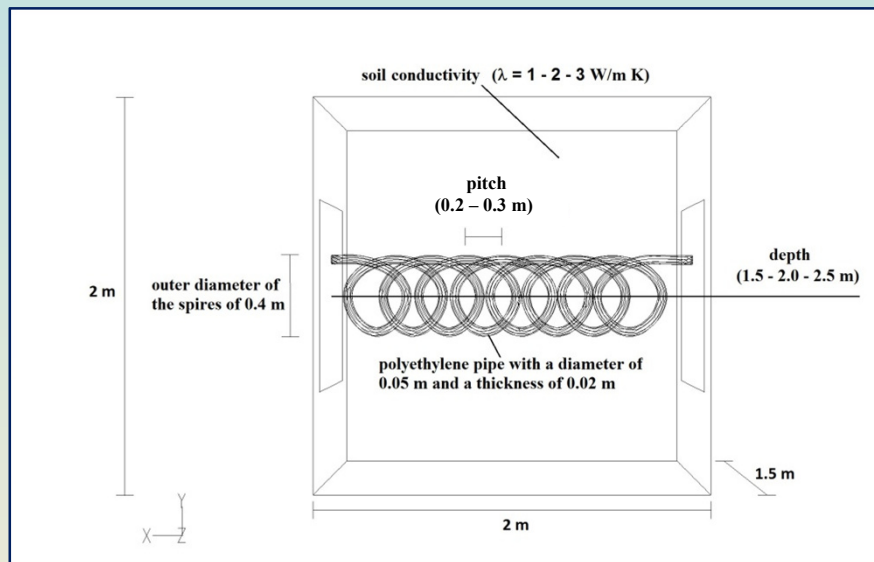


- Le geometrie degli scambiatori geotermici orizzontali sono state confrontate in termini di capacità di scambio termico con il suolo: **gli scambiatori più compatti** (ad elica e a spirale) **mostrano migliori performance** rispetto alla più semplice geometria lineare
- Le complicazioni dovute ad una meno agevole installazione delle **configurazioni ad elica e a spirale non aggiungono costi eccessivi.**
- Le geometrie compatte sono più influenzate dalla conducibilità del terreno che dalla profondità di installazione: **un materiale di riempimento altamente conduttivo consente migliori prestazioni rispetto ad una trincea più profonda.**
- **Piccole variazioni di temperature** (in-out) sullo scambiatore **assicurano uno sfruttamento soddisfacente** della riserva costituita dal suolo.
- **L'area di suolo influenzata termicamente dal tubo è** sufficientemente **ridotta** da consentire al progettista di richiedere al terreno uno scambio con potenze specifiche (al m²) elevate (nell'ipotesi di sistemi funzionanti tutto l'anno).

Analisi di sensibilita'

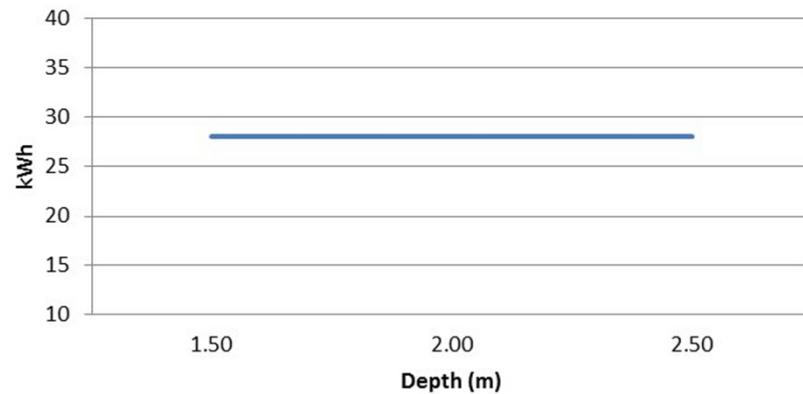
CONDIZIONI IMPOSTE PER L'ANALISI DI SENSIBILITA'

- N. 3 Geometrie (lineare, slinky, elica)
- Passo slinky= 0.1, 0.2, 0.3m;
- Passo elica= 0.2, 0.3m;
- Velocità dell'acqua = 0.25, 0.50, 1,00 m/s;
- Conducibilità del suolo = 1, 2, 3 W/(m K)
- Profondità = 1.5, 2.0, 2.5 m

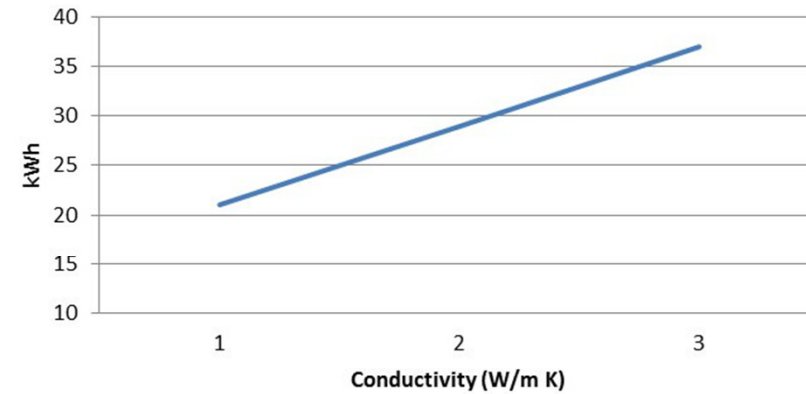


SCAMBIATORE ORIZZONTALE LINEARE

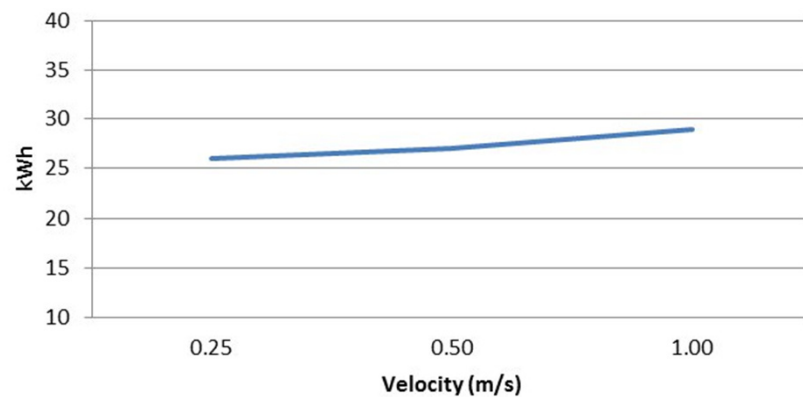
Main effects plot for Winter



Main effects plot for Winter



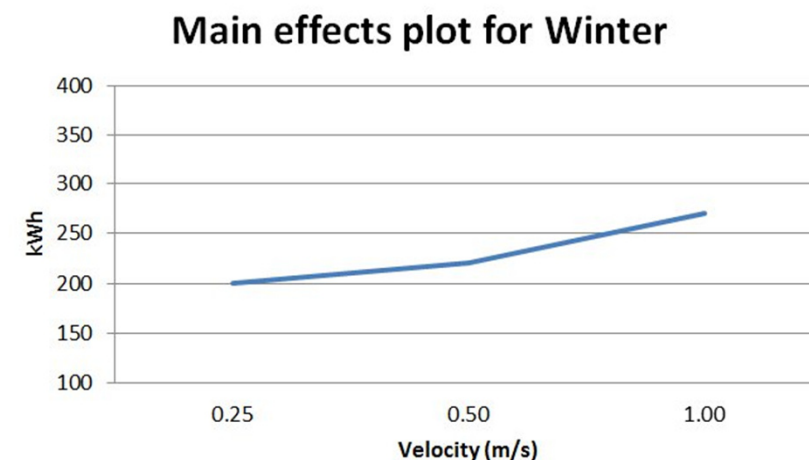
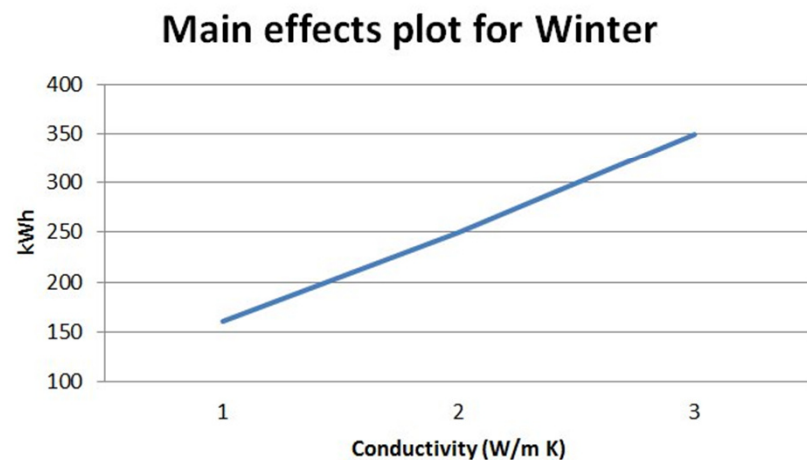
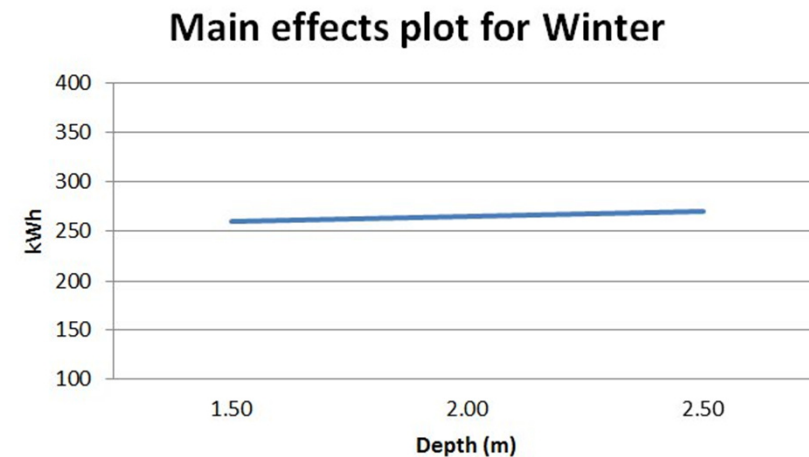
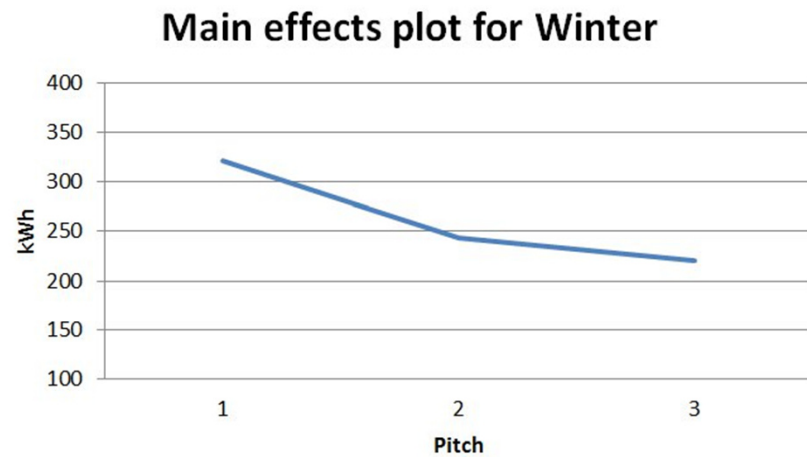
Main effects plot for Winter



CONDIZIONI IMPOSTE PER L'ANALISI DI SENSIBILITA'

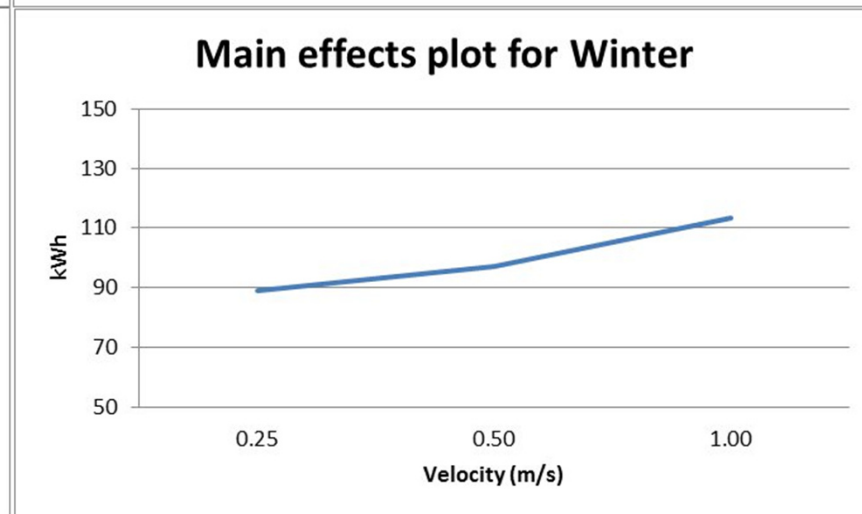
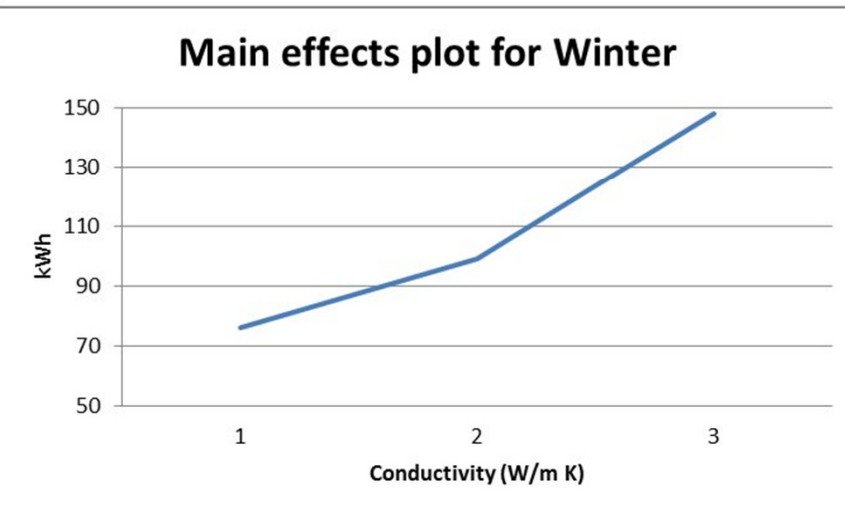
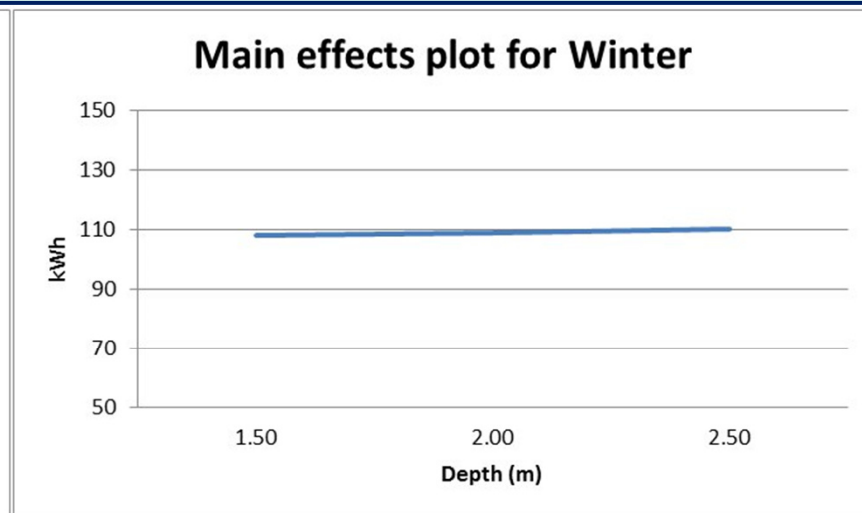
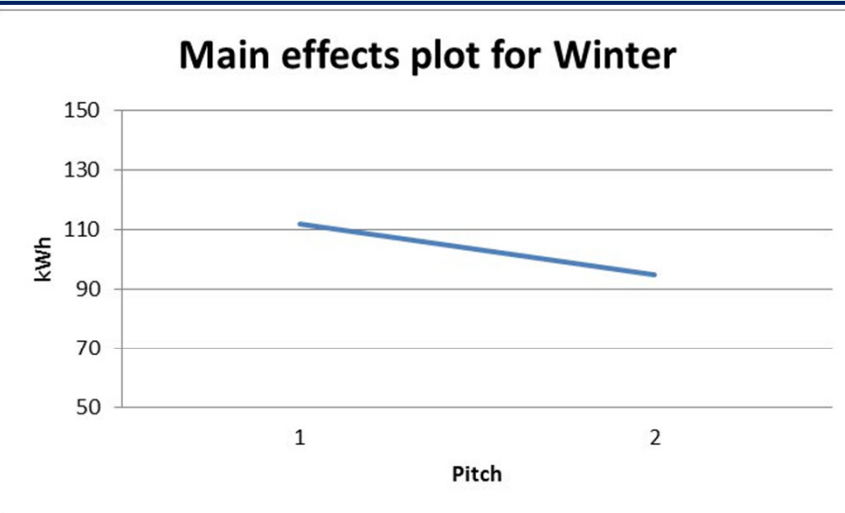
- **Velocità dell'acqua = 0.25, 0.50, 1.00 m/s;**
- **Conducibilità del suolo = 1, 2, 3 W/(m K)**
- **Profondità = 1.5, 2.0, 2.5 m**

SCAMBIATORE ORIZZONTALE AD ELICA



**Passo = 0.1, 0.2, 0.3m; Velocità dell'acqua = 0.25, 0.50, 1.00 m/s;
Conducibilità del suolo = 1, 2, 3 W/(m K); Profondità = 1.5, 2.0, 2.5 m**

SCAMBIATORE ORIZZONTALE SPIRALE



**Passo slinky = 0.2, 0.3m; Velocità dell'acqua = 0.25, 0.50, 1.00 m/s;
Conducibilità del suolo = 1, 2, 3 W/(m K); Profondità = 1.5, 2.0, 2.5 m**

RISULTATI E INDICAZIONI PROGETTUALI



- E' possibile decidere per **trincee non profonde** (asse degli scambiatori a non piu' di 1.5m) per evitare penalizzazioni sulla performance di scambio termico. **Questa considerazione e' valida per tutte e tre le configurazioni geometriche analizzate;**
- Per la **velocita' dell'acqua** (la portata massica) i comportamenti sono diversi: per lo **scambiatore lineare** la **dipendenza** della potenza scambiata e' **lineare**; per l'**elica** e lo **slinky** c'e' una **dipendenza piu' che proporzionale**. Questa considerazione puo' assumere una certa rilevanza nella scelta delle condizioni operative.
- Il **parametro piu' importante e' la conducibilita' termica del suolo**. Con un valore di 3 W/(m K) la prestazione di scambio e' pressoché raddoppiata rispetto al caso con 1 W/(m K) .
- Con riferimento alle prestazioni medie lungo l'arco dell'anno alle stesse condizioni operative **gli scambiatori ad elica scambiano 10 volte quelli lineari e 5 quelli slinky** al prezzo di una maggiore difficoltà di installazione e di quantità di tubazione



GRAZIE PER L'ATTENZIONE