

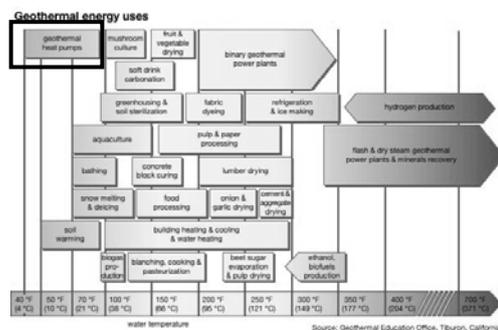
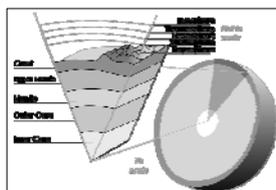
LE POMPE DI CALORE GEOTERMICHE: TIPOLOGIE, CENNI SUL DIMENSIONAMENTO, PROBLEMATICHE PROGETTUALI, LEGISLAZIONE

Ing. Alessandro Casasso
DIATI – Politecnico di Torino

Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

La geotermia: definizioni

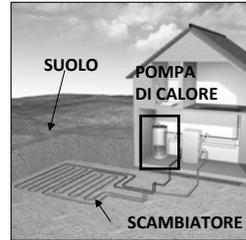
- La geotermia studia i fenomeni coinvolti nella produzione e nel trasferimento del calore proveniente dal sottosuolo;
- Le risorse geotermiche si dividono in tre categorie (D. Lgs. 22/2010):
 - alta entalpia: fluidi a $T > 150^{\circ}\text{C}$, utilizzabile per la produzione di energia elettrica (es. soffioni boraciferi di Larderello, $220\text{--}350^{\circ}\text{C}$);
 - media entalpia: fluidi a $T = 90\text{--}150^{\circ}\text{C}$, utilizzabile per reti di teleriscaldamento;
 - bassa entalpia: fluidi a $T < 90^{\circ}\text{C}$, utilizzabile per teleriscaldamento, per riscaldamento diretto o con pompa di calore;



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

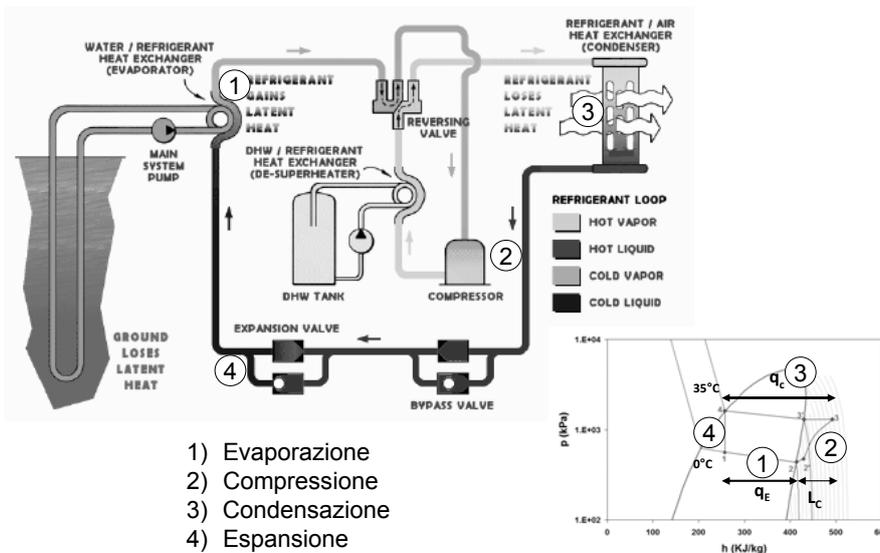
Pompe di calore geotermiche

- Impianti di riscaldamento e/o raffrescamento basati su una pompa di calore che scambia calore col terreno;
- La pompa di calore è una macchina in grado di trasferire energia termica da un corpo a temperatura più bassa ad un corpo a temperatura più alta, utilizzando differenti forme di energia, generalmente elettrica.
- Due grandi categorie:
 - Closed loop (in alto a dx): scambio prevalentemente conduttivo tra il suolo e un fluido termovettore che viene ricircolato in un circuito idraulico chiuso
 - Open loop (in basso a dx): scambio termico effettuato sull'acqua di falda prelevata da un pozzo, e solitamente reiniettata nella stessa falda.



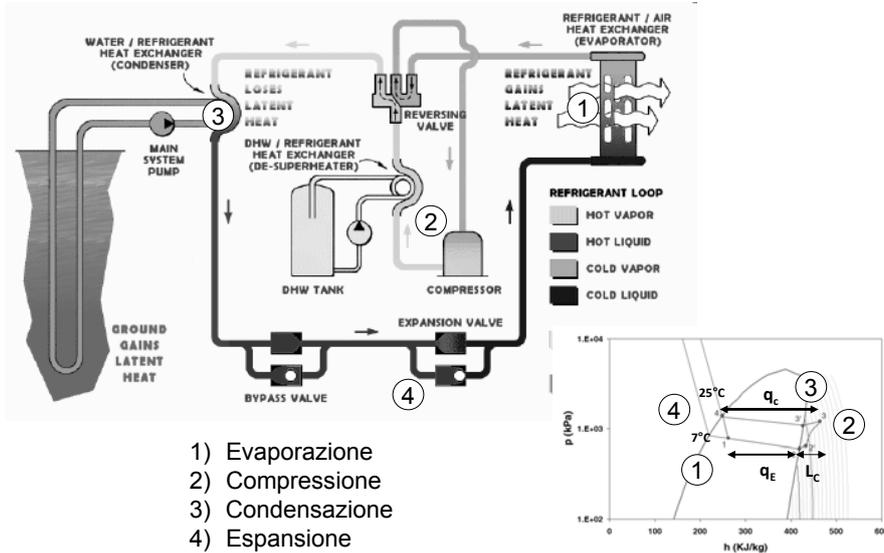
Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Pompa di calore in modalità riscaldamento



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Pompa di calore in modalità raffreddamento

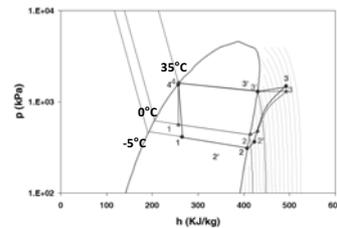
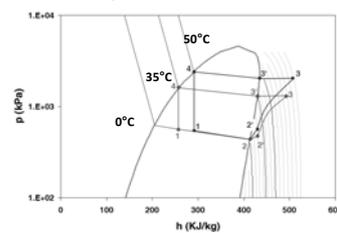


Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

COP / EER

- Il COP/EER è il rapporto tra l'effetto utile e la potenza impiegata:
 - Riscaldamento: $COP = q_c / L_c$
 - Raffreddamento: $EER = q_e / L_c$
- Cresce:
 - al crescere della temperatura della "sorgente fredda";
 - al decrescere della temperatura della "pozzo caldo"

Riscaldamento: cfr tra pannelli radianti (35°C) e ventilconvettori (50°C)

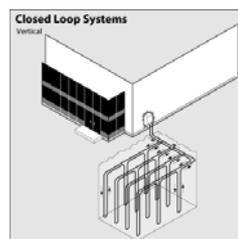
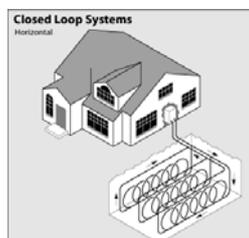


Riscaldamento: cfr tra sorgente aerotermitica (-5°C) e geotermica (0°C)

Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Impianti geotermici a circuito chiuso

- Gli scambiatori termici al suolo a circuito chiuso si dividono in tre categorie:
 - Sonde geotermiche orizzontali
 - Pali energetici o geotermici
 - Sonde geotermiche verticali



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Sonde geotermiche orizzontali

- Circuito di scambio termico interrato a modeste profondità (1-3 m);
- Leggero smorzamento oscillazioni temperatura;
- Tipologie:
 - Bobine / serpentine;
 - Lineari;
 - Basket geotermici



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Pali energetici

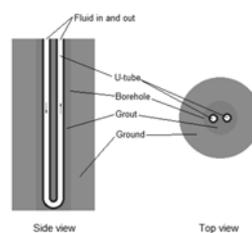
- Circuito di scambio termico all'interno dei pali di fondazione;
- Differente comportamento (plastico/elastico) del cls e del terreno di fondazione → impatti su struttura?
- La resa dei pali energetici è molto inferiore alle sonde geotermiche: da 10 a 30 W/m, invece di 30÷60 W/m
- I costi di distribuzione orizzontale, la scarsa resa termica, l'oscillazione superficiale della temperatura del suolo rendono i pali convenienti solo per profondità maggiori di 10 ÷ 15 m



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Sonde geotermiche verticali

- Sono composte da uno o due circuiti di tubi, generalmente in HDPE, inseriti in una perforazione verticale e immersi in un grout di cls e bentonite
- Tipologia di scambiatore closed loop più diffusa ed efficiente



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Tubazioni

- Solitamente sono in polietilene ad alta densità (HDPE), con resistenza a 10 o 16 atmosfere di pressione (PN 12.5 o PN16), con diametri esterni di 25,32 o 40 mm (DN 25,32,40)
- Altri materiali: polietilene reticolato (PEAX), PVC
- La tubazione a U viene venduta arrotolata (diametro 1m) e già saldata in stabilimento al piede della sonda.



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Piede della sonda e zavorra

- E' un particolare molto importante: sopporta le pressioni maggiori di tutto il circuito e connette i due tubi della U, solitamente con saldatura testa a testa planare, o con incastro (evitare manicotto elettrosaldato)
- Bisogna evitare curve brusche e perdite concentrate
- Al fondo è presente un pozzetto per la raccolta di corpi solidi caduti accidentalmente nel tubo
- Al piede è fissata una zavorra da 20÷50 kg: è importante il suo fissaggio al piede e la resistenza delle saldature



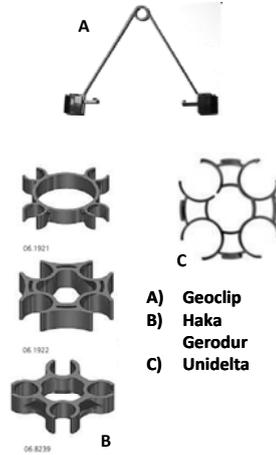
Piede della sonda (U doppia)

Zavorra

Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Distanziali

- E' importante tenere i tubi il più possibile distanti tra loro e il più possibile vicini alla parete del perforo per:
 - evitare flussi di calore tra il tubo di mandata e di ritorno (cortocircuitazione) che comportano uno spreco di energia
 - ridurre al minimo la resistenza termica della sonda.
- Il passo massimo dei distanziali è 5÷10m: è necessario infatti vincere la tendenza dei tubi a mantenere la forma impressa dalla bobina



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Grout geotermico

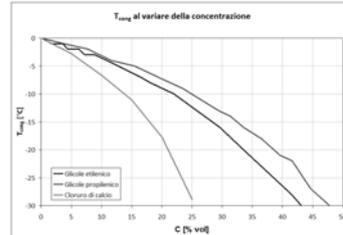
- Il riempimento deve assicurare il contatto tra i tubi e le pareti del perforo, evitando che si formino spazi vuoti
- Malta preconfezionata (grout geotermico) con 3 compiti:
 - protezione meccanica ai tubi
 - isolamento delle falde (bentonite)
 - contatto termico tra sonda e terreno ($\lambda \sim 2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)
- Il grout deve essere iniettato in pressione, non dall'alto



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Fluido termovettore

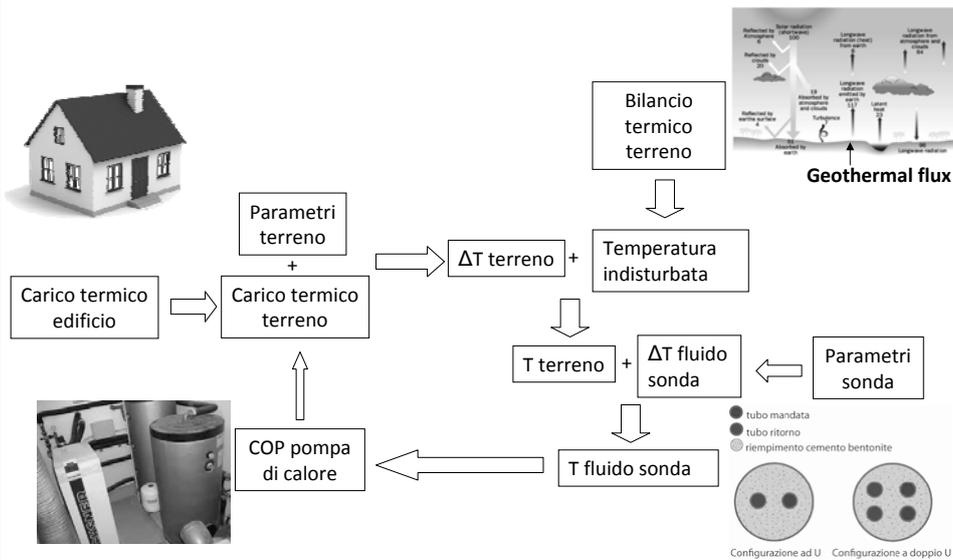
- Nelle sonde viene ricircolata una soluzione di acqua e antigelo, poiché la temperatura del fluido può scendere sotto lo zero
- Aumentando la concentrazione del fluido, si abbassa la temperatura di solidificazione ma aumenta la viscosità e quindi il consumo della pompa di circolazione
- Gli antigelo più comunemente usati sono il glicole propilenico o etilenico e il cloruro di calcio



	Cloruro di calcio	Glicole propilenico	Glicole etilenico
Corrosività	Alta	Bassa	Bassa
Infiammabilità	Nulla	Bassa	Bassa
Tossicità	Bassa	Nulla	Alta
Viscosità	Molto bassa	Molto alta	Alta
Costo	Basso	Molto alto	Alto

Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Dimensionamento: modello concettuale



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Dimensionamento: modello concettuale

- Tutti i metodi di dimensionamento si basano su una serie di elementi tra loro interconnessi:
 - Il suolo ha un bilancio termico (calore assorbito, calore riflesso, calore irradiato...) che ha come risultato una distribuzione di temperature indisturbate. Si assume che a distanza infinita (o sufficientemente grande) la temperatura del suolo non risenta del disturbo termico della sonda
 - La sonda induce nel suolo un disturbo termico che dipende da:
 - Carico termico = capacità termica fluido x portata x delta T in-out
 - Caratteristiche fisiche del suolo (conducibilità e capacità termica, porosità, dispersività termica) e della falda (velocità di flusso, spessore saturo)
 - Mutua interazione con le altre sonde
 - La temperatura del terreno intorno alla sonda, insieme alla resistenza termica dello scambiatore, influenza la temperatura del fluido della sonda
 - La temperatura del fluido influenza il rendimento (COP) della pompa di calore e quindi la convenienza dell'impianto

Dimensionamento: obiettivi e passaggi

- Il dimensionamento deve condurre a un'ottimizzazione della lunghezza delle sonde geotermiche:
 - Sonde più lunghe → minore disturbo termico nel terreno → migliore rendimento dell'impianto
 - Sonde più corte → minore costo di installazione
- Vincolo di temperatura minima o massima del fluido
- I passaggi intermedi sono:
 - Riprodurre il trasporto di calore nel suolo
 - Riprodurre il trasporto di calore nella sonda
 - Riprodurre le performance del sistema

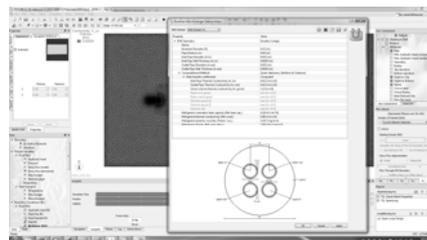
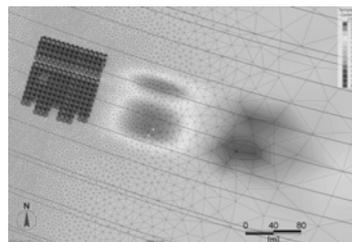
Classificazione metodi di dimensionamento

- Numerici:
 - Software di simulazione di flusso e trasporto di calore (es. FEFLOW, COMSOL, MODFLOW+SEAWAT ...);
- Tabellari:
 - Tabelle VDI 4640;
 - Tabelle MIS 3005;
- Semi-analitici:
 - Metodo di Eskilson → software EED
 - Metodo ASHRAE

Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Metodi numerici: FEFLOW

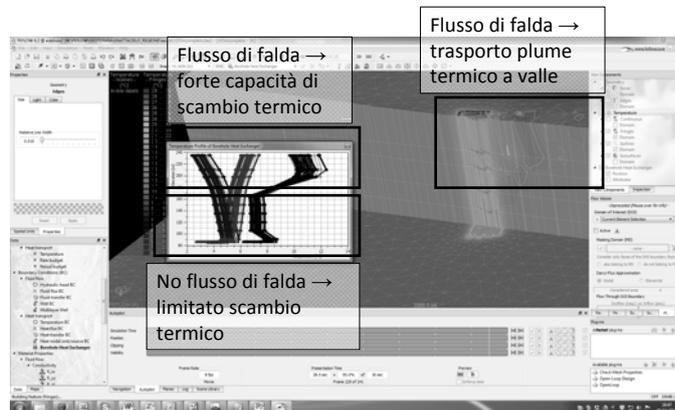
- Modello numerico agli elementi finiti per la modellizzazione di flusso, trasporto di soluti e/o di calore
- Attualmente è forse lo strumento più potente a disposizione per la simulazione degli impianti con sonde geotermiche
- Costoso, complesso, adatto per il progetto di grandi impianti



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Metodi numerici: FEFLOW

- Stratificazione delle proprietà termiche e idrogeologiche → individuazione profondità ideale sonde



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

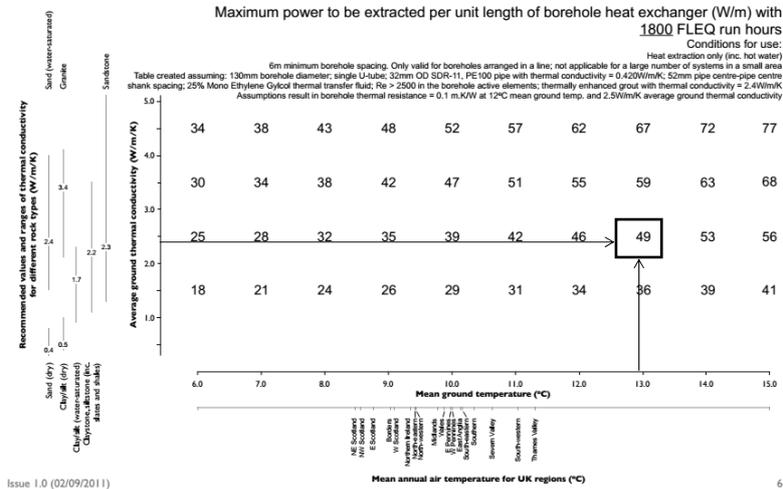
Metodi tabellari: tabella VDI4640 (Germania)

- Potenza media estraibile per unità di lunghezza della sonda
- Utilizzi:
 - 1800 h/anno (simile alla nostra zona D)
 - 2400 h/anno (simile alla zona E)
- Esempio: casa indipendente in zona D, consumi 12.6 MWh/anno, potenza media 7 kW, a seconda della litologia avremo differenti lunghezze della sonda:
 - Sabbia o ghiaia con forte flusso di falda (90 kW/m): $7000 \text{ kW} / 90 \text{ kW/m} = 77 \text{ m}$
 - Sabbia satura senza flusso di falda (70 kW/m): lunghezza 100 m
 - Suoli argillosi o limosi (42.5 kW/m): lunghezza 165 m

Underground	Specific heat extraction	
	for 1800 h	for 2400 h
General guideline values:		
Poor underground (dry sediment) ($\lambda < 1.5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)	25 W/m	20 W/m
Normal rocky underground and water saturated sediment ($\lambda < 1.5\text{--}3.0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)	60 W/m	50 W/m
Consolidated rock with high thermal conductivity ($\lambda > 3.0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)	84 W/m	70 W/m
Individual rocks:		
Gravel, sand, dry	< 25 W/m	< 20 W/m
Gravel, sand, saturated water	65–80 W/m	55–65 W/m
For strong groundwater flow in gravel and sand, for individual systems	80–100 W/m	80–100 W/m
Clay, loam, damp	35–50 W/m	30–40 W/m
Limestone (massif)	55–70 W/m	45–60 W/m
Sandstone	65–80 W/m	55–65 W/m
Siliceous magnetite (e.g. granite)	65–85 W/m	55–70 W/m
Basic magnetite (e.g. basalt)	40–65 W/m	35–55 W/m
Gneiss	70–85 W/m	60–70 W/m

Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Metodi tabellari: nomogrammi MIS 3005 (UK)

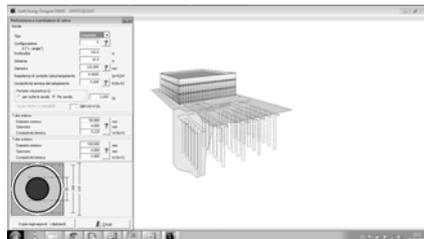
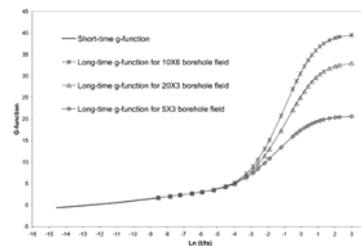


Scaricabili da: http://www.gshp.org.uk/pdf/MIS_3005_Ground_loop_sizing_tables.pdf

Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

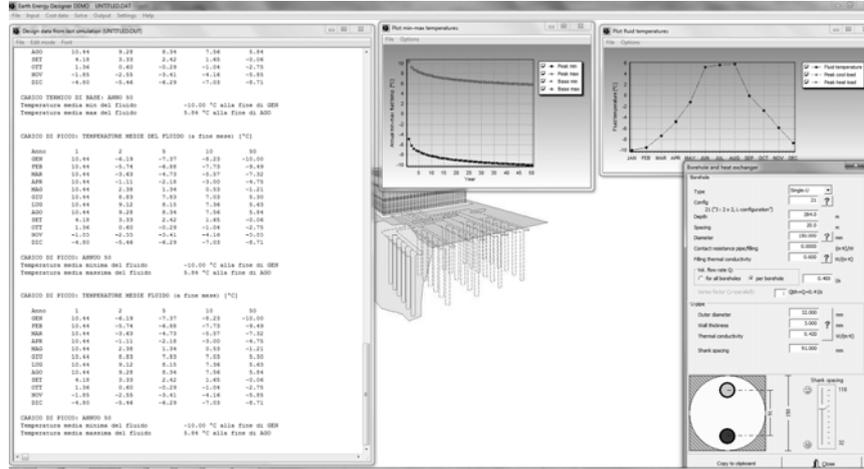
Metodo semianalitico di Eskilson

- Nel 1987-1988 Per Eskilson sviluppò un metodo basato su una serie di simulazioni numeriche, dalle quali ricavò famiglie di curve, funzione parametri adimensionali, che descrivono la variazione della temperatura del suolo in corrispondenza della sonda, al variare della configurazione geometrica dell'installazione
- Questo metodo è tuttora quello utilizzato dai principali programmi di dimensionamento delle sonde geotermiche (es. Earth Energy Design)



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Earth Energy Design (EED)

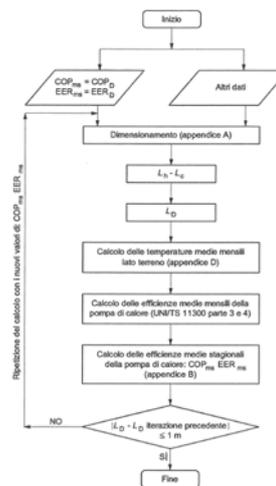


Dato il carico termico mensile (+ termini di picco), il programma calcola la minima lunghezza delle sonde necessaria per rispettare i vincoli imposti di temperatura minima/massima del fluido termovettore.

Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Metodo ASHRAE

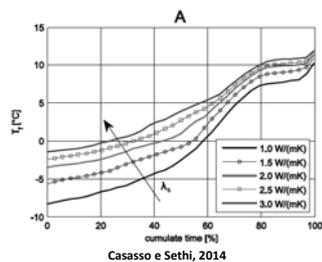
- Metodo:
 - Carico termico edificio =
 - Media annuale
 - Massimo carico termico mensile
 - Massimo carico termico
 - COP di tentativo → Carico termico al suolo = 3 impulsi di differente durata che si sovrappongono
 - Data una temperatura limite, si calcola la lunghezza minima necessaria per soddisfare i requisiti di temperatura del fluido:
 - In riscaldamento (L_H)
 - In raffrescamento (L_C)
 - $L_D = \max(L_C, L_H)$
 - Calcolo temperature fluido
 - Stima COP
 - Iterazione
- Implementato su foglio Excel <http://www.ashrae.org/borehole.xls>
- Buon metodo, raccomandato e spiegato da UNI 11466, molto cautelativo



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Conducibilità termica del terreno

- E' un parametro fondamentale nella progettazione delle sonde geotermiche
- Dipende dalla litologia e dall'umidità
- Quali valori assegnare?
 - Tabelle con dati di letteratura (UNI 11466 o VDI4640)
 - Mappe di conducibilità termica (es. Regione Lombardia, progetto VIGOR)
 - Thermal Response Test



Casasso e Sethi, 2014

Table 2 Simplified lithological categories derived from the analysis of available stratigraphic soundings

Lithology	Class	λ_{dry}	λ_{wet}
Peat	1	0.4	0.4
Peat	2	0.5	0.5
Loam soil	3	0.7	0.9
Clay	4	0.9	1.5
Clay and gravel	5	0.7	1.6
Silty clay	6	0.7	1.6
Gravel with clay	7	0.7	1.6
Basalt	8	1.7	1.7
Silt	9	0.5	1.7
Silty sand	10	0.5	1.7
Silty-clayey sand	11	0.6	1.7
Gravel	12	0.4	1.8
Clay and sand	13	0.8	2.0
Micaschist	14	2.0	2.0
Conglomerate with clay	15	1.6	2.1
Shales	16	2.2	2.2
Breccia	17	2.2	2.2
Phyllite	18	2.2	2.2
Sand and gravel	19	0.5	2.2
Calcschist	20	2.5	2.5
Marl	21	2.5	2.5
Sand	22	0.6	2.6
Calcschist	23	2.7	2.7
Sandstone	24	2.8	2.8
Limestone	25	2.8	2.8
Conglomerate	26	2.8	2.8
Gneiss	27	2.9	2.9
Dolomite	28	3.0	3.0
Granite	29	3.0	3.0

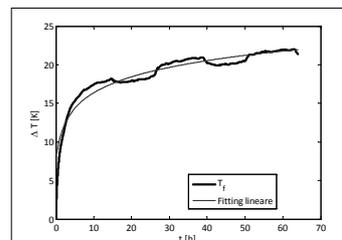
Each category is specified by a code number in ascending order according to the increasing values of thermal conductivity ($W m^{-1} K^{-1}$) assigned on the basis of laboratory measurements (dry and wet conditions)

Di Sipio et al., 2014

Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

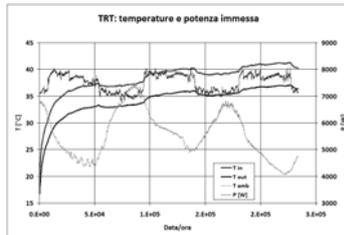
Thermal Response Test (1/2)

- Test finalizzato a stimare la conducibilità termica del terreno e la resistenza termica della sonda
- Immissione di una potenza termica costante in una sonda geotermica di prova, per 48÷72 ore, al fine di determinare l'andamento della temperatura media (ingresso-uscita) del fluido termovettore
- Si effettua su impianti medio-grandi e dai risultati del TRT si stabilisce il numero di sonde



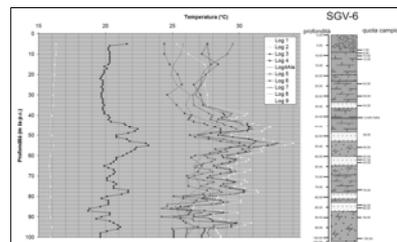
Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Thermal Response Test (2/2)



- Profili di temperatura acquisiti durante la prova. Si notano:
 - assenza di gradiente geotermico;
 - variazioni termiche legate alla stratigrafia.

- L'apparecchiatura registra in continuo:
 - Temperatura del fluido in ingresso e uscita;
 - Temperatura ambiente;
 - Potenza immessa;
- Forti oscillazioni della potenza (accensione - spegnimento dell'impianto di condizionamento ad aria)



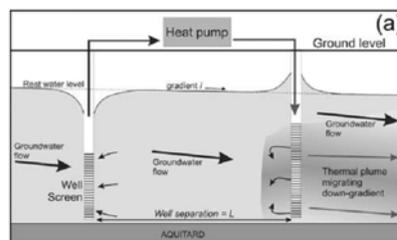
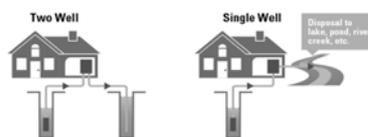
Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Pompe di calore open loop

- Lo scambio termico avviene non con il terreno, ma con l'acqua di falda
- L'acqua viene generalmente reimpressa nella stessa falda, per ragioni di bilancio idrico, tramite pozzo o trincea drenante
- Vantaggi:
 - su grandi taglie, abbattimento costi perforazione
 - maggiore efficienza (no alterazione termica sorgente)
 - minore spazio occupato
- Svantaggi:
 - maggiore manutenzione richiesta (pulizia pozzi e scambiatori)
 - progettazione più onerosa
 - più adempimenti burocratici

Impianto open loop con e senza reimmissione dell'acqua di falda.

Groundwater Heat Pumps (GWHP)
a.k.a. open loop heat pumps



Flusso di falda e thermal plume in un impianto open-loop (Banks, 2009)

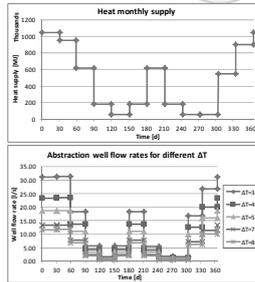
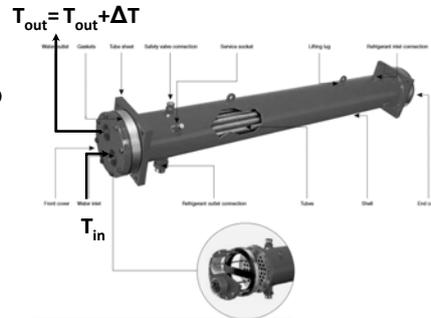
Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Progettazione: potenza dell'impianto

- Nell'impianto open loop, lo scambio termico viene effettuato sull'acqua prelevata con una portata Q , applicando una differenza di temperatura ΔT . Di conseguenza:

$$P = Q \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot \Delta T$$

- L'acqua ha una grande capacità termica: $(\rho c)_w = 4.2 \text{ MJ}/(\text{m}^3\text{K}) \rightarrow$ per ogni l/s prelevato e per ogni grado di salto termico ΔT , la potenza scambiata (al lordo di perdite) è di 4.2 kW!



Carico termico

Combinazione
Portata - ΔT

Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Progettazione: studio termo-idrogeologico

- Il setup impiantistico deve essere verificato dal punto di vista di:
 - alterazione della piezometria locale:
 - abbassamenti \rightarrow possibili cedimenti
 - innalzamenti \rightarrow possibili allagamenti
 - alterazioni termiche in falda
 - possibile mobilitazione contaminanti
- Lo studio deve essere basato su una corretta caratterizzazione stratigrafica, idrogeologica, idrodinamica del sito

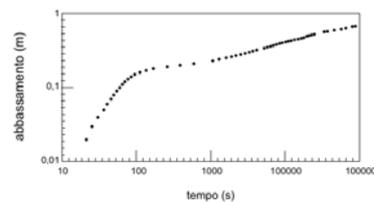
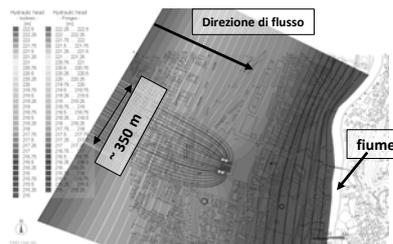


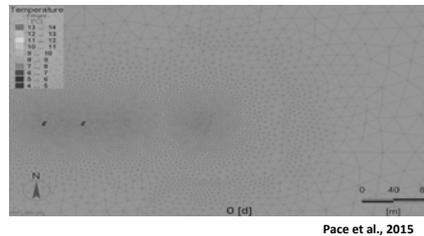
Fig. 5.3. Esempio di diagramma diagnostico

Tracciato di una prova di pompaggio su acquifero non confinato (Di Molfetta e Sethi, 2012)

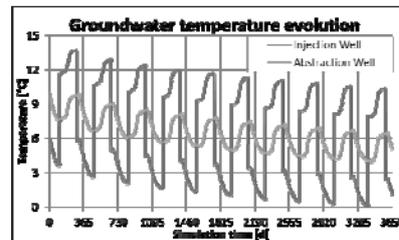
Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Progettazione: alterazione termica

- Intorno al pozzo di reiniezione si crea un plume termico che può indurre:
 - alterazioni geochimiche (precipitazione o solubilizzazione di minerali e di contaminanti)
 - alterazioni microbiologiche
 - crescita di alghe, ruggini, muffe in particolare nei pozzi di reiniezione
- Conseguenze:
 - interferenza con obiettivi sensibili (es. pozzi acqua potabile)
 - interferenza con altri impianti
 - ritorno dell'acqua termicamente alterata al pozzo di prelievo (cortocircuitazione termica)



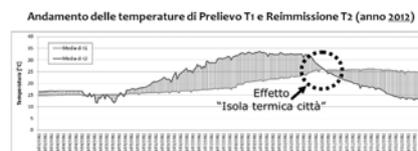
Pace et al., 2015



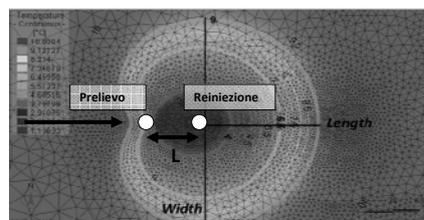
Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Progettazione: cortocircuitazione termica (1/2)

- La reimmissione di acqua in falda solitamente provoca il ritorno di parte della portata dai pozzi di reiniezione ai pozzi di prelievo → alterazione temperatura acqua prelevata → peggioramento performance PdC
- La cortocircuitazione non avviene se $X = \frac{2Q}{\pi T i L} < 1$, con
 - Q = portata (m^3/s)
 - T = trasmissività (m^2/s)
 - i = gradiente idraulico
 - L = distanza tra i pozzi (m)
- E se avviene?
 - avviene dopo un certo tempo → potrebbe essere sufficientemente lungo;
 - allontanare i pozzi;
 - ridurre la portata;
 - fonti integrative



Temperatura pozzo di prelievo (blu) e reiniezione (rosso) da marzo a dicembre in un impianto a circuito aperto (da Zambon, 2013)

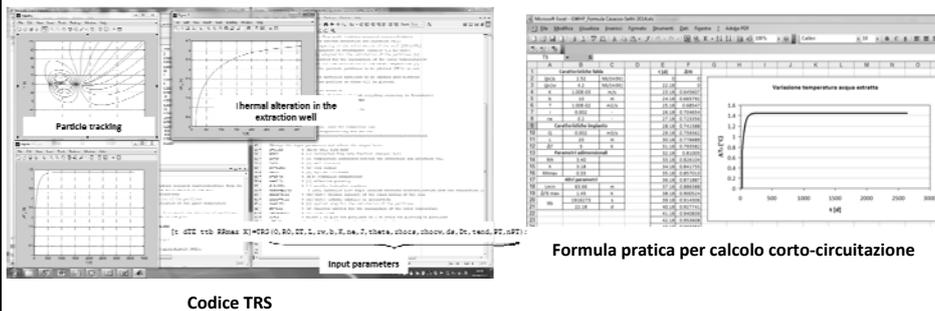


Pace et al., 2015

Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Progettazione: cortocircuitazione termica (2/2)

- Codice TRS (Thermal Recycling Simulator) per il calcolo della variazione della temperatura dell'acqua estratta (Casasso e Sethi, 2015);
- Formula pratica calibrata utilizzando questo codice;
- Maggiori informazioni su:
 - <http://www.polito/groundwater/software/TRS.html>



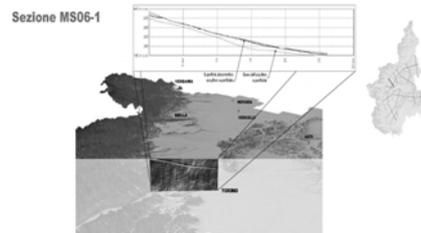
Codice TRS

Formula pratica per calcolo corto-circuitazione

Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Caratterizzazione acquifero

- Dati da raccogliere:
 - Acquifero:
 - livelli di falda e variabilità
 - gradiente idraulico
 - conducibilità idraulica
 - temperatura acqua di falda
 - caratteristiche chimiche e fisiche dell'acqua (minerali disciolti, condizioni redox ecc.)
 - Interferenze:
 - corpi idrici superficiali (fiumi e laghi)
 - limiti impermeabili
 - altri pozzi
 - cave
 - siti contaminati
- Fonti di dati:
 - Piano di Tutela delle Acque della Regione Piemonte
 - GIS Regione Piemonte
 - Relazioni di caratterizzazione di siti contaminati
 - Studi locali, ad es. sulle contaminazioni da nitrati di origine agricola e zootecnica



Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Legislazione

- Codice civile (art. 840, 844, 889) su distanze dal confine della proprietà, immissioni, rumori ecc.;
- D. Lgs. 28/2011 (Riordino incentivi rinnovabili): previsto decreto attuativo su geotermia, non pervenuto;
- D. Lgs. 152/2006 (T.U. Ambientale): permesso di scarico in falda per impianti geotermici (art. 104);
- D. Lgs. 22/2010 (Geotermia):
 - Piccole utilizzazioni locali <2MW e <400 m profondità;
 - Disciplina open loop: concessioni a derivare, competenza regionale;
 - Disciplina closed loop: disciplina emanata dalla Regione;
- Legislazione regionale (L.R. 6/2003, DPGR 10R/2003 e 1R/2014);
- Norme UNI 11466, 11467 e 11468 del 2012.

Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

Bibliografia

- Casasso A., Sethi R., 2015, Sito internet del gruppo Ingegneria degli Acquiferi – sezione geotermia <http://www.polito.it/groundwater/geotermia>
- Casasso A., Sethi R., 2015, *Modelling thermal recycling occurring in groundwater heat pumps (GWHPs)*, Renewable Energy, vol. 77, pp. 86-93
- Casasso A., Sethi R., 2014, *Efficiency of closed loop geothermal heat pumps: A sensitivity analysis*, Renewable Energy, vol. 62, pp. 737-746
- Casasso A., Sethi R., 2013, *Tecnologia e potenzialità dei sistemi geotermici a bassa entalpia*, Geingegneria Ambientale e Mineraria (GEAM), vol. 138, pp. 13-22
- Delmastro R., Noce G., 2010, *GSHp – geotermia a sonde verticali*, in vendita su www.geotermia-sondeverticali.it;
- Di Molfetta A., Sethi R., 2012, *Ingegneria degli acquiferi*, Springer
- Eskilson, P., 1987, *Thermal Analysis of Heat Extraction Boreholes*, tesi di dottorato scaricabile da www.buildingphysics.com/Eskilson1987.pdf
- UNI 11466, 11467, 11468 – 2012
- Verein Deutsche Ingenieure (VDI) n° 4640 - 2000

Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC