

Aspetti idrogeologici della geotermia a Milano

15 dicembre 2015



V. Francani L. Alberti e M. Antelmi (Politecnico di Milano) G. Formentin e D. Rigamonti
(Tethys s.r.l.)

Da tempo a Milano vengono realizzati progetti per sonde geotermiche e a scambio di calore, che presentano notevoli vantaggi economici . La breve sintesi descrittiva di queste tecniche comprende:

- Uno schema di funzionamento dei sistemi più in uso
- I possibili utilizzi per migliorare le condizioni ambientali della città
- Una disamina dei metodi da utilizzare per una corretta progettazione di questi impianti che devono essere realizzati in conformità alle norme ambientali .

Principio di funzionamento degli impianti : sistema a **circuito chiuso** (GSHP)

In questi sistemi viene fatta circolare sempre la stessa acqua, che viene pompata dalla sonda immersa nel terreno acquifero, da cui il fluido passa all'interno della pompa di calore, la quale incrementa la differenza di temperatura.

La pompa di calore invia poi il fluido più caldo al serbatoio che lo immagazzina fino al richiamo (in funzione dell'esigenza) dell'unità di trattamento aria immessa in un serbatoio e avviata alla pompa di calore.

Questo è riacquistato ripassando nella sonda.





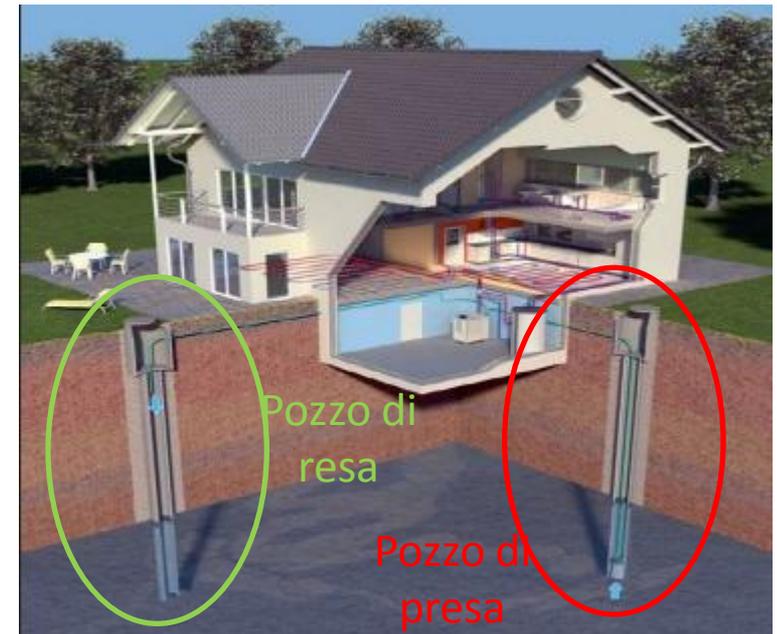
Sistema a circuito aperto

Si preleva acqua di falda a bassa temperatura, tramite un pozzo di presa e la si reimmette nel sottosuolo tramite un pozzo di resa.

L'acqua prelevata dal pozzo di presa viene avviata alla **pompa di calore** che provvede a fornire all'ambiente da climatizzare il calore sufficiente a produrre la temperatura desiderata.

La restituzione tramite il pozzo di resa può avvenire in falda a valle nel senso di flusso delle acque sotterranee, oppure in canali, rogge, fiumi.

Rispetto al sistema a circuito chiuso, **il ciclo aperto ha un'efficienza energetica** (cioè un rapporto energia prodotta/volume d'acqua estratto) **superiore**, e richiede quindi un numero di pozzi inferiore



La sicurezza ambientale esige che le variazioni di temperatura del suolo e soprattutto della falda siano minime. A tal fine il progettista deve evitare la sovrapposizione degli effetti termici degli impianti posizionati a piccola distanza fra loro. Si può ottenere questo risultato con l'impiego in sede progettuale di modelli matematici che consentano la previsione della distribuzione delle temperature conseguenti alla realizzazione dell'impianto

Calcolo della portata da estrarre dalla falda e del numero dei pozzi necessari



$$Q = 6,28 T (y-h)/\ln (x/r)$$

Estrazione di acqua tramite pozzo : deve essere conosciuta la quantità di acqua Q estraibile dal pozzo nel tempo

Calore specif acqua, c_p 4186.8 J/kgK
Potenza scambiata con falda, P_{gw}
 $418680J/s = 418,7 \text{ kW}$
Potenza termica della pdc (dipende dal coefficiente di rendimento della pompa) **es. $Q=20 \text{ l/s}$, $P_t = 523.4 \text{ kW}$**

Esempio, dalla trasmissività T di 0,001 m2/s tipica dell'acquifero milanese ricavo che da un pozzo di 25 m di profondità posso estrarre circa 20 l/s

Verifica della perdita di temperatura fra acqua e pozzo (solitamente circa 5 °)

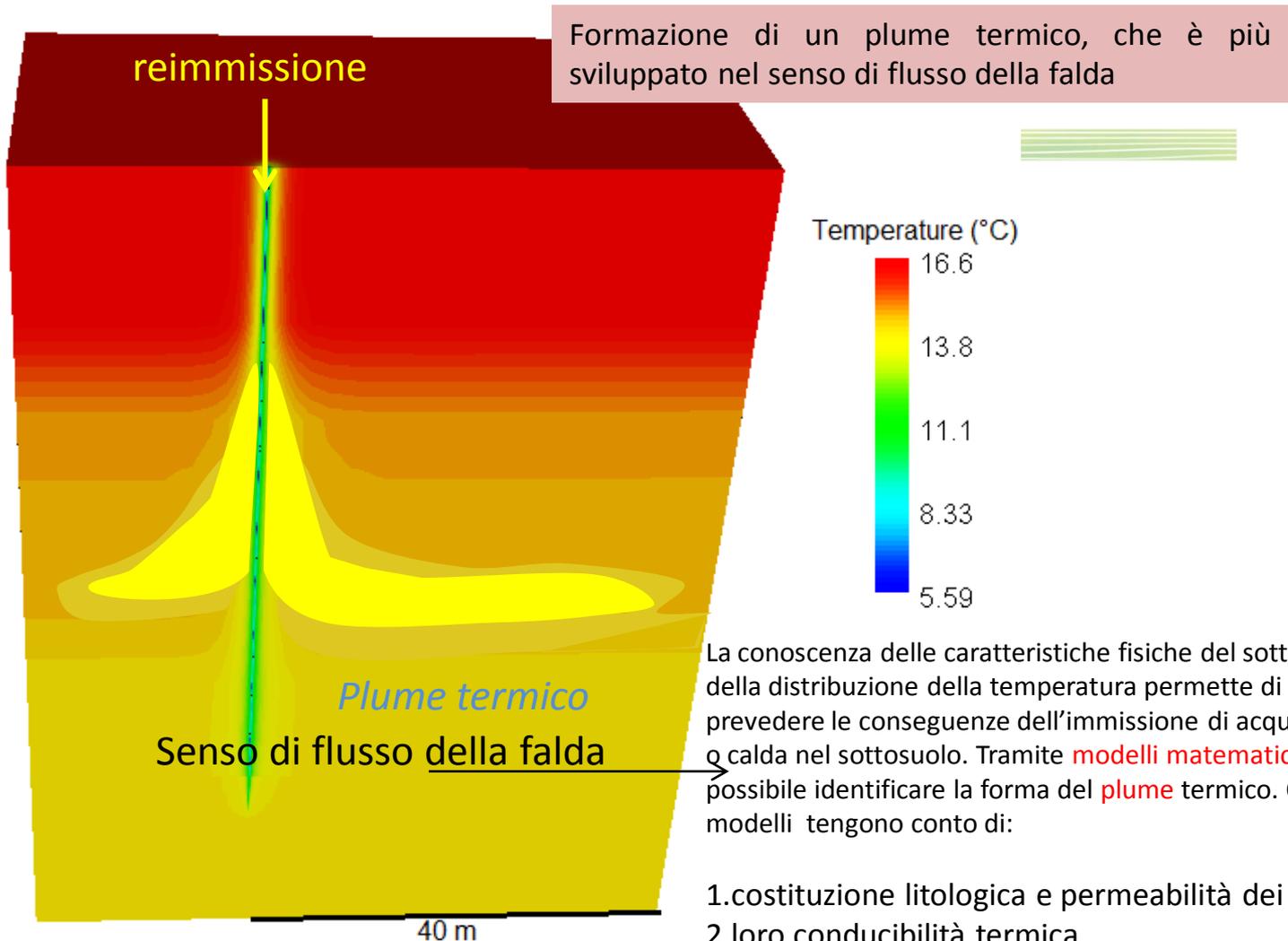
Verifica del volume dell'ambiente da riscaldare (es. 240 m³)

Calcolo della potenza (in kW) necessaria per un appartamento

Dalla P_t della pompa relativa alla portata di falda disponibile, si ottiene dal rapporto P_t / kW' il numero di appartamenti che posso riscaldare con un pozzo.

Volume Appartamento = V
240 m³
coefficiente termico, **h 35**
kcal/h/m³
Kcal necessarie ad un appartamento
 $240 * 35 = 8400 \text{ kcal/h} = C' = hV$
Si trasforma questo valore in kW necessari ad un appartamento
 $8400 \text{ kcal/h} = 9.8 \text{ KJ/s} = \mathbf{9,8 \text{ kW}'}$
Kw'=KW necessari per un appartamento

Modellazione dello scambio termico



La conoscenza delle caratteristiche fisiche del sottosuolo e della distribuzione della temperatura permette di prevedere le conseguenze dell'immissione di acqua fredda o calda nel sottosuolo. Tramite **modelli matematici** è quindi possibile identificare la forma del **plume** termico. Questi modelli tengono conto di:

1. costituzione litologica e permeabilità dei terreni
2. loro conducibilità termica
3. fattori dispersivi del calore.

di Antelmi M.

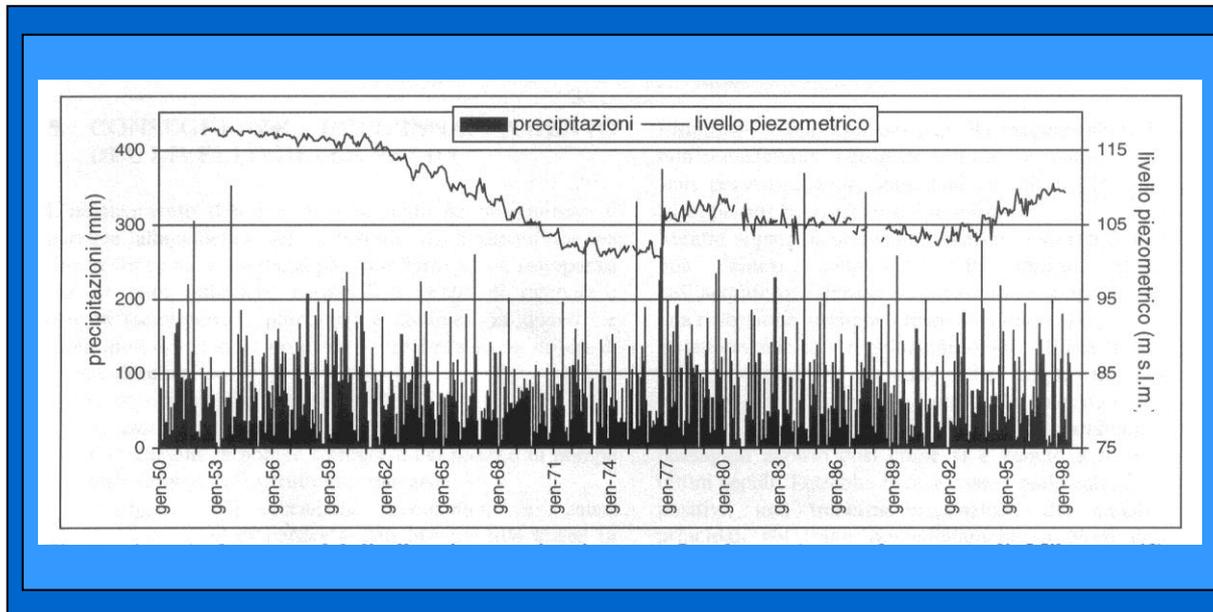
Si ricostruisce prima la struttura idrogeologica del sottosuolo (modello concettuale del sito), poi il modello matematico



E' possibile in tal modo, con l'aiuto di **sensori** posizionati a diverse distanze dal pozzo di reimmissione, ricostruire fedelmente in tempi reali le **dimensioni** e **temperature** del plume termico, che possono raggiungere anche **diverse decine** di metri .

Il caso di Milano

A Milano sussiste un problema di continuo innalzamento della falda a partire dalla metà degli anni '90, che rende interessante lo sviluppo di impianti che prelevino consistenti quantitativi d'acqua per il condizionamento termico, come evidenziato in recenti Convegni.

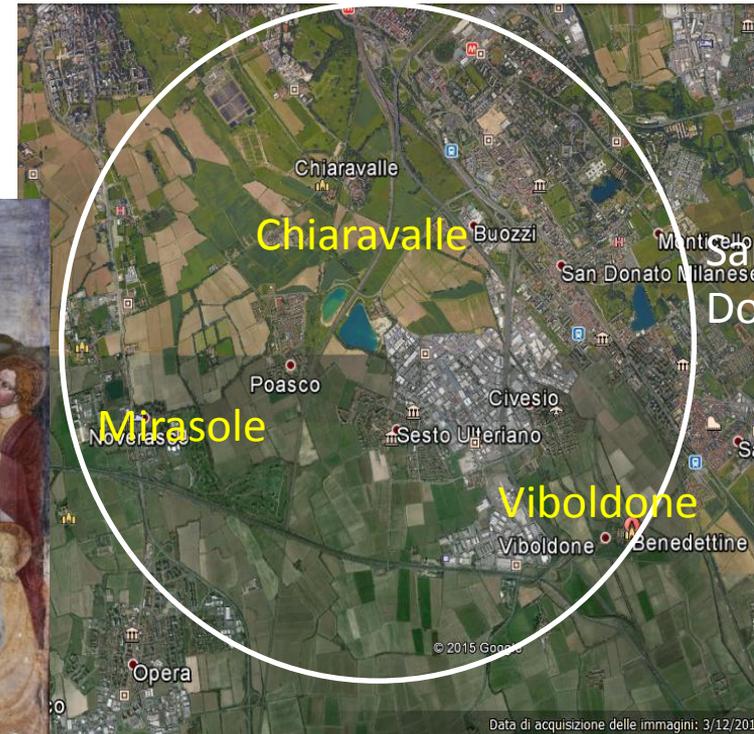
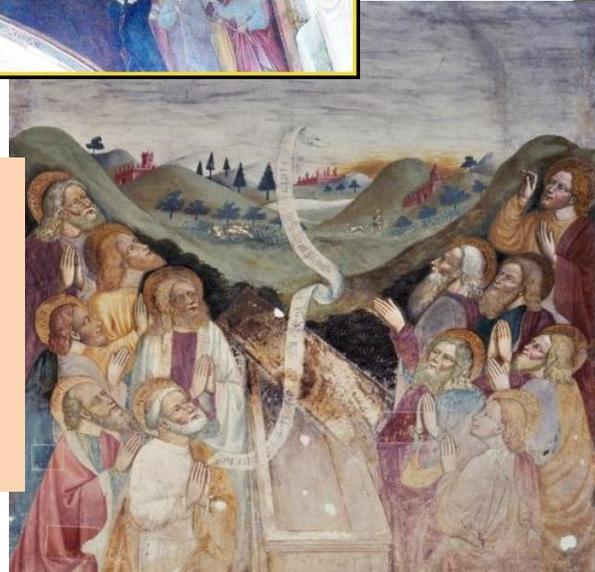


Anche a Milano è possibile applicare vantaggiosamente il ciclo aperto, che richiede canali e rogge d'acqua in cui smaltire le acque? Probabilmente sì, perché creando campi pozzi nelle aree periferiche dove necessita dare acqua all'agricoltura, possiamo tener bassa la falda anche nelle aree sensibili più centrali.

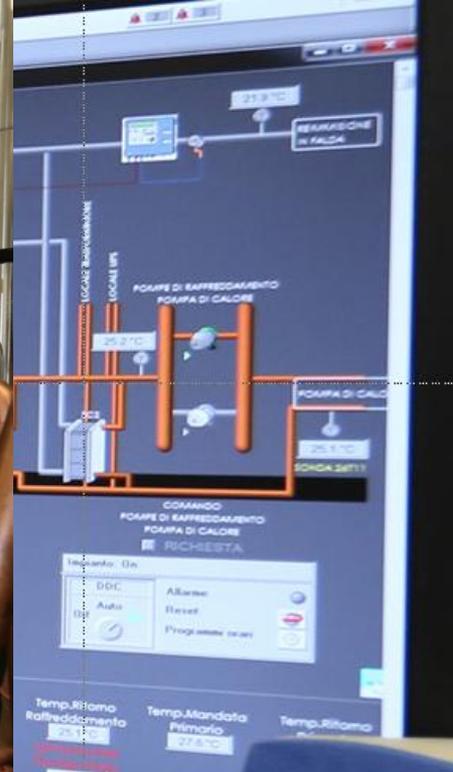


Le periferie, e in particolare il Sud Milano, presentano infatti alcune **zone d'ombra con carenza di acque irrigue.**

Una parte di queste acque irrigue può essere fornita dalla falda, il cui utilizzo per fini energetici consentirebbe di incrementare le disponibilità irrigue in modo consistente.



Nel Sud Milano ad esempio esistono edifici pubblici di grande interesse artistico, come le Abbazie di Chiaravalle, Mirasole e Viboldone

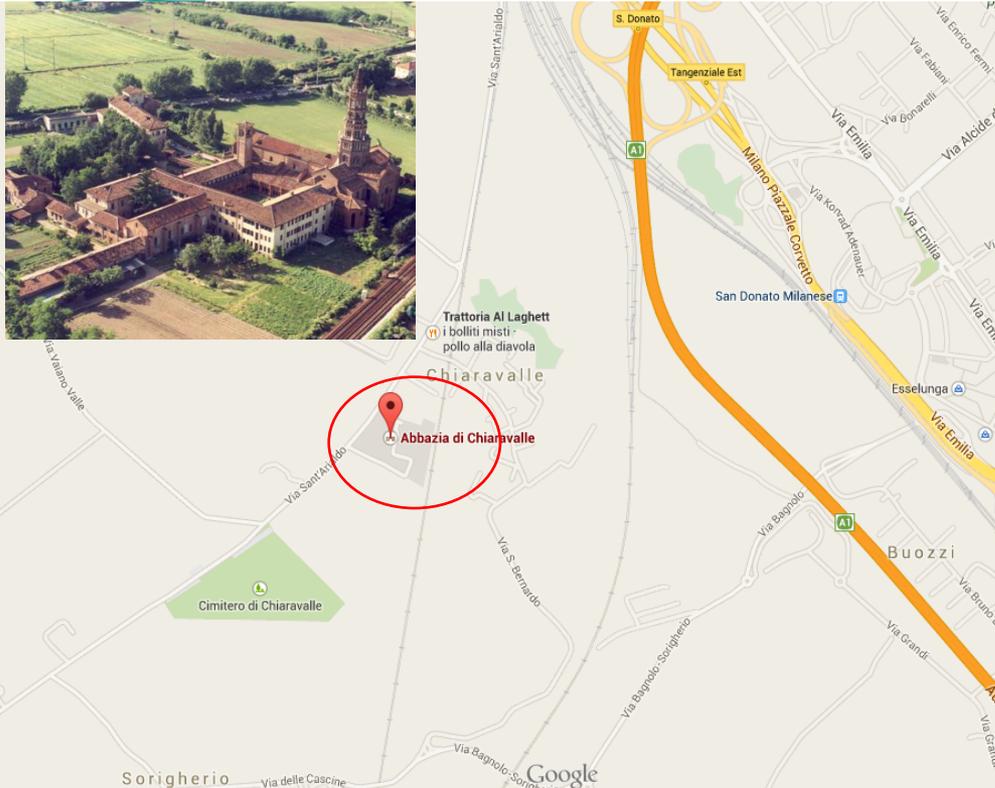


L'impianto a ciclo aperto della Basilica Palladiana di Vicenza, che scarica in un corpo idrico superficiale





Esempio : ipotesi di condizionamento termico dell'Abbazia di Chiaravalle



Ipotizzando un fabbisogno energetico pari a:
 $7.29 \cdot 10^6$ kcal/h



Pompa di calore deve generare: **8.5 MW termici**

Portata estratta da un singolo pozzo: **16.2 l/s**



Pompa di calore genera: **424 kW**



20 pozzi necessari per produrre: **8.5 MW termici**
con un prelievo da falda di circa 300 l/s

Con tale prelievo di acqua (324 l/s distribuiti in un'area pari circa a 14 ettari) dalla prima falda, si riesce ad ottenere un **riduzione del livello di falda** in tutte le aree circostanti l'Abbazia, generando così un beneficio immediato. Infatti spesso, a causa dell'innalzamento della quota piezometrica a seguito di forti precipitazioni, **le fondazioni dell'Abbazia di Chiaravalle risultano allagate, come è risultato in un recente convegno (relazione della prof. L.Scesi).**

Le sperimentazioni eseguite nel Sud Milano

L'area **considerata** permette, **con l'estrazione di circa un metro cubo/s con pozzi che si spingono fino a 20 m di profondità** o **dalle cave**, un abbassamento della falda consistente, come provano le sperimentazioni eseguite a suo tempo dalla Provincia di Milano.

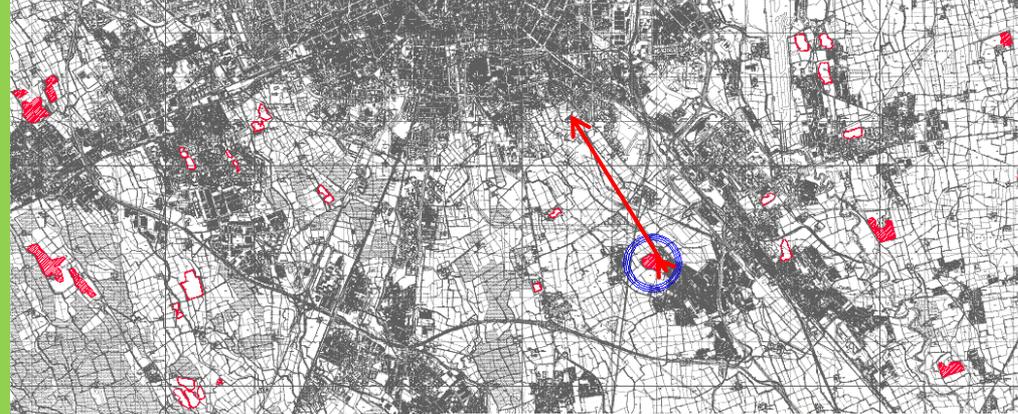
Nel 1998, quando il problema del sollevamento della falda era ormai chiaro, si era valutato in poco meno di 10 metri cubi al secondo il quantitativo di acqua da estrarre per mantenere i livelli di falda costanti.

Quindi si sperimentò la possibilità di abbassare il livello delle cave alimentando la rete irrigua.

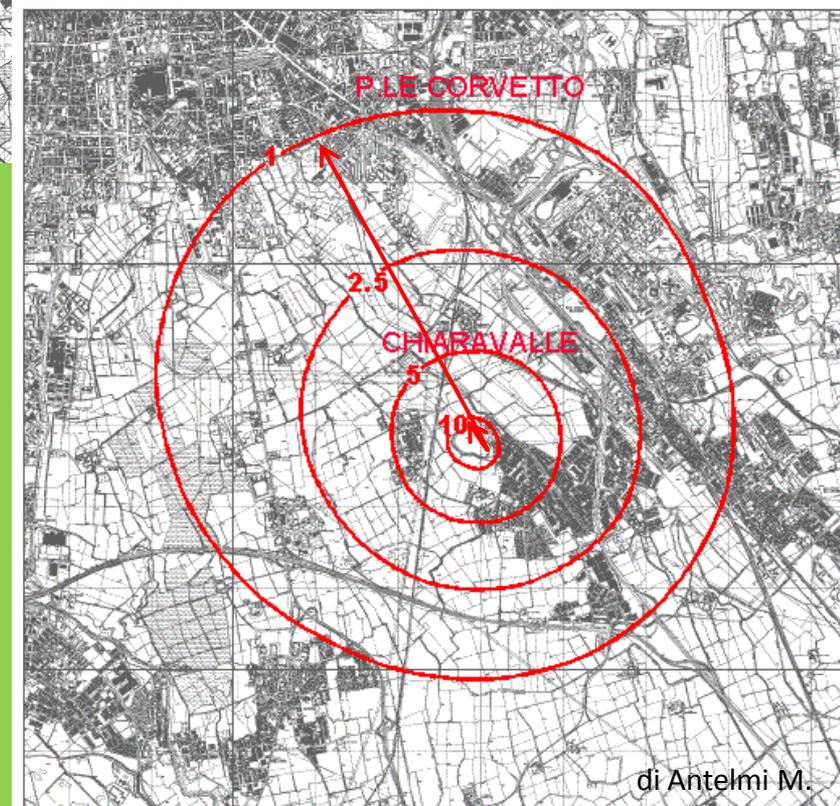
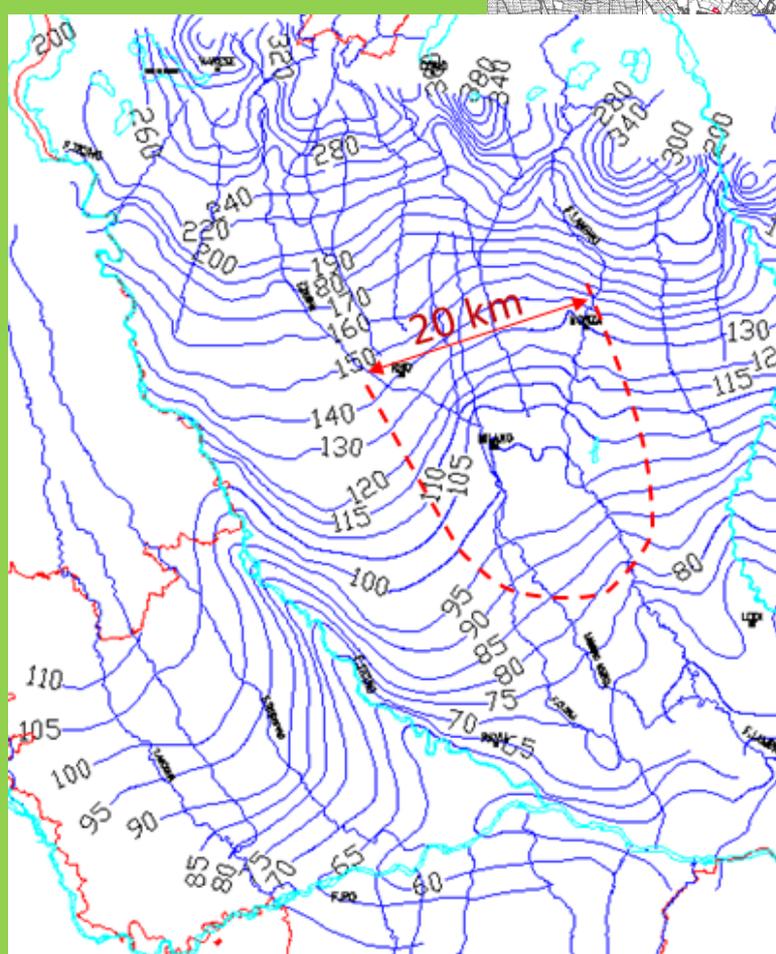
Nella zona della sperimentazione si accertò che esistevano **difficoltà di recapito** nei corsi d'acqua quando venivano superati i **2,5 m³/s**.

I dati raccolti sui parametri del sottosuolo con una serie di prove dirette (la trasmissività dell'acquifero risultò ad esempio di circa **0.045 m²/s**, **quindi elevata**) permisero la costruzione di **un modello matematico e di calcolare gli abbassamenti nell'area circostante i punti di prelievo** utilizzando le misure compiute in alcuni punti.

Si è calcolato che per stabilizzare i livelli di falda a Milano sono necessari prelievi di poco meno di 10 m³/s



CAVE SUD MILANO



Effetti del DRENAGGIO dalla CAVA POMPAGGIO 2 metri cubi/s - DURATA 90 giorni

Nel 1999 il Politecnico presentò uno studio per l'impiego di 217 pozzi che avrebbero permesso lo sfruttamento geotermico e il controllo della falda.

Da queste analisi e da altre successivamente compiute, risulta che il riscaldamento dell'ordine di uno-due mila appartamenti a uso residenziale comporta l'estrazione fra 0,8 e 1 m³/s di acqua , con l'impiego di un elevato numero di pozzi (da 40 a 60), e un abbassamento medio della falda di poco più di 2 m.

Per il riequilibrio del bilancio idrico di Milano, un solo intervento non è quindi sufficiente: sono necessari diversi campi pozzi preferibilmente disposti in modo da consentire il controllo dei livelli di falda nelle aree della periferia meridionale, che sono le più sofferenti.

Nelle aree periferiche una ragionevole previsione dello sviluppo futuro è l'insediamento di fattorie . L'allevamento e la conservazione degli alimenti possono ricevere consistenti vantaggi economici dall'utilizzo degli impianti geotermici o a scambio di calore. Anche in questo senso sono state fatte sperimentazioni con buoni risultati.



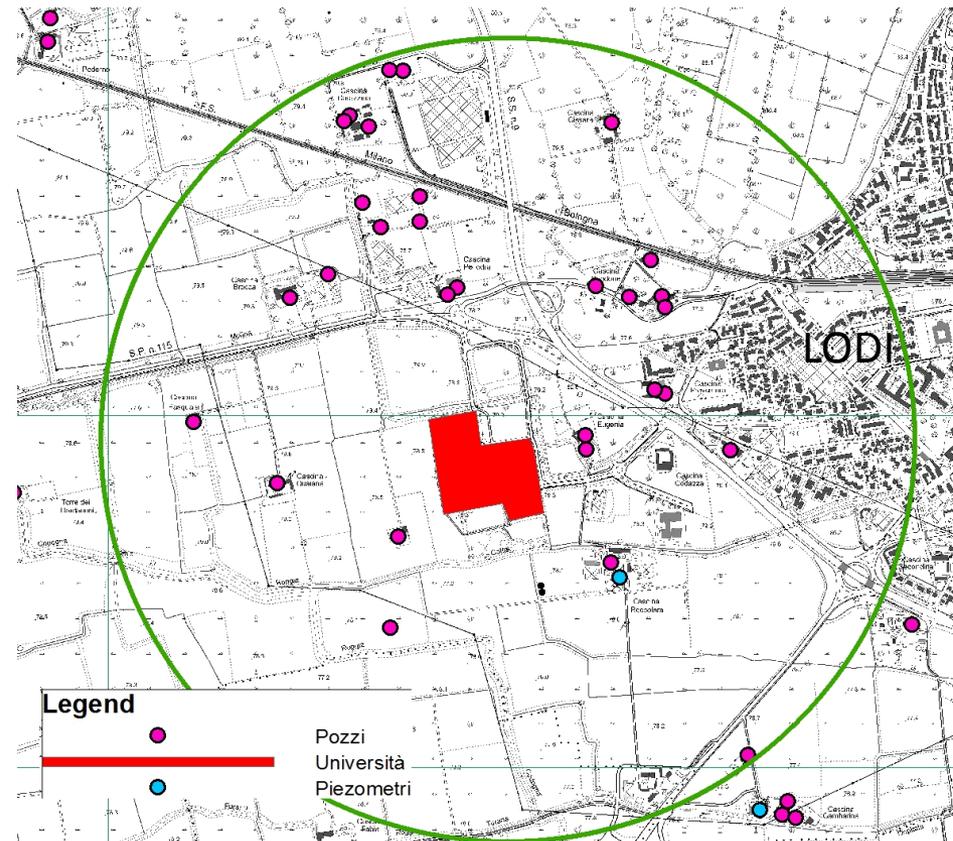
EcoZoo – campo sperimentale a circuito chiuso



L'applicazione del ciclo chiuso è molto diffusa nelle **aree residenziali**.

E' stata compiuta un'indagine conoscitiva sulla geologia del sito utilizzando i dati ricavati dai molti pozzi e piezometri già presenti nella zona (contrassegnati con i punti colorati). Si è usufruito della collaborazione fra Enti pubblici e società private per verificarne i vantaggi anche in **campo agricolo**

Nella figura è rappresentata la distribuzione dei pozzi e dei piezometri utilizzati per la ricostruzione del modello concettuale dell'area che copre circa 10 km²

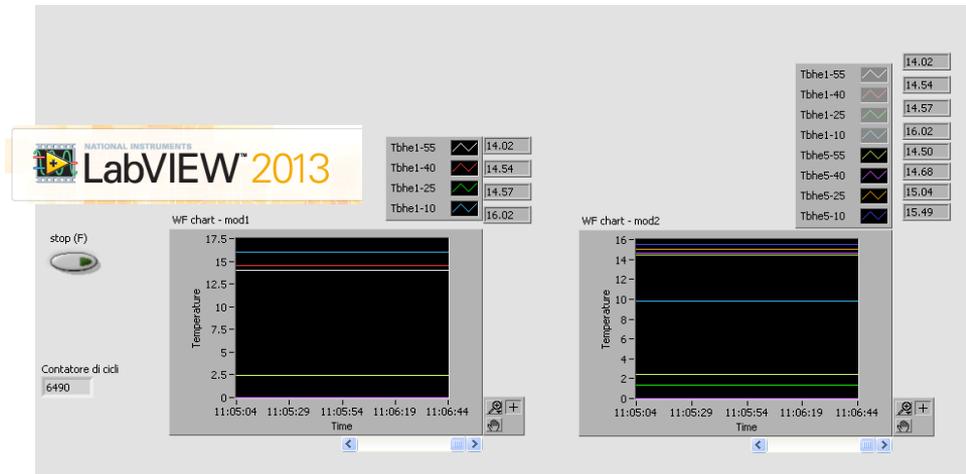
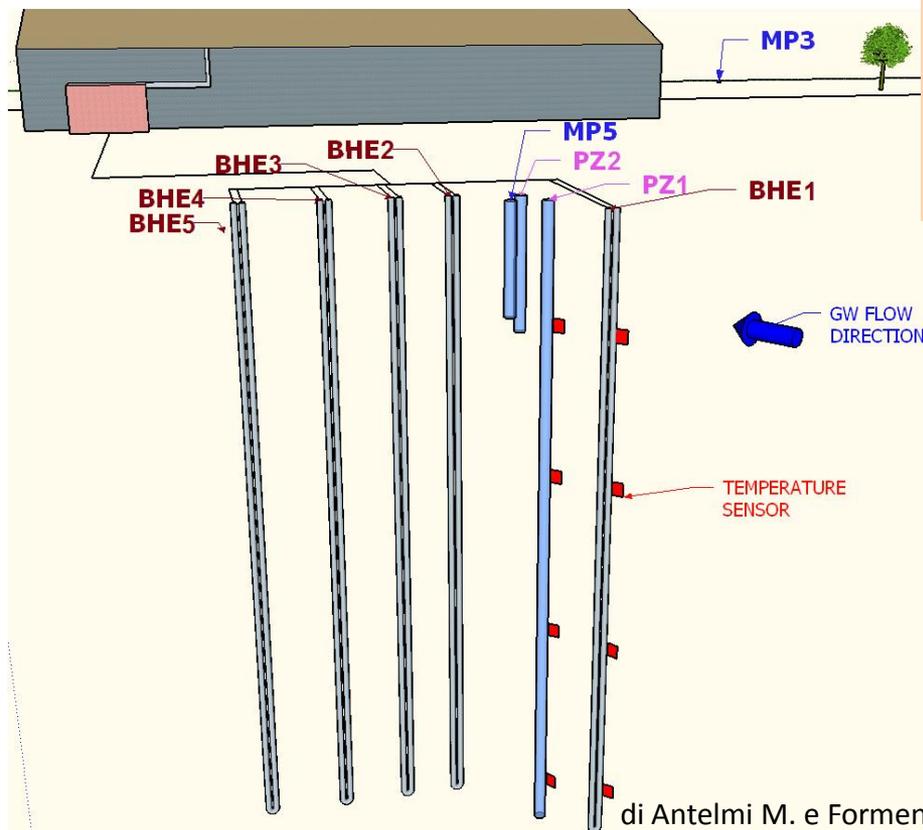


CICLO CHIUSO : EcoZoo – GSHP campo sperimentale

Un esempio di geoscambio a circuito **chiuso** (GSHP) applicato a queste finalità è quello di EcoZoo, progetto realizzato a Lodi presso il Centro Zootecnico Didattico-Sperimentale.

Il plume termico generato da 5 sonde è stato monitorato mediante un sistema costituito da 3 piezometri.

L'efficienza termica del sistema è stato monitorato mediante un sistema di acquisizione dati (T, Q_{aria} , consumi, umidità....) posto a distanza

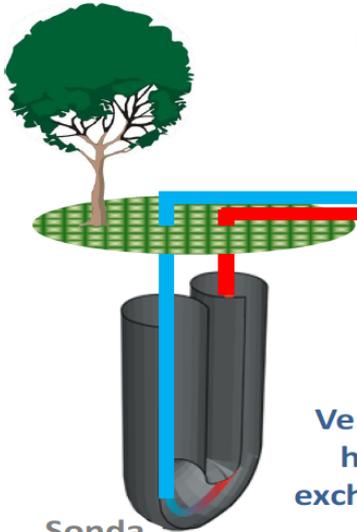




EcoZoo – GSHP experimental field

The system provides **heating, cooling and ventilation** to the piglet room (50 m²)

| HEAT PUMP - HEATING | |
|---------------------------------|-----------|
| Heating capacity P_t | = 14.4 kW |
| Water temperature - user side | = 40÷45°C |
| Water temperature - ground side | = 0÷3°C |
| Coefficient Of Performance COP | = 3.2 |

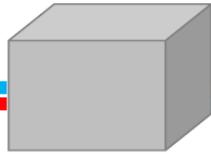


Vertical heat exchanger

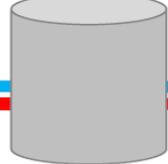
Sonda geotermica verticale

| GROUND HEAT EXCHANGERS | |
|----------------------------------|--|
| 5 U-pipe exchangers @ 60 m depth | |

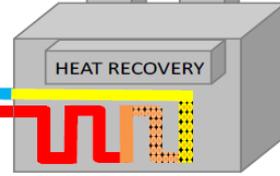
Pompa di Calore
Heat pump



Accumulo
Storage

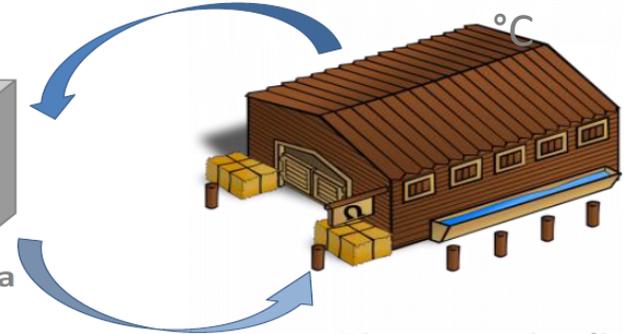


Unità Trattamento Aria
Air Handling Unit



| AIR HANDLING UNIT | |
|---------------------|------------------------|
| Air flow rate | 1200 m ³ /h |
| Recovery efficiency | $\eta = 78\%$ |

Scambio Aria
Air exchange



Ricovero animali
Post-weaning
piglet room

di Antelmi M. e Formentin G.



di Antelmi M.



di Antelmi M.



EcoZoo – GSHP campo sperimentale – utilizzo dei modelli matematici per la previsione del plume termico

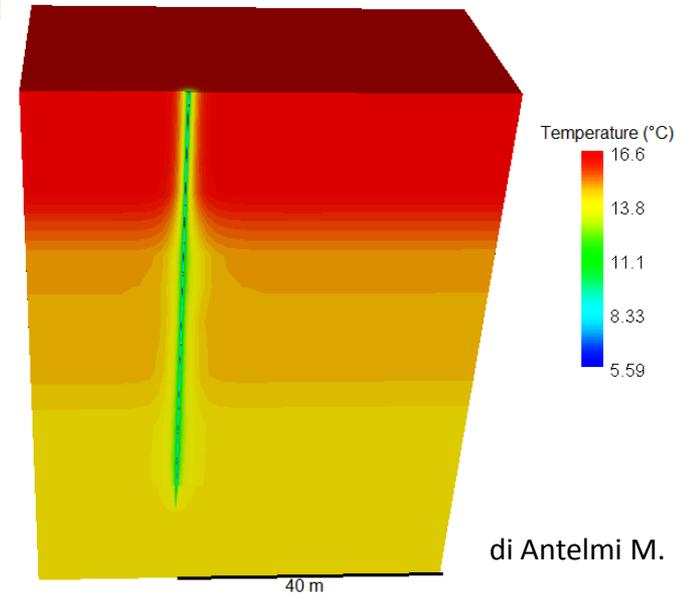
Test di funzionamento di riscaldamento invernale:

Spessore dell'acquifero = **78.8 m**

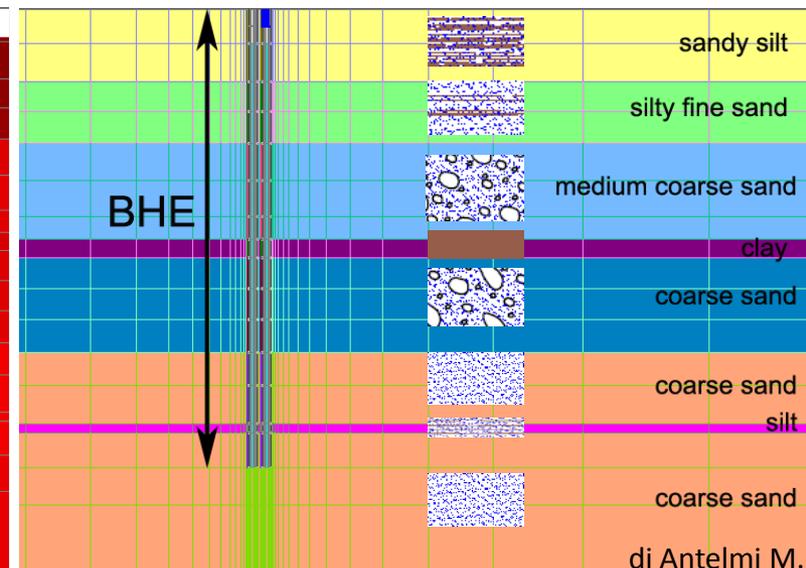
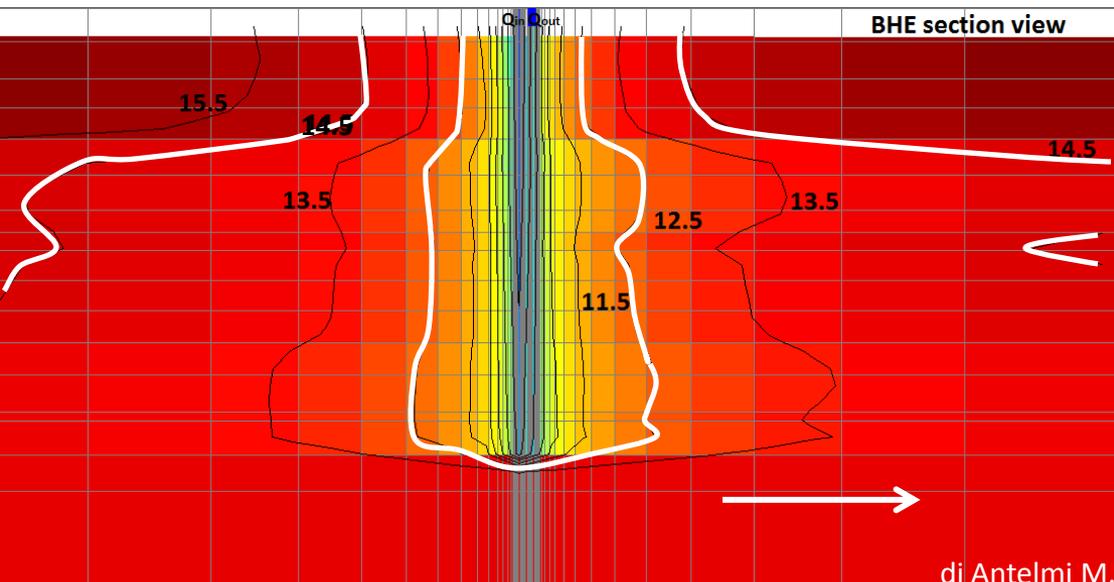
Durata della simulazione = **17 giorni**

Temperatura del fluido in ingresso = **da 8.85 a 5.59 °C**

Flusso del fluido di scambio = **465 kg/ora**



di Antelmi M.





Note conclusive

Le considerazioni svolte mostrano che l'andamento delle temperature nel sottosuolo può essere previsto e controllato con tecniche di sicuro affidamento, che permettono di progettare gli impianti in modo da rimanere entro i parametri ambientali fissati dagli Enti.

1. Si è confermato che il **circuito chiuso non presenta problemi anche nei centri urbani**
2. Nelle **aree periferiche** i vantaggi sia dell'uno sia dell'altro sistema sono apparsi rilevanti per **gli usi agricoli**.
3. Anche l'uso del circuito aperto ha aspetti di interesse.

Infatti, anche qualora non fosse possibile ottenere dallo sfruttamento della risorsa geotermica tanto l'abbassamento del livello di falda quanto il miglioramento performance energetiche dell'edificio per l'impossibilità di scaricare in corpo idrico superficiale, **un sistema che sfrutta l'acqua di falda ha una migliore efficienza termica e un vantaggio ambientale rispetto ad un sistema a circuito chiuso.**

Infatti il **sistema a circuito chiuso** richiede una maggiore lunghezza complessiva delle sonde, fatto che dà luogo a un rischio teorico maggiore di mettere in connessione gli acquiferi.

Il sistema a circuito aperto presenta **connotazioni molto favorevoli per le aree periferiche**, soprattutto perché risulta possibile lo scarico (limitato entro precisi confini) nei corpi idrici superficiali.

E' da tenere comunque presente che lo scarico in corpo idrico superficiale (rogge, canale) richiede il versamento di un canone annuale oltre alla concessione da parte dell'ente gestore.