

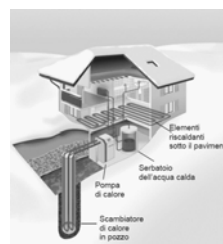
## STUDIO E MAPPATURA DELLE POTENZIALITA' DELLA GEOTERMIA A BASSA ENTALPIA NEL TERRITORIO DELLA PROVINCIA DI CUNEO

Ing. Alessandro Casasso, Prof. Rajandrea Sethi  
DIATI – Politecnico di Torino

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

### Il progetto

- La fattibilità, l'efficienza e la convenienza economica delle pompe di calore geotermiche dipendono fortemente dalle caratteristiche del sottosuolo presenti nel sito di installazione e dalla tecnologia scelta (circuito chiuso o aperto);
- La scarsa conoscenza di queste condizioni è una delle cause della scarsa diffusione di questi impianti;
- Da queste premesse è nata l'idea di un progetto di mappatura delle potenzialità di questa tecnologia nel territorio cuneese;
- Fasi del progetto:
  - Raccolta dati geologici, idrogeologici, climatici sulla Provincia;
  - Studio delle leggi e normative in materia;
  - Elaborazione di metodi per stimare indicatori quantitativi sulla fattibilità e convenienza di differenti tipologie d'impianto;
  - Mappatura e conclusioni.



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

## Documenti disponibili sul sito

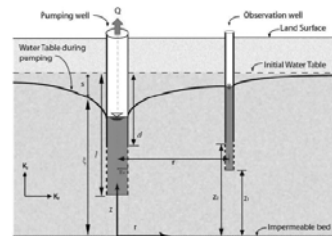
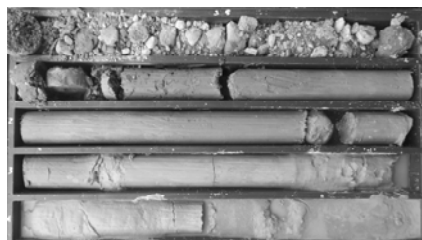
- Sito internet:  
<http://www.polito.it/groundwater/geotermia/>
- Documenti:
  - Relazione tecnica
  - Mappa conducibilità termica stimata
  - Mappa potenziale geotermico
  - Sintesi non tecnica
  - Pdf della brochure
- Per informazioni contattare [alessandro.casasso@polito.it](mailto:alessandro.casasso@polito.it)



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

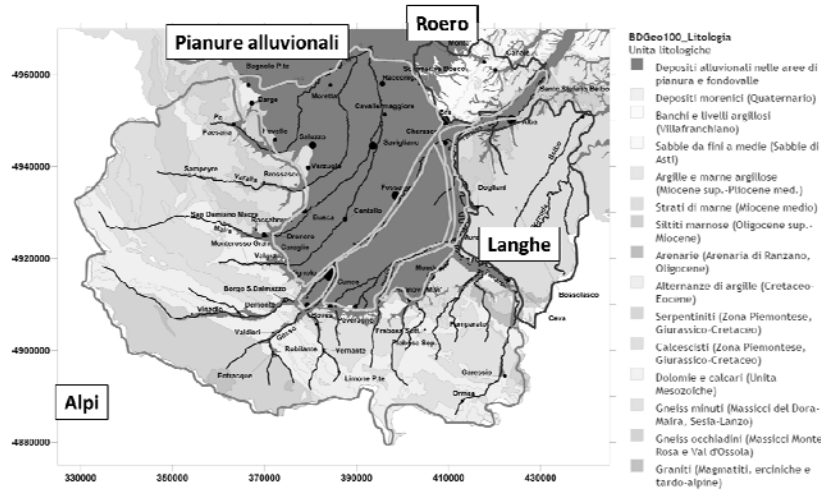
## Quali dati raccogliere?

- Il potenziale geotermico di un impianto a circuito chiuso dipende da:
  - Conducibilità e capacità termica del terreno:
    - Nelle litologie compatte, dipende dalla litologia stessa;
    - Nelle litologie sedimentarie, dipende dal grado di saturazione;
  - Temperatura del terreno:
    - Temperatura media annua dell'aria (→ quota);
    - Gradiente geotermico;
    - Copertura nevosa;
- Il potenziale geotermico di un impianto a circuito aperto dipende da:
  - Quale portata posso estrarre:
    - Conducibilità idraulica;
    - Spessore saturo;
  - Quale portata posso reiniettare:
    - Soggiacenza e presenza di manufatti sotterranei;
- Necessarie semplificazioni!



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

## Geologia della Provincia di Cuneo



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

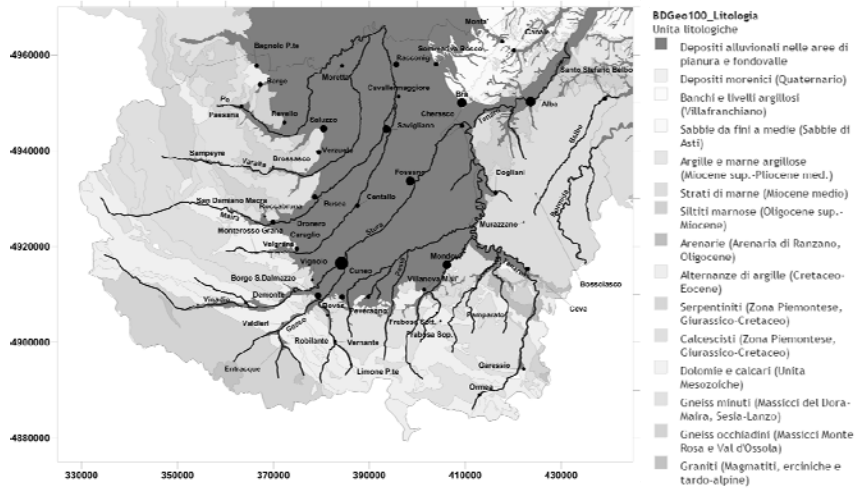
## Origine e suddivisione delle Alpi

- Le Alpi occupano circa metà del territorio della Provincia;
- Formazione:
  - Nel tardo Cretaceo (~100 Ma), subduzione della placca Europea sotto quella Adriatica;
  - Eocene (56 Ma) collisione e formazione di prismi di accrezione provenienti da diverse placche:
    - Massiccio Dora-Maira (DM): gneiss delle basse valli Maira Varaita e della valle Po;
    - Zona Piemontese: calcescisti e serpentiniti;
    - Zona Brianzonese: gneiss e calcari;
    - Zona Sub-Brianzonese: fascia di rocce sedimentarie;
    - Dominio Elvetico: Massiccio dell'Argentera
- Si tratta generalmente di rocce di elevata conducibilità termica, oltre 2.5 W/(mK)



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

## Carta geologica

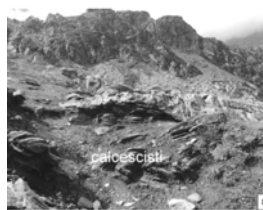


Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, [alessandro.casasso@polito.it](mailto:alessandro.casasso@polito.it))  
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

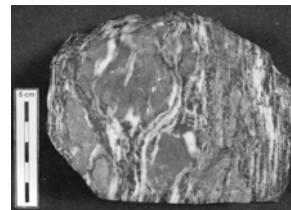
## Rocce delle Alpi cuneesi



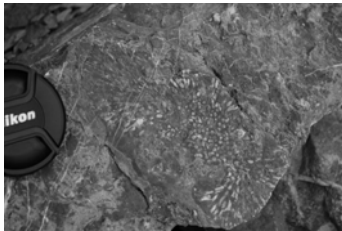
Gneiss alta valle Po



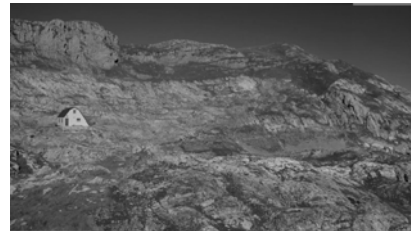
Calcescisti Crissolo (percorso geoturistico)



Serpentinite delle Alpi Cozie



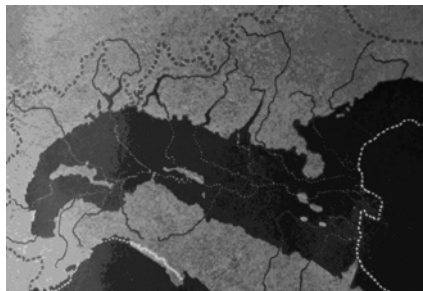
Calcari del Marguareis (a sx) e dolomie della Cima della Fascia (a dx), tra le valli Pesio e Vermenagna



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

## La Pianura Padana

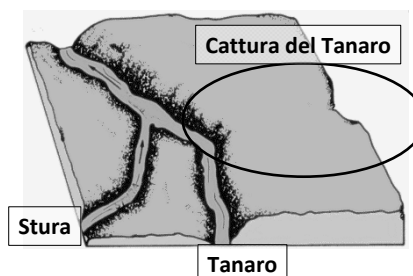
- Nel tardo Cretaceo (~100 Ma), la Pianura Padana era un mare e rappresentava la parte frontale delle catene appenniniche e alpine in formazione;
- Sedimenti terziari (sabbie e argille) di origine marina che si depositano fino al Villafranchiano Superiore (2.5 Ma);
- La zona attualmente occupata da Langhe e Roero era un altipiano di sedimenti del Miocene (25Ma) facilmente erodibili.



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

## Langhe e Roero

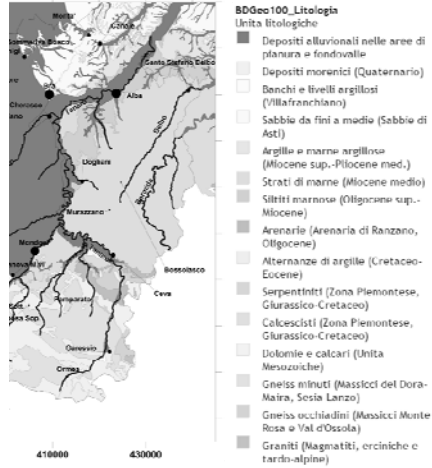
- Il fiume Tanaro, fino a circa 100mila anni fa, sfociava a Carmagnola (TO);
- Il sollevamento irregolare e l'erosione causata da un corso d'acqua a est di Bra causò la "cattura del Tanaro";
- Conseguenze:
  - Spostamento foce Tanaro da Carmagnola (TO) a Bassignana (AL);
  - Approfondimento di tutti i tributari del Tanaro;
  - Formazione delle colline delle Langhe per escavazione;
  - Suddivisione della pianura cuneese.



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

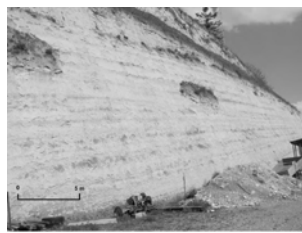
## Langhe e Roero

- Le Langhe sono composte prevalentemente da marne (rocce sedimentarie di calcare e argilla), siltiti (prodotto della cementazione del limo) e argille;
- Il Roero è composto da banchi e livelli argillosi del Villafranchiano (2.5 Ma), sabbie dell'Astiano e da marne;
- Queste litologie hanno media conducibilità termica, attorno a 2 W/(mK).

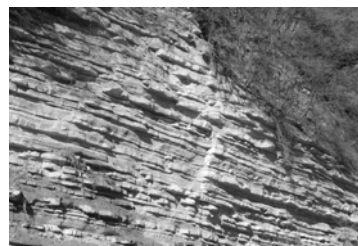


Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, [alessandro.casasso@polito.it](mailto:alessandro.casasso@polito.it))  
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

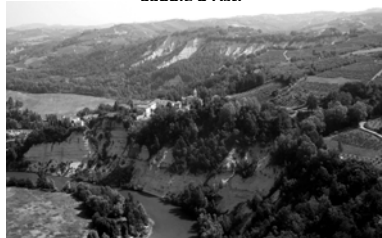
## Langhe e Roero



Sabbie d'Asti



Marna a strati (Cortemilia)



Rocche di Farigliano



Marne di Sant'Agata Fossili (Tanaro, Alba)

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

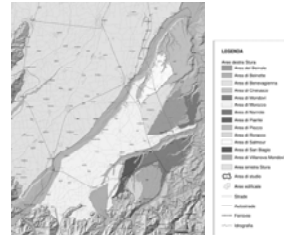
## Pianure alluvionali

- Sedimenti quaternari (da 2Ma ad oggi) di origine fluviale;
- Le profonde incisioni dei tributari del Tanaro hanno suddiviso nettamente la pianura in:
  - Sinistra Stura;
  - Destra Stura;
  - Fondovalle Tanaro
- Conducibilità termica:
  - sedimento saturo ( $\lambda_{wet}=2.4 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ );
  - sedimento secco ( $\lambda_{dry}=0.5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ );
  - Media pesata tra zona saturata e non saturata:

$$\lambda = d \cdot \lambda_{dry} + (L-d) \cdot \lambda_{wet}$$

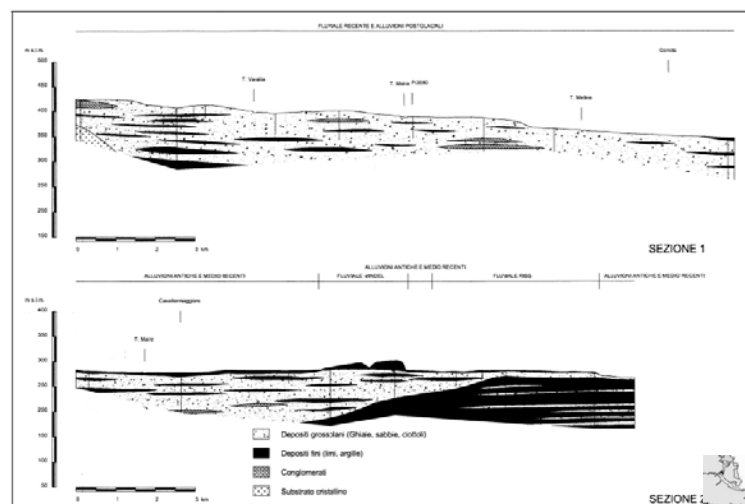
dove:

- d = soggiacenza
- L = profondità di valutazione = lunghezza sonda = 100 m



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

## Pianure alluvionali



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

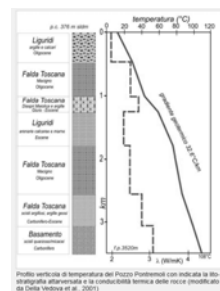
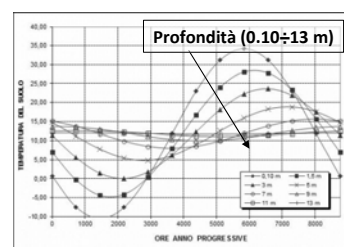
## Conducibilità termica



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

## Temperatura terreno

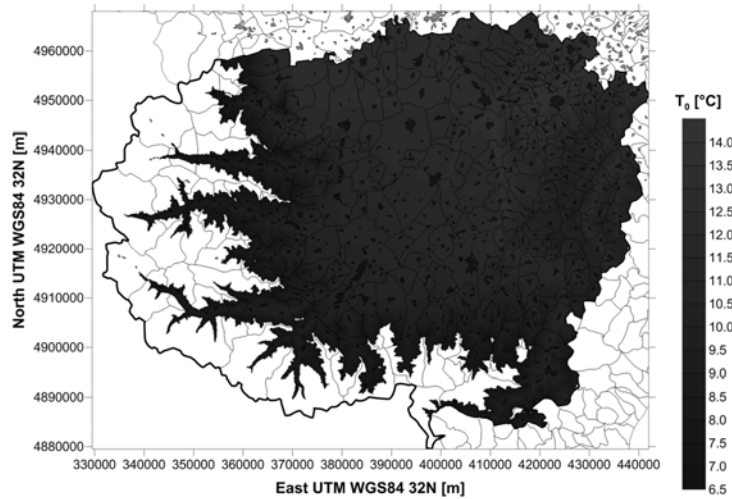
- Il terreno ha una temperatura pressoché costante durante l'anno, a partire da profondità molto limitate (5-10 m);
- A basse profondità, la temperatura del terreno è leggermente superiore ( $\sim 1.5^\circ\text{C}$ ) a quella media annua dell'aria;
- La temperatura cresce con la profondità (circa  $3^\circ\text{C}/100\text{m}$ ) a causa del gradiente geotermico;
- Dati disponibili:
  - Campagna geotermometrica ARPA (2009);
  - Dati di temperatura dell'aria di stazioni meteorologiche;
  - Digital Terrain Model;
- Formule empiriche:
  - $T_{\text{suolo}} = T_{\text{aria}} + 1.5^\circ\text{C}$ ;
  - $T_{\text{suolo}} = f(z)$  (Signorelli e Kohl, 2004): scelta più cautelativa. Limite validità a 1500 m sim.



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



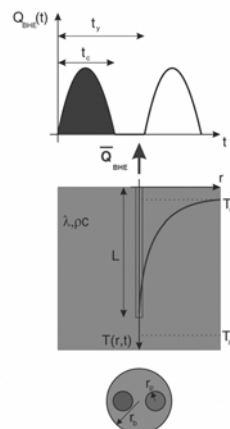
## Temperatura del terreno



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

## Potenziale geotermico: metodo G.POT.

- Metodo G.POT (Geothermal POTential) sviluppato nel corso del progetto;
- Dati in ingresso:
  - Termici terreno:
    - Conducibilità termica  $\lambda$
    - Capacità termica  $\rho c$
    - Temperatura terreno  $T_0$
  - Operativi di impianto:
    - durata stagione riscaldamento  $t_c$
    - temperatura minima fluido  $T_{lim}$
  - Sonda:
    - Raggio sonda  $r_b$
    - Numero (n) e raggio ( $r_p$ ) dei tubi
    - Conducibilità termica grout  $\lambda_{bf}$



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

## Potenziale geotermico: metodo G.POT.

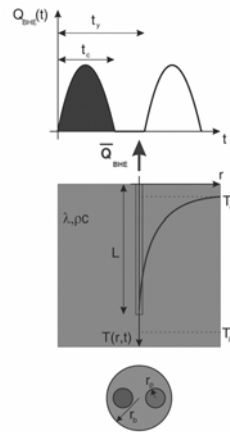
$$\bar{Q}_{BHE} = \frac{0.003504 \cdot (T_0 - T_{lim}) \cdot \lambda \cdot L \cdot t_c'}{g_1 \cdot \log(r_{p,eq}^2 / (4\alpha t_c')) + g_2 \cdot t_c' + g_3 + \lambda_{of} \cdot \log(r_b / r_{p,eq})}$$

Dove:

- $T_{lim} = -2^\circ\text{C}$
- $L = 100$  m (lunghezza sonda)
- Sonda a 2U (n=4) con tubi DN32, di diametro 15 cm e con grout da  $2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
- $t_c = 183$  d (15 ottobre – 15 aprile)

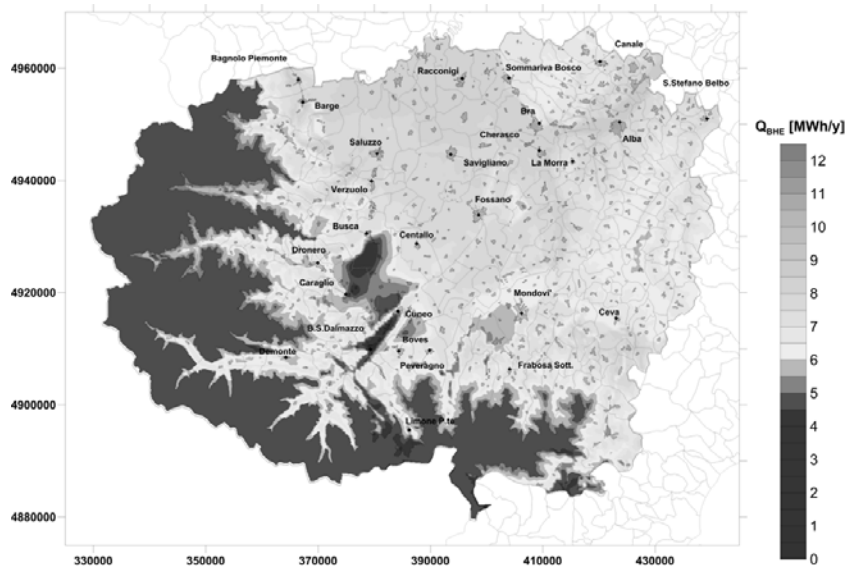
Risultato:

$Q_{BHE}$  = carico termico annuo che può essere estratto dalla sonda



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

## Mappa potenziale geotermico



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

## Utilizzo mappa potenziale geotermico

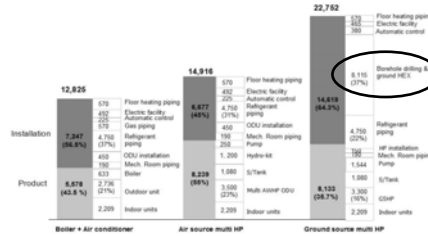
- Pompa di calore geotermica = investimento a medio-lungo termine;
- Potenziale geotermico → stima del numero di sonde necessarie per soddisfare il carico termico annuo.

Ad es., per 50 MWh/anno:

- Cuneo: 7 sonde (35÷42 k€)
- Fossano: 5 sonde (25÷30 k€)
- Alba: 4 sonde (20÷24 k€)

- Fattori da tenere in conto:

- Altre tecnologie:
  - Gasolio, GPL per aree non metanizzate;
  - Metano se disponibile;
  - Biomasse se disponibile area stoccaggio;
- Necessità di raffreddamento;
- Incentivi:
  - detrazioni fiscali (per privati);
  - conto termico (per PA).



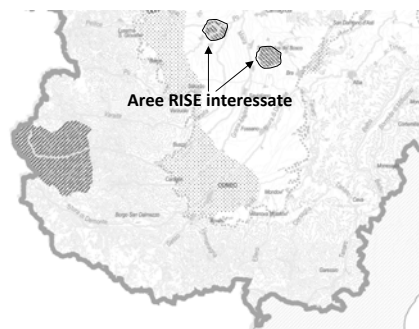
	Boiler + Air Conditioner	ASHP multi (dynamic temperature)	ASHP multi (dynamic temperature)	ASHP multi (fixed temperature)
Nominal Capacity	Boiler: 25kW (heating DHW) EDU: 13.7 kW	Floor heating: 12kW EDU: 13.7 kW	Floor heating: 12kW EDU: 13.7 kW	Floor heating: 12kW EDU: 13.7 kW
Efficiency (COP)	Boiler: 0.9, Air Conditioner: 3.0	5.3 (SCOP)	4.15 (SCOP)	3.38 (SCOP)
Initial Cost (US \$)	12.8 K	15.5 K (with 50% subsidy)	14.9 K (No subsidy)	14.9 K (No subsidy)
Fuel/Electricity cost	Gas: 0.05 \$/kWh, Elec: 0.051 - 0.04 \$/kWh (if local progressive tax)	0.075 kWh/No Prog Tax, 0.051 - 0.04 \$/kWh (if local progressive tax)	0.051 - 0.04 \$/kWh (if local progressive tax)	0.051 - 0.04 \$/kWh (if local progressive tax)
Yearly energy consumption	19,248 kWh	3,277 kWh	4,472 kWh	5,360 kWh
CO <sub>2</sub> emission	4,110 kg/year	1,390 kg/year	1,894 kg/year	2,287 kg/year
Energy bill (US \$)	1,108	229.4 - 440.4	596.1	884.9
Payback period	-	3.1 yrs - 4.3 yrs	4.3 yrs	5.5 yrs

Park et al., 2010

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

## Autorizzazione impianti con sonde geotermiche

- L'autorizzazione delle sonde geotermiche avviene a livello comunale con DIA o SCIA → informarsi presso Uffici Tecnici comunali;
- Limitazione di profondità al letto dell'acquifero superficiale all'interno delle zone di riserva (RISE) e delle zone di protezione dei campi pozzi di interesse regionale;
- Da PTA risultano due aree RISE in Provincia di Cuneo, dove il letto dell'acquifero superficiale è posto a circa 50 m di profondità.

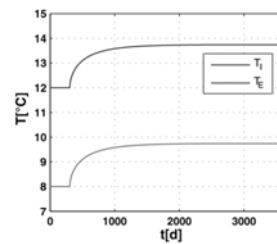
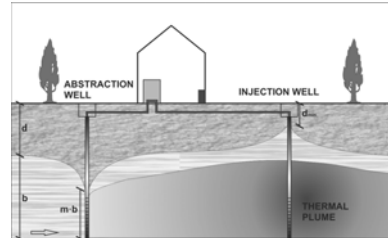


Piano di Tutela delle Acque, Reg. Piemonte, 2007

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

## Potenziale geotermico circuito aperto: metodo

- Negli impianti a circuito aperto, la possibilità di scambiare calore è limitata da una serie di aspetti progettuali:
  1. Abbassamento del livello nel pozzo di estrazione;
  2. Rischio di venuta a giorno della falda / allagamento manufatti sotterranei;
  3. Corto-circuitazione termica tra i pozzi;
  4. Plume termico e potenziale impatto con altri utilizzi della falda.
- (1) e (2): analizzabili su larga scala
- (3) e (4): richiedono analisi sul singolo impianto



Casasso e Sethi, 2015

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

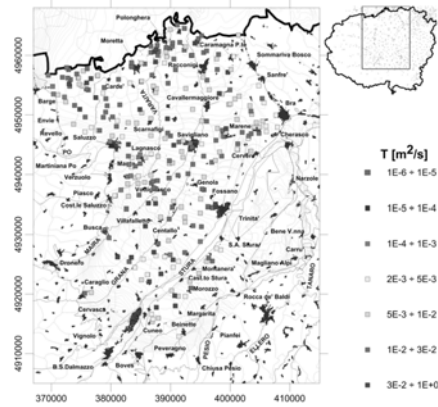
## Suddivisione acquiferi provincia Cuneo

- Il Piano di Tutela delle Acque della Provincia di Cuneo individua tre grandi acquiferi superficiali:
  - Sinistra Stura;
  - Destra Stura;
  - Fondovalle Tanaro;
- Per la Destra Stura, sono disponibili dati piezometrici e idrodinamici dell'acquifero superficiale, relativi alla porzione compresa tra Stura, Pesio e Tanaro, ma non tra Pesio ed Ellero;
- Non sono disponibili dati idrodinamici relativi al Fondovalle Tanaro.



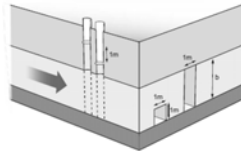
Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)  
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

### Trammissività dell'acquifero superficiale



- Trammissività = portata che fluisce in una sezione unitaria dell'acquifero, con gradiente unitario

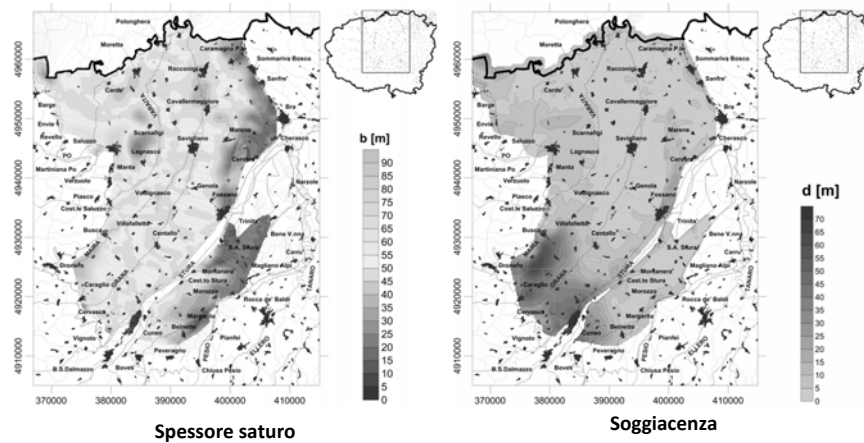
$$T = K \cdot b$$



- Trammissività elevata in buona parte della pianura ( $5 \cdot 10^{-3} \div 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ), con valori più ridotti ai bordi della pianura in Sinistra Stura.

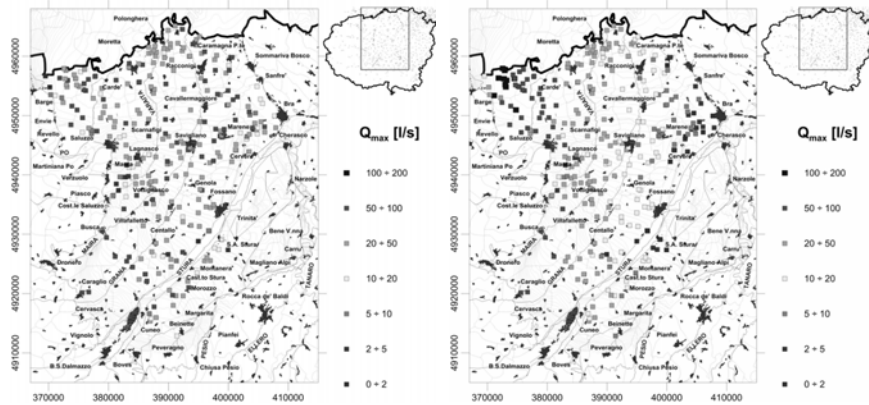
Alessandro Casasso (Politecnico di Torino – DIATI, alessandro.casasso@polito.it)  
Cuneo, 30 ottobre 2015 – Spazio Incontri Fondazione CRC

### Spessore saturo e soggiacenza



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

## Portata massima



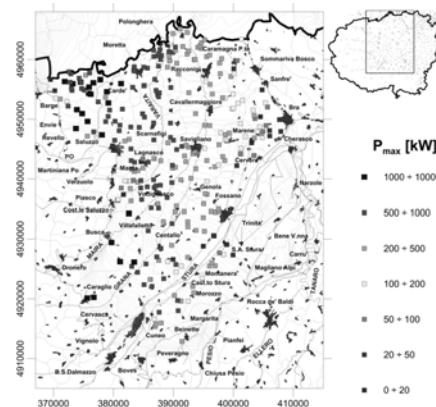
**Estraibile:** abbassamento in pozzo pari al 50% dello spessore saturo.

**Reiniettabile:** innalzamento del livello in pozzo fino a 3 m dal piano campagna

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

## Potenza massima installabile

- Potenza massima:
 
$$P_{\max} = Q_{\max} \cdot \Delta T \cdot (\rho c)_w$$
- Dove:
  - $Q_{\max}$  è la più bassa tra le due portate massime (prelievo/reiniezione);
  - $\Delta T = 5K$
- La reiniezione è il fattore limitante più forte in gran parte della Pianura Cuneese;
- Impianti con potenze superiori a 100 kW installabili in gran parte del territorio considerato nelle analisi.



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

## Autorizzazione impianti a circuito aperto

- Gli impianti geotermici a circuito aperto sono regolati in Piemonte dalla L.R. 6/2003 e dal regolamento DPGR 10R/2003 (concessioni a derivare):
  - Divieto di costruire opere che consentano la comunicazione tra falda profonda e superficiale;
  - Uso domestico limitato a 2 l/s e 5000 m<sup>3</sup>/anno. Con un  $\Delta T=5K$ , potenza massima 42 kW e produzione di 26.5 MWh/anno;
  - Obbligo misurazione volumi prelevati;
- Novità DPGR 1R/2014:
  - Uso geotermico incluso nell' "uso domestico", ma solo in insediamenti residenziali senza attività a scopo di lucro;
  - Procedura semplificata per rilascio concessione a derivare per impianti geotermici con portata massima < 20 l/s.

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

## Conclusioni

- Mappatura potenziale geotermico:
  - Impianti a circuito chiuso:
    - analisi effettuata per quote inferiori a 1500 m s.l.m. → escluso 25% territorio ma <1% popolazione;
    - buone potenzialità nelle aree più abitate della Provincia, esclusa Cuneo e fascia pedemontana;
  - Impianti a circuito aperto:
    - analisi effettuata nei principali acquiferi della Pianura Cuneese (Sx e Dx Stura). Gli acquiferi esclusi presentano generalmente una produttività limitata;
    - portate massime estraibili/reiniettabili;
    - ottime potenzialità per impianti di taglia medio-grande (>100 kW);
- Possibili sviluppi futuri:
  - Circuito chiuso:
    - valutazioni economiche sulla base della mappatura effettuata;
    - misure di temperatura in sonde e pozzi profondi per validare/rivedere il modello quota-temperatura;
    - Registro Sonde Geotermiche con raccolta dati da TRT;
  - Circuito aperto:
    - Utilizzo dati da prove di pompaggio di lunga durata;
  - Piani di Azione per l'Energia Sostenibile (PAES):
    - Come includere la geotermia tra i possibili interventi.

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