



Università degli Studi di Siena
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Corso di Laurea Specialistica in Geologia Applicata
Centro di GeoTecnologie

San Giovanni Valdarno 19 Dicembre 2008

***L'importanza dei parametri geologici per
l'ottimizzazione di sonde geotermiche applicate a
pompe di calore: stime teoriche e casi di studio in
Regione Toscana***

Relatore:
Dott. Fabio Mantovani

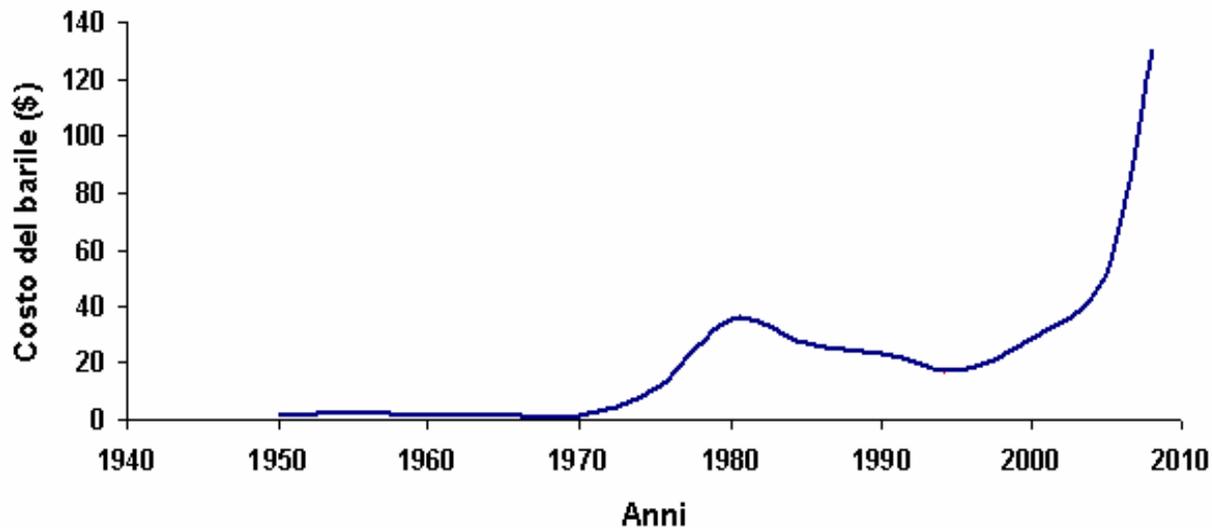
Tesi di Laurea Specialistica di
Alfia Pasquini

Correlatore:
Dott. Tommaso Colonna

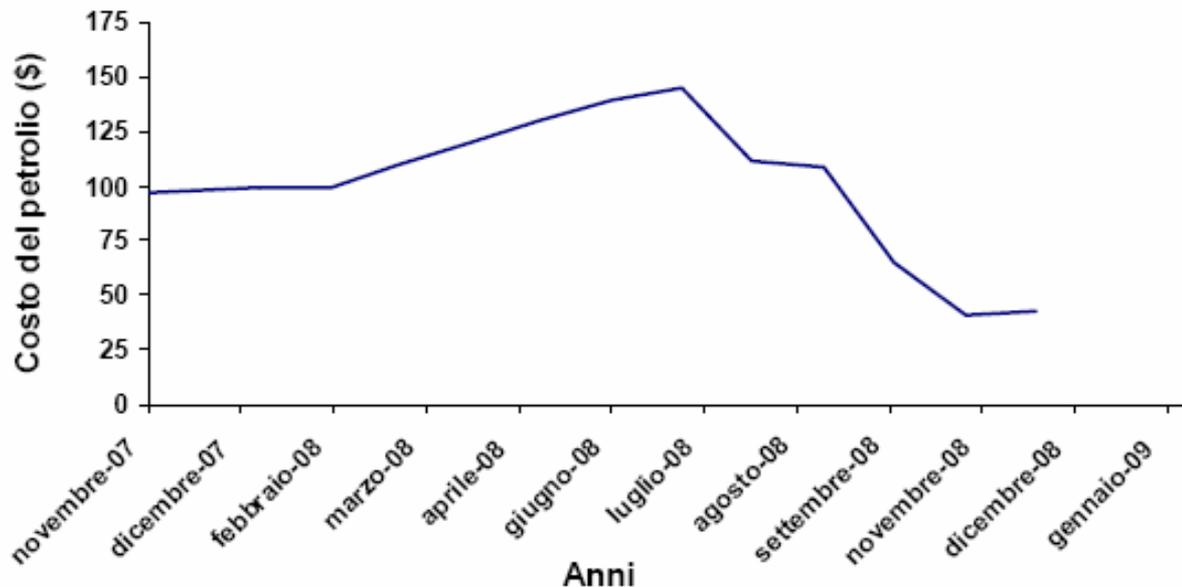
Sommario

- ✓ Problema energetico
- ✓ Geotermia e pompe di calore: alcune precisazioni
- ✓ Principi di funzionamento delle pompe di calore geotermiche
- ✓ Descrizione degli impianti
- ✓ Il contributo della geologia per l'ottimizzazione delle sonde geotermiche
- ✓ Normativa Europea e Nazionale
- ✓ Schema di istanza di autorizzazione di impianto a pompa di calore geotermica in Regione Toscana con i relativi miglioramenti
- ✓ Gli impianti "operativi" in Regione Toscana
- ✓ Toscana vs Svizzera
- ✓ Conclusioni e prospettive

Problema energetico



Il prezzo del barile di petrolio negli ultimi anni è aumentato, si è passati da ~ 17\$ al barile del 1995 ai 147\$ del luglio 2008.



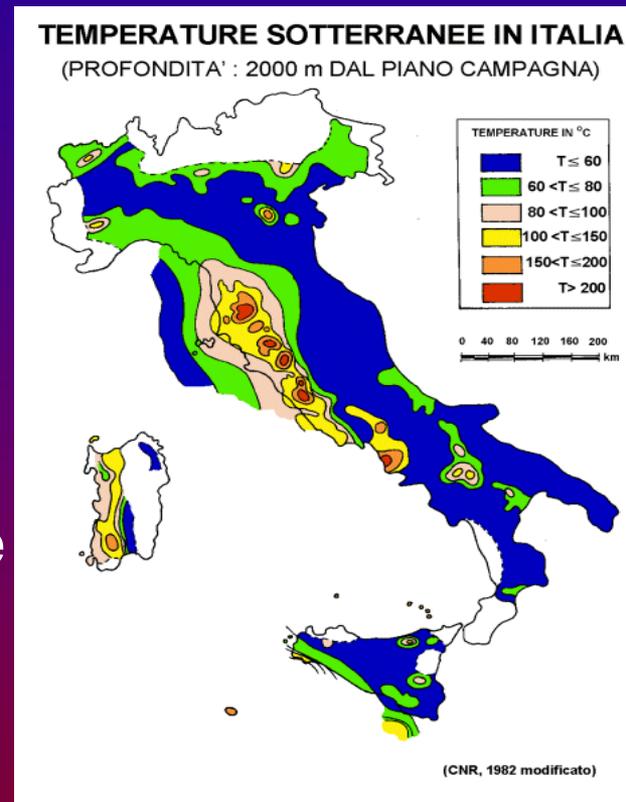
La risorsa geotermica ed il suo sfruttamento

L'energia geotermica è l'energia generata per mezzo di fonti geologiche di calore. Si sfrutta il GRADIENTE TERMICO terrestre; esso è mediamente:

$$\frac{\Delta T(z)}{\Delta z} \cong 0.03 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}}$$

Sulla base di questo dato si può realizzare una classificazione della risorsa*, in funzione della variazione della temperatura ΔT :

- geotermia ad **alta entalpia** $\Delta T > 150^{\circ}\text{C}$
- geotermia a **media entalpia** $90^{\circ} < \Delta T < 150^{\circ}\text{C}$
- geotermia a **bassa entalpia** $20^{\circ} < \Delta T < 90^{\circ}\text{C}$



* Muffler and Cataldi (1978)

La risorsa geotermica: sfruttamento del gradiente termico

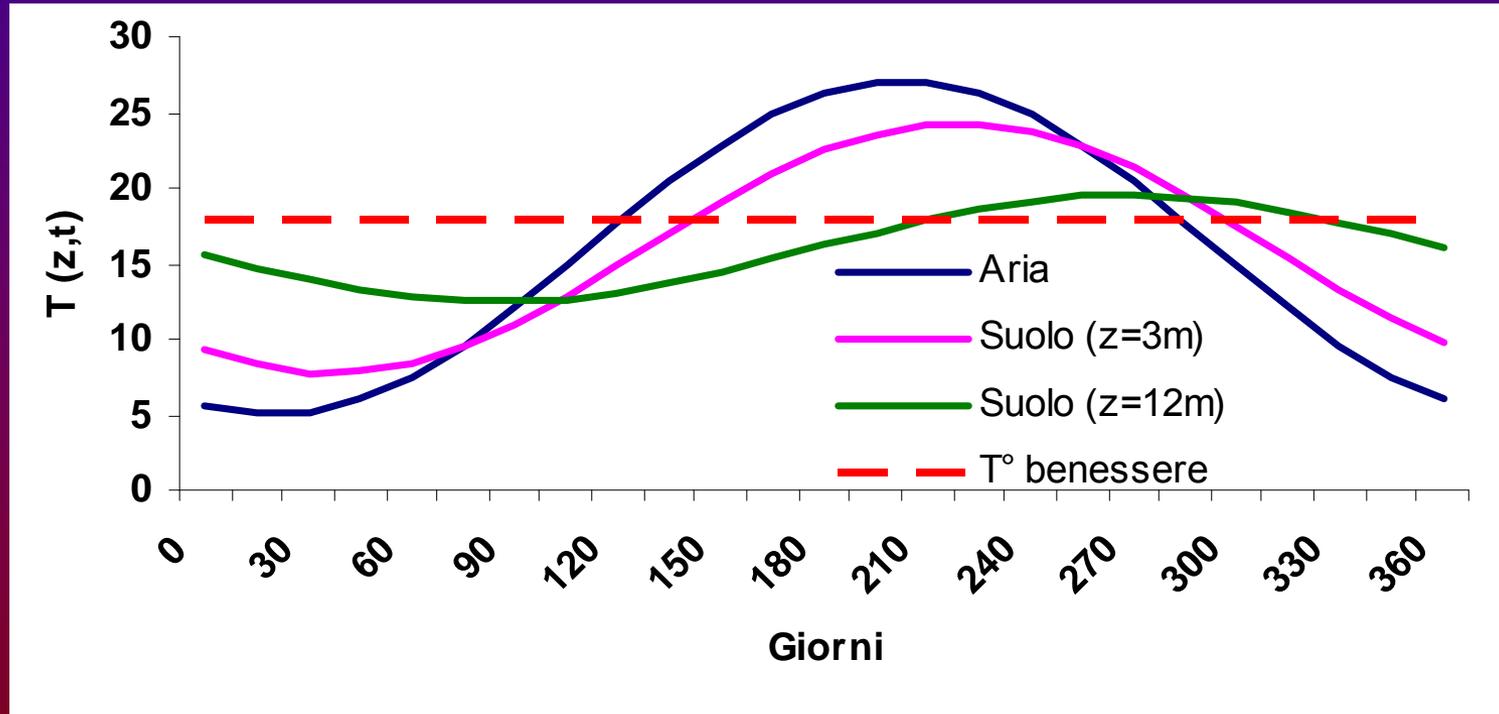
La risorsa geotermica che sfrutta il gradiente termico può essere impiegata per diversi scopi:

Diagramma di Lindal

Impiego	Temperatura [° C]	Risorsa geotermica
Centrale elettrica	$T > 100^\circ$	media - alta entalpia
Terme e piscine	$T > 30^\circ$	bassa entalpia
Riscaldamento mediante pannelli radianti	$T > 35^\circ$	bassa entalpia
Processi alimentari	$T > 40^\circ$	bassa entalpia
Acqua calda per uso domestico	$T > 40^\circ$	bassa entalpia
Riscaldamento serre	$T > 35^\circ$	bassa entalpia
Allevamento animali	$T > 30^\circ$	bassa entalpia
Acquacoltura	$T > 20^\circ$	bassa entalpia

Le pompe di calore geotermiche

Le **pompe di calore geotermiche** non sfruttano direttamente il gradiente di temperatura. Sfruttano la caratteristica del terreno di avere una massa di grande capacità termica e di mantenere una temperatura quasi costante per tutto l'anno.



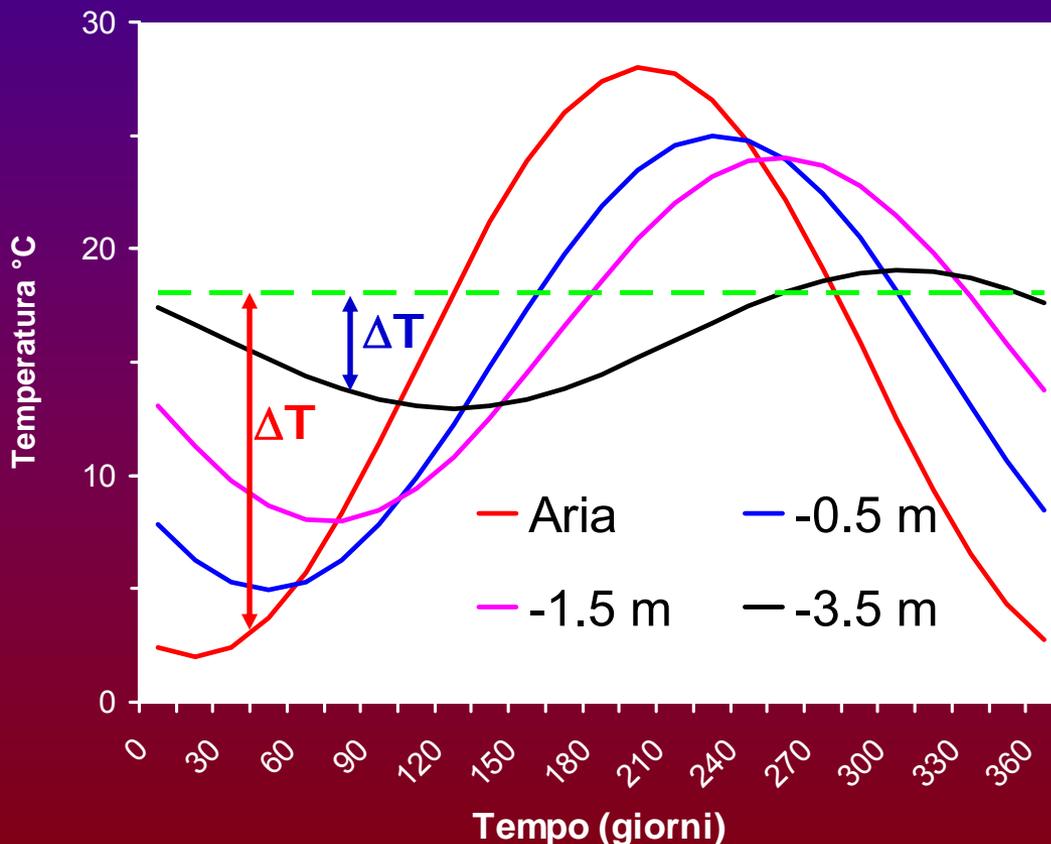
Prestazioni energetiche di una pompa di calore

La resa di una pompa di calore è misurata dal **coefficiente di prestazione "COP"**, dato dal rapporto tra energia resa ed energia consumata.

$$COP = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

T_1 = T° della sorgente con cui si scambia calore

T_2 = T° acqua nell'impianto in casa

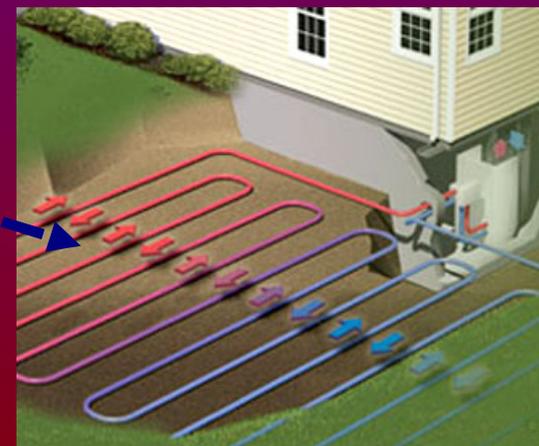
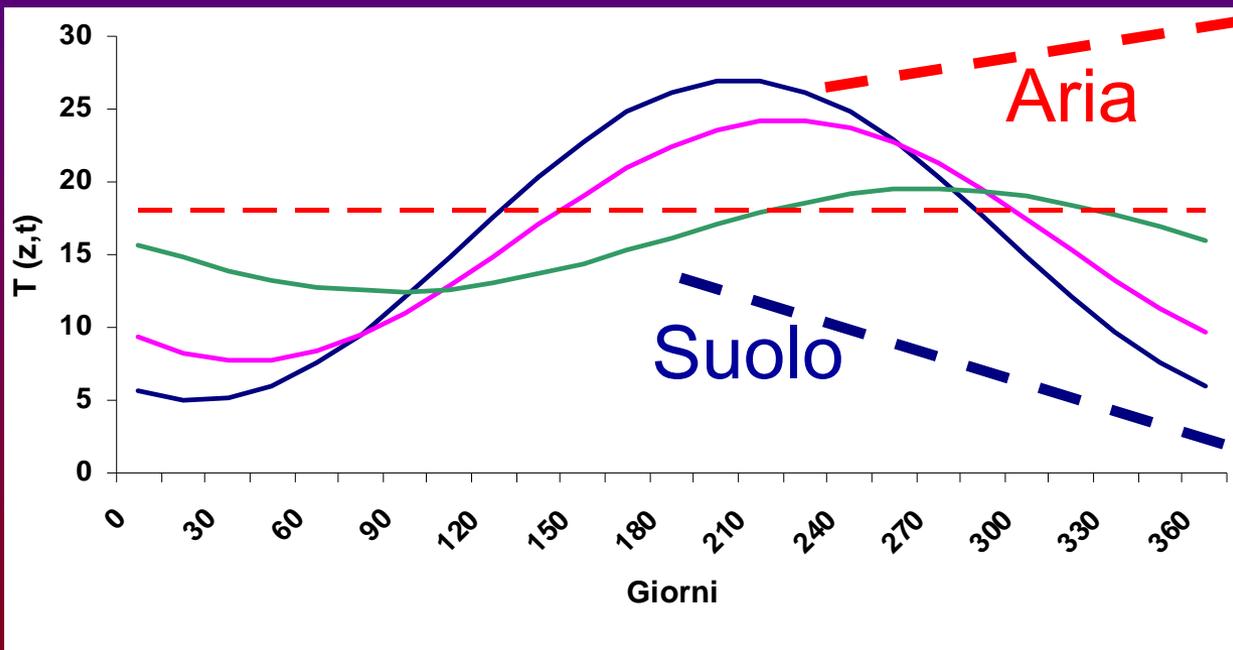


T_{acqua}	C.O.P.
15° C	+++
12° C	++
9° C	+

Alla ricerca di un buon scambiatore di calore...

Parità di consumo energetico ~ 1kW

T_1	C.O.P.	Guadagno
Suolo	> 4	
Aria	< 3	



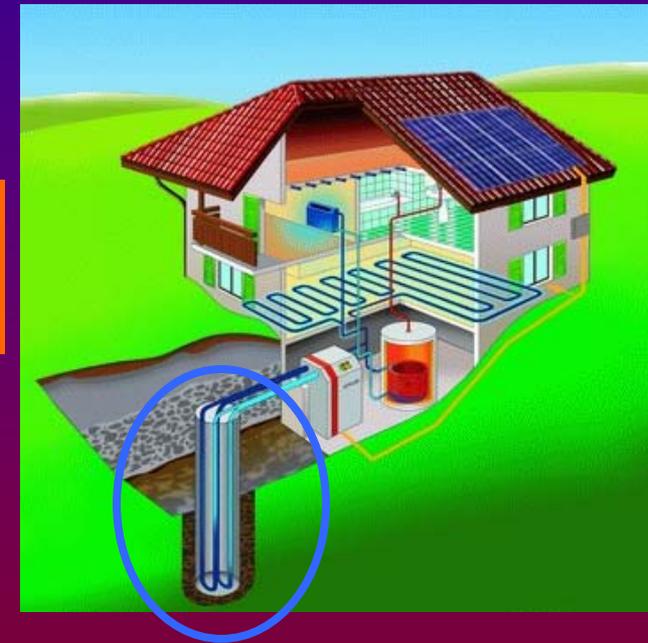
Principi di funzionamento di una pompa di calore geotermica

La pompa di calore è una macchina in grado di trasferire calore da un corpo a temperatura più bassa ad un corpo a temperatura più alta, utilizzando energia elettrica.

$$Q_{\text{casa}} = Q_{\text{fluido}} + L_{\text{pompa}}$$

Temperatura della casa

Temperatura fluido termovettore

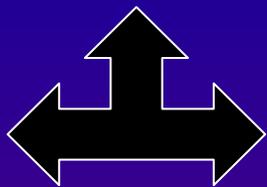


La pompa di calore non è una fonte di energia, bensì una forma di risparmio energetico.



Gli impianti

Closed loop



Sonde geotermiche orizzontali

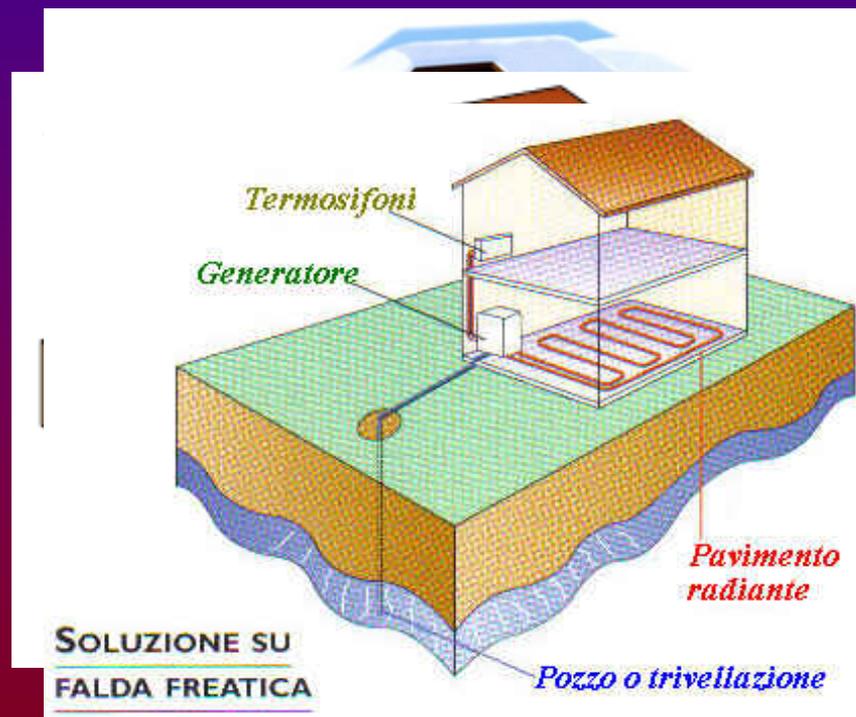
Sonde geotermiche verticali

Open loop



Impianti a circuito aperto

- Profondità dei pozzi: 100-200 m
- La piantumazione è sconsigliata soprattutto per alberi a radici profonde
- Distanza minima tra fori: 50 m
- Distanza minima dai pozzi di falda: 10 m



Quale contributo può dare la geologia nel migliorare le performance di una sonda geotermica per l'impianto di una pompa di calore?



Studio della conducibilità termica del terreno

Lo scambio termico sonda-terreno è fondamentale. La conduzione del calore in un mezzo omogeneo ed isotropo lungo una direzione (z):

$$\Phi_Q \left[\frac{W}{m^2} \right] = -K_{app} \frac{\partial T}{\partial z}$$

La conducibilità termica K_{app} dipende da:

- porosità
- umidità relativa
- densità
- ...

Basta S., Minchio F., 2008

Roccia	Conducibilità termica media λ [W / K m]	Resa [W / m]
Rocce magmatiche		
Graniti →	3.5	80-90
Gabbri	1.8	40-50
Basalti	1.7	40-50
Porfidi	1.9	40-50
Ossidiane	1.3	30-40
Pomici	0.4	20-30
Rocce sedimentarie		
Calcari	2.8	60-70
Arenarie	2.2	50-60
Travertini	2.4	50-60
Gessi	2.5	50-60
Ghiaia asciutta →	0.4	20-40
Ghiaia bagnata	1.6	40-50
Sabbia asciutta	0.5	30-50
Sabbia bagnata	2.3	50-60
Limi e argille asciutti	0.6	30-50
Limi e argille bagnate	1.8	40-50
Rocce metamorfiche		
Gneiss	2.9	60-70
Marmo	2.2	50-60
Ardesia	2.4	50-60

Carta preliminare delle rese termiche su base litologica finalizzata alla progettazione di pompe di calore

Regione Toscana

Scala 1:250.000
0 5 10 20 Km

Non tutti i siti hanno la stessa resa termica: carta preliminare delle rese termiche su base litologica

Legenda

Classi litologiche - Range di resa (W/m)

- Argilliti e siltiti prevalenti (30-40)
- Argille e limi con sabbie subordinate (30-40)
- Ofoliti - gabbri e basalti prevalenti (35-55)
- Rocce effusive e depositi piroclastici (35-70)
- Calcari prevalenti (45-60)
- Sabbie, ghiaie, arenarie e conglomerati poco cementati (55-65)
- Arenarie con intercalazioni argillitiche (55-65)
- Rocce intrusive acide, subvulcaniche e filoniane (55-70)
- Marmi (60-70)
- Travertini (60-70)
- Filladi e altre metamorfiti (60-70)
- Acque
- Limiti provinciali

Legenda

Classi litologiche - Range di resa (W/m)

- Argilliti e siltiti prevalenti (30-40)
- Argille e limi con sabbie subordinate (30-40)
- Ofoliti - gabbri e basalti prevalenti (35-55)
- Rocce effusive e depositi piroclastici (35-70)
- Calcari prevalenti (45-60)
- Sabbie, ghiaie, arenarie e conglomerati poco cementati (55-65)
- Arenarie con intercalazioni argillitiche (55-65)
- Rocce intrusive acide, subvulcaniche e filoniane (55-70)
- Marmi (60-70)
- Travertini (60-70)
- Filladi e altre metamorfiti (60-70)
- Acque
- Limiti provinciali



Il profilo di temperatura del terreno

Durante l'anno la temperatura media del terreno al variare della profondità z può essere descritta dalla relazione:

$$T_{(z,t)} = \bar{T} + \frac{A}{2} \frac{1}{e^{z \sqrt{\frac{\pi}{365 D_T}}}} \sin \left(\omega t - \frac{z}{d} + \varphi \right)$$

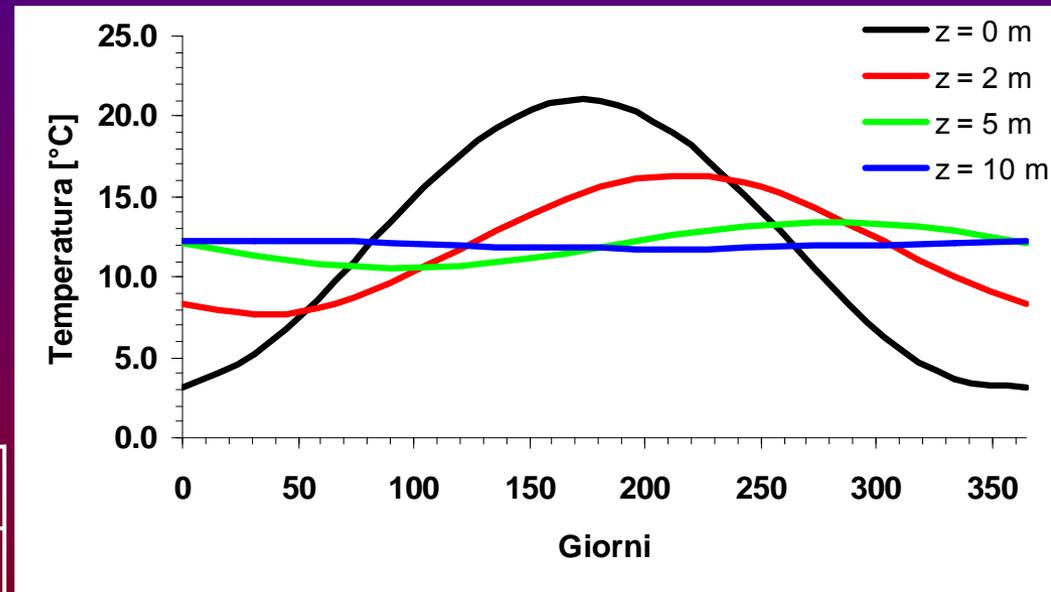
Moto armonico dell'onda

\bar{T} ° media del terreno

Ampiezza delle variazioni

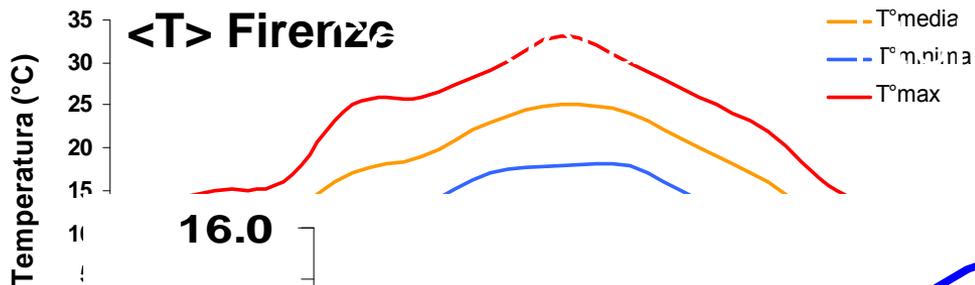
$$d = \sqrt{\frac{365 D_T}{\pi}}$$

della temperatura
d = damping depth

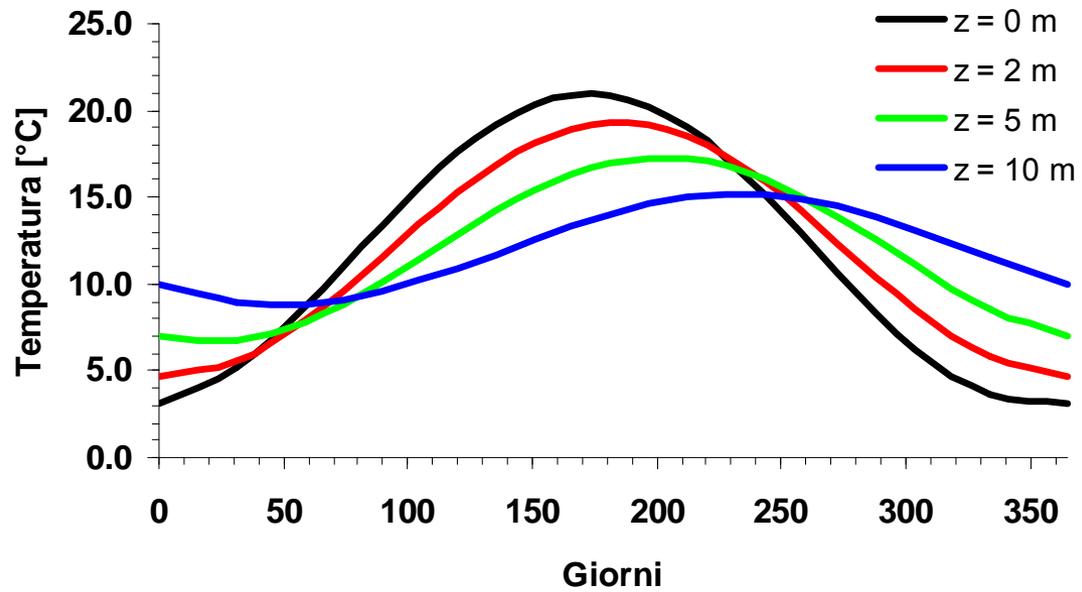
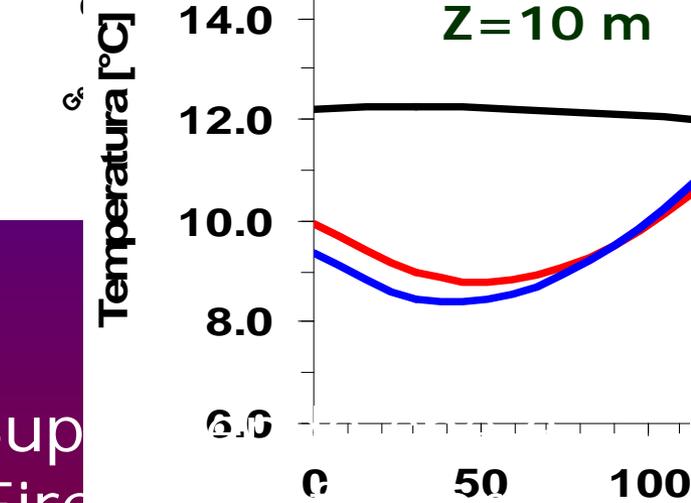


Litologia	Diff. T. [m^2/d]
Argilla	0.06
Sabbia	0.79
Arenaria	1.03

Il profilo di temperatura del terreno



e diverse....
 T° di Firenze
 dell'anno 2007

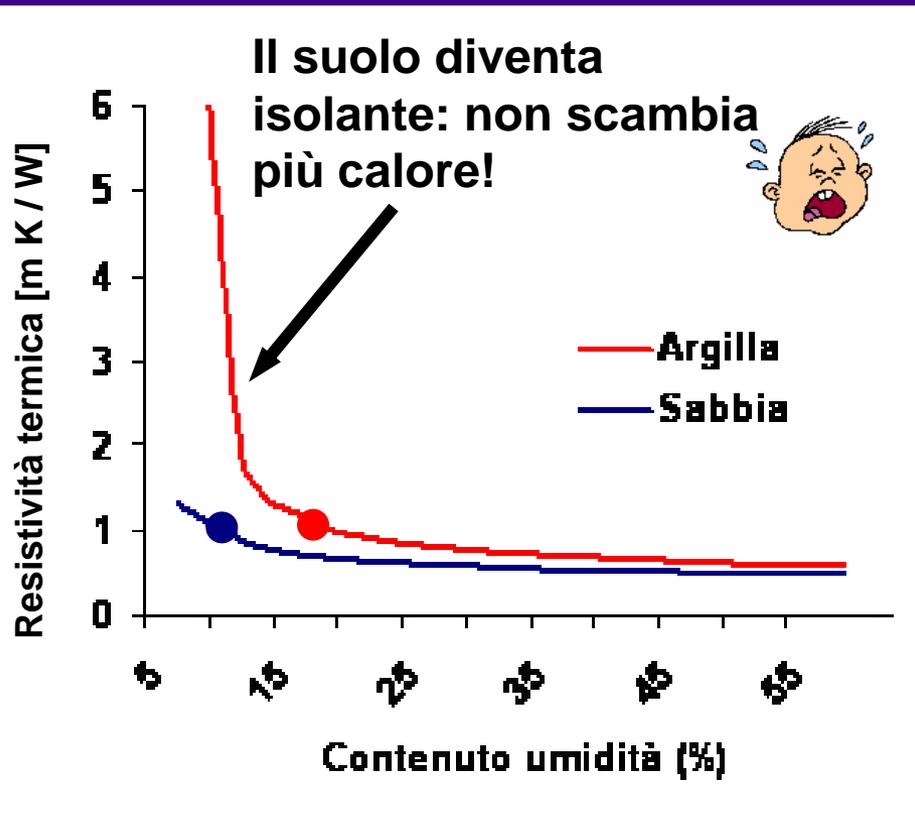


Sup
 Fire
 solo arenarie....

Argi
 Sabbia e A

Stabilità termica del suolo

La stabilità termica dipende dal contenuto in umidità. Sotto una soglia critica, ad una piccola variazione di umidità corrisponde una grande variazione di resistività termica:

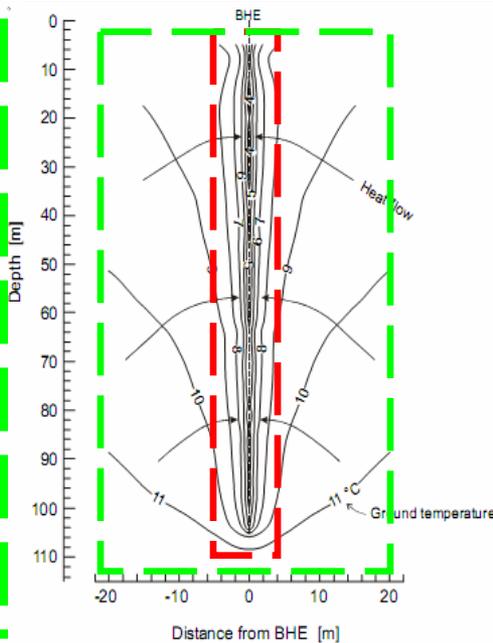
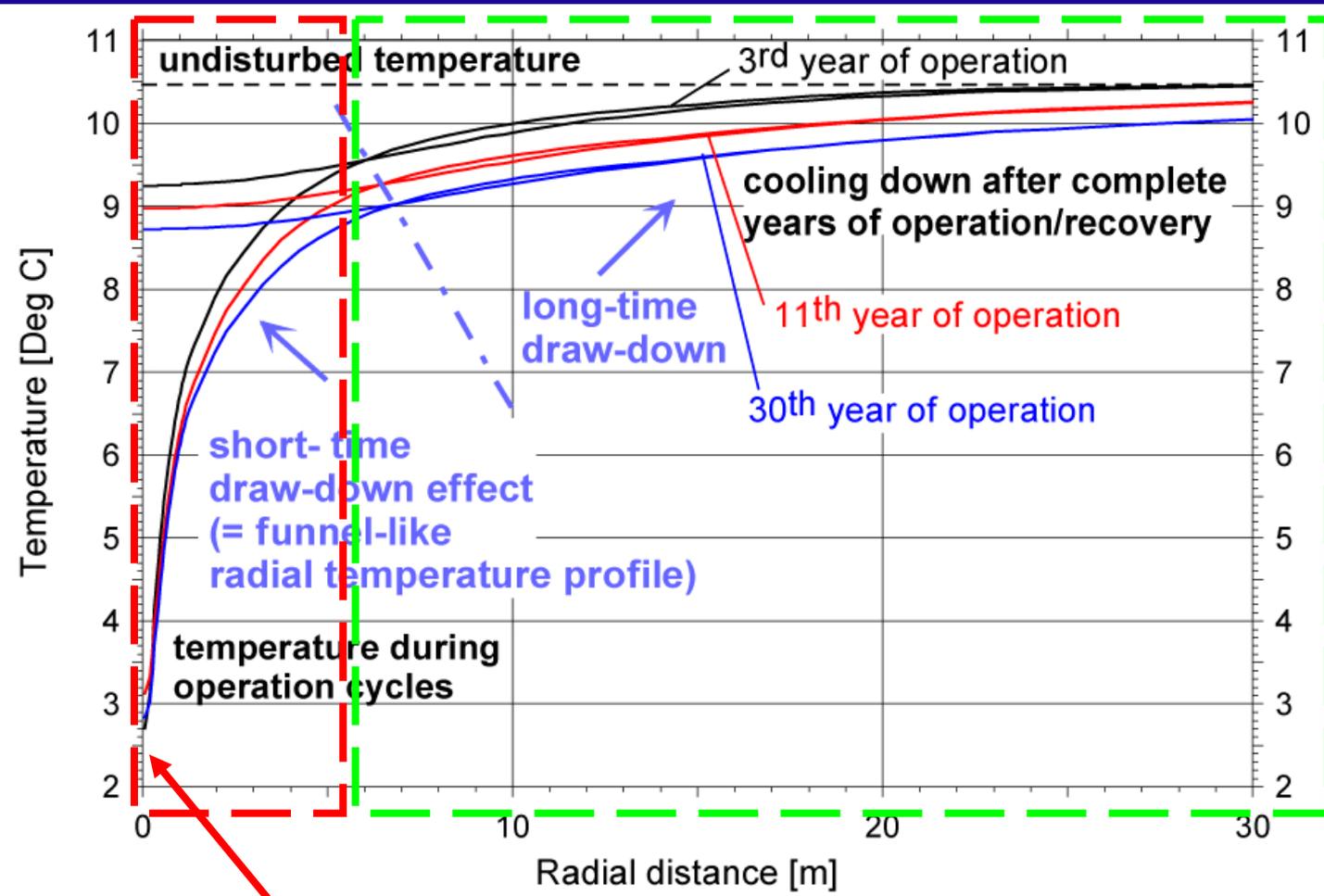


$$\rho(\text{density}, w_c, \Phi)$$

- mod. di Kersten
- mod. di De Vries
- mod. Walsh e Decker...

Tipo di terreno	Umidità critica[%]
Argilla	16 – 22
Limo	12 – 16
Ghiaia	< 12 %

Stress termico in prossimità della sonda



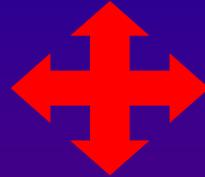
Sonda

SUSTAINABILITY ASPECTS OF GEOTHERMAL HEAT PUMPS
 L. Rybach and W. J. Eugster - Twenty-Seventh Workshop on
 Geothermal Reservoir Engineering - Stanford University, Stanford,
 California, 2002

Normativa Europea e Nazionale...

Europa

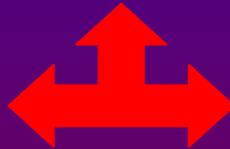
Svizzera



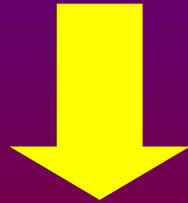
Germania

Italia

Regionale

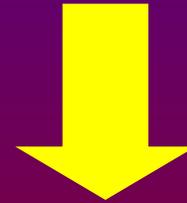


Provinciale



Toscana

Lombardia



Bergamo

Bolzano

Bologna



Schema di istanza di autorizzazione impianto pompa di calore - sonda geotermica – Regione Toscana

Istanza per l'autorizzazione unica, ai sensi degli artt. 11 e 15 della L.R. 39/2005 ai fini dell'uso diretto del calore geotermico mediante il sistema pompa di calore - sonda geotermica

Iter procedurale:

PICCOLE UTILIZZAZIONI LOCALI (profondità inferiori a 400 m e potenza non superiore a 2.000 Kw t): istanza da presentare alla regione Toscana come da schema allegato.

Alla **REGIONE TOSCANA**
Dir. Gen. Politiche Territoriali e Ambientali
Settore Minerale ed Energia
Via R. Bardazzi 19/21
50127 Firenze

Istante

Cognome, Nome/Ditta:

Indirizzo:

CAP: COMUNE: Prov.

Progettista

Cognome, Nome/Ditta:

Indirizzo:

CAP: COMUNE: Prov.

Schema di istanza di autorizzazione impianto pompa di calore - sonda geotermica – Regione Toscana

Ubicazione d

Indirizzo:

CAP:

Foglio:

Data di mes s/in

Dotazioni di sicurezza e controllo

Selezionare le misure corrispondenti

Circuito della sonda

Spia di flusso

Pressostato

Manometro

Spia di livello

Termometro

Contenitore d'espansione

Valvole per le sonde (ci deve essere la possibilità di bloccare ogni sonda)

Altro:

Pompa di calore

Manometro

Serbatoio d'espansione

Spia circolazione del liquido

Valvola di sicurezza

Targhetta di tipo: Altro:



- Non allegat dell'azi

- Le re interessate al'installazione a live

Allegati

- Relazione tecnica / geologica
- Piano catastale con l'ubicazione della/e sonda/e
- Schema della sonda
- Schema del sistema sonda geotermica - pompa di calore
- Dichiarazione sottoscritta dal progettista attestante la non interferenza con le falde sotterranee.

..... ml

.....

.....

.....

.....

.....

..... kg

Proposta di miglioramento della scheda di istanza di autorizzazione

Ubic RELAZIONE GEOLOGICA

Dati del geologo

Indiri

Comu Nome _____ Cognome _____

Ditta _____

Car:

Residente in Via/Piazza _____ n° _____

Comune di _____ prov. _____ cap. _____

Sonde Verticali

Sonde Orizzontali

Sistemi open-loop

-
-
-

Industria/Fabbrica

Uffici

Altro (nel caso da specificare) **Allegati (essenziali)**

Allegati (essenziali)

- Carta geologica
- Carta Idrogeologica
- Stratigrafia
- Piano catastale
- Dichiarazione di non interferenza con la falda sotterranea

- Planimetria

- Carta geologica
- Piano catastale

Allegati (essenziali)

- Carta geologica
- Carta Idrogeologica
- Stratigrafia
- Piano catastale
- Dichiarazione di non inquinamento delle acque
- Dichiarazione di non interferenza con le falde sotterranee

Le sonde geotermiche in Toscana*

- 36 impianti “dichiarati”:
 - ✓ **14 sonde orizzontali**
 - ✓ **21 sonde verticali**
 - ✓ **1 open loop**
- Potenza media di riscaldamento: ~ 35 kW (per impianto) [~ 1.1 MW tot]
- Potenza media di raffreddamento: ~ 25 kW (per impianto) [~ 0.9 MW tot]
- Circa 80% degli impianti prevedono rinfrescamento

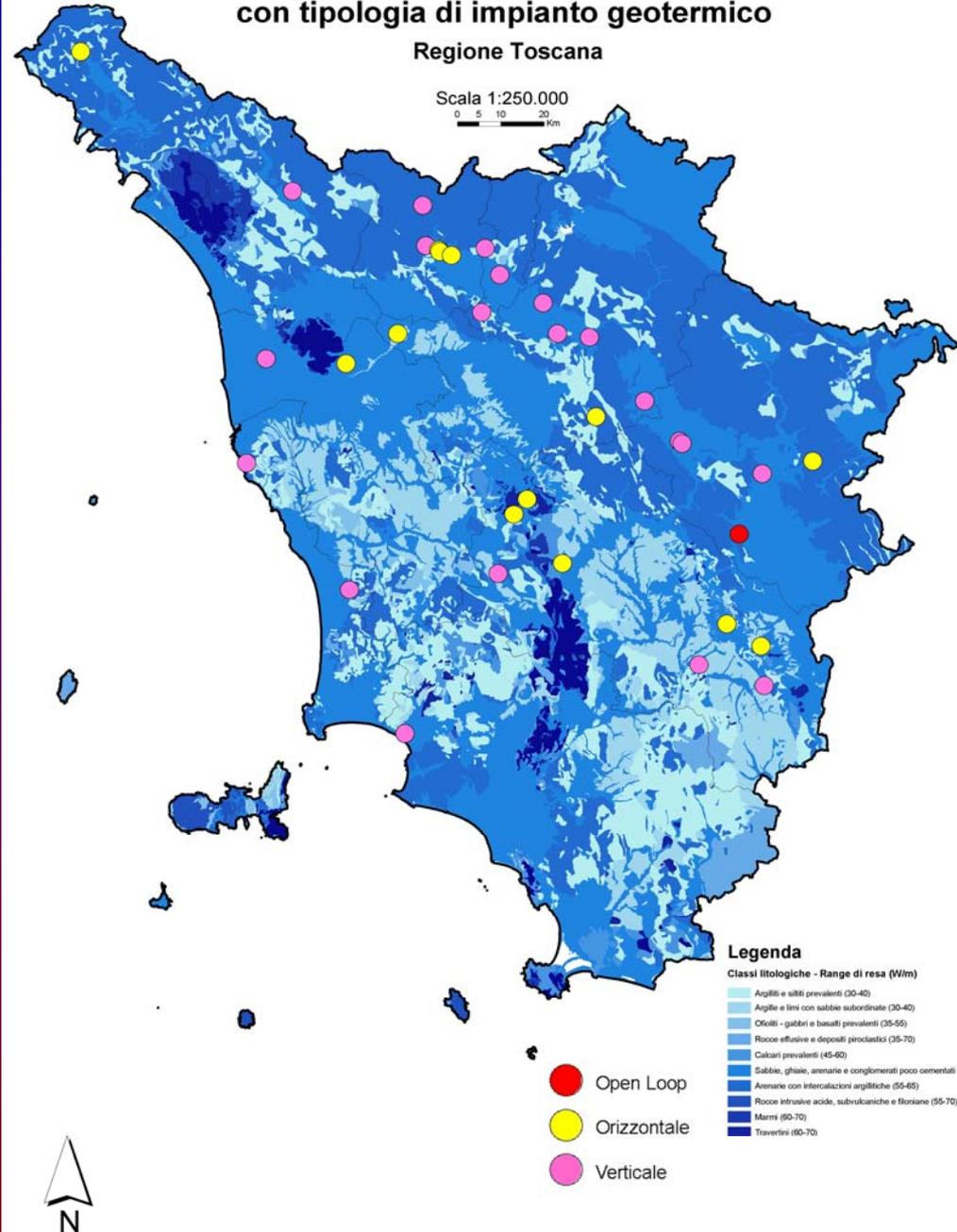
* Fonte: Regione Toscana
Dati giugno 2008

Carta preliminare delle rese termiche su base litologica con tipologia di impianto geotermico

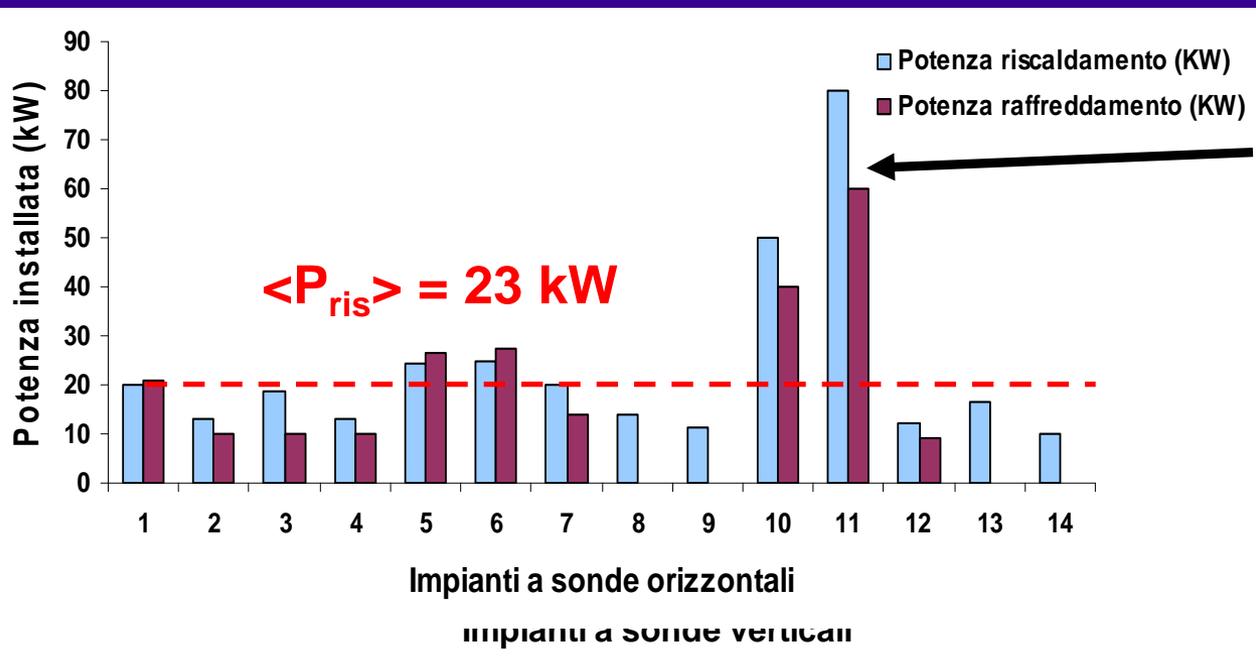
Regione Toscana

Scala 1:250.000

0 5 10 20 Km



Numero di impianti per potenza installata in Regione Toscana



Sonde orizzontali

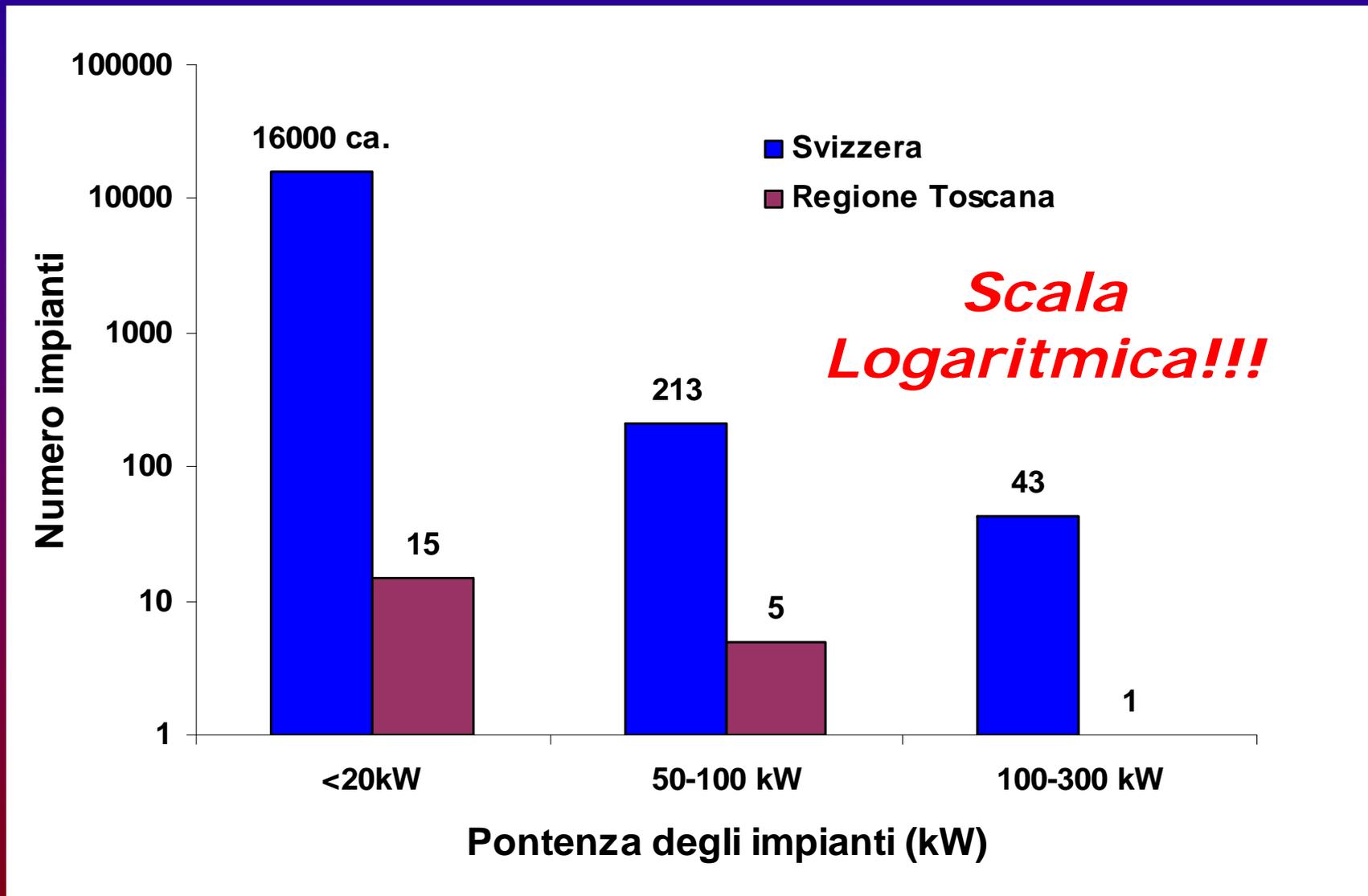
- 40 sonde
- Prof. tot. 700 m
- Pot. Riscald. 180 kW
- Pot. Raffred. 125 kW



Realizzazione di un edificio complesso edilizio a S. Agostino nel
scuole delle suore S. Maria Pia a Figline Valdarno

Toscana vs Svizzera!!!

Sup. Svizzera ~ 2 * Sup. Toscana



Conclusioni e prospettive

- ✓ Il profilo delle temperature del suolo, influenzato dalla **diffusività termica**, condiziona il funzionamento delle sonde orizzontali
→ **caratterizzazione geopedologica a scopi geotermici**
- ✓ Lo studio della **conducibilità termica** è un parametro che varia da roccia a roccia rendendo le litologie più o meno adatte allo scambio di calore → **cartografia delle rese termiche**
- ✓ al variare del **contenuto di umidità**, superato il punto critico, un suolo, che si ritiene un buon conduttore, può diventare improvvisamente un isolante impendendo lo scambio di calore
→ **prove di laboratorio ed in situ**
- ✓ Le schede di autorizzazione giunte in Regione Toscana rivelano eterogeneità di report geologici: si è cercato di creare una **scheda standard** opportunamente tarata sulle esigenze di questi impianti
→ **verso una normativa nazionale**

Grazie per l'attenzione