



AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE GEOTERMICA**



LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

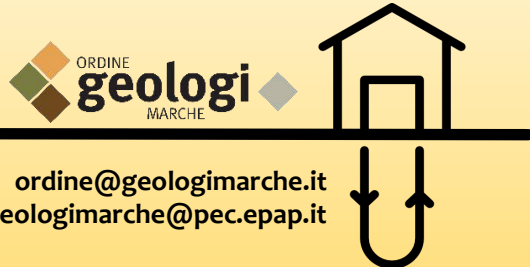
**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



PARTE 1

Elementi propedeutici alla progettazione

- ***Geotermia a bassa entalpia (GEOSCAMBIO)***
- ***Profilo di temperatura del sottosuolo***
- ***Definizione del modello stratigrafico ed idrogeologico***
- ***Proprietà termofisiche del terreno***

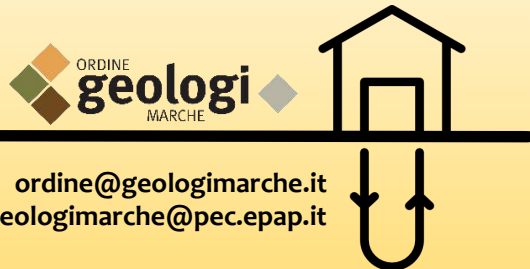
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

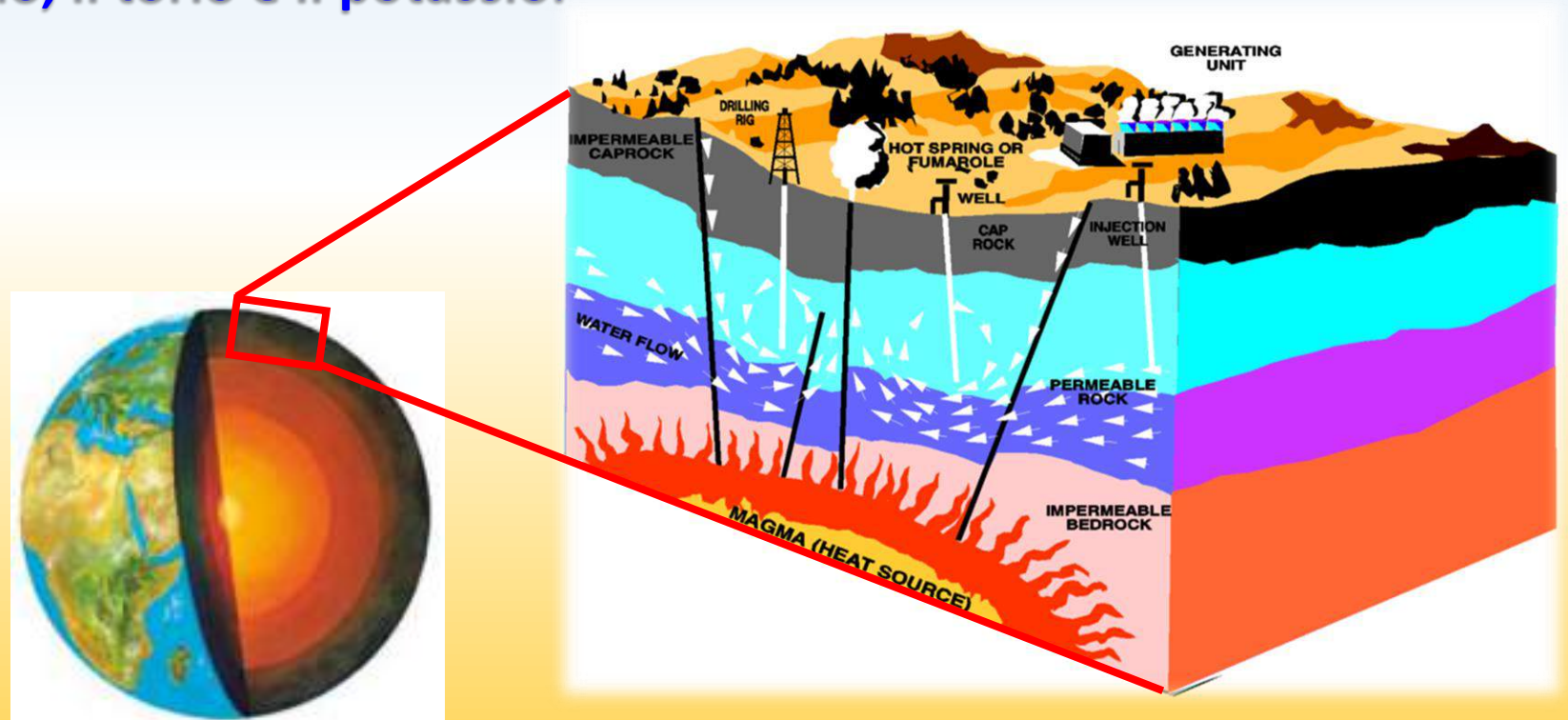
Dott. Geol. Rimsky Valvassori



CHE COSA E' LA "GEOTERMIA" ?

Per geotermia, in senso **TRADIZIONALE**, si intende il fenomeno naturale coinvolto nella produzione e nel trasferimento di calore proveniente dall'interno della Terra.

Il calore del nucleo terrestre continua ad essere generato grazie a processi di decadimento nucleare naturale di elementi quali l'uranio, il torio e il potassio.



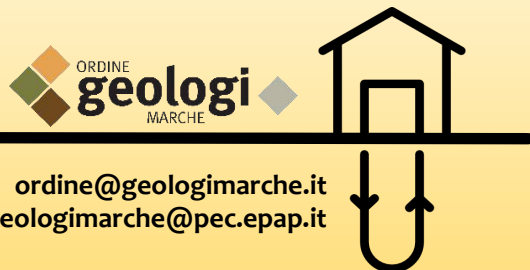
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

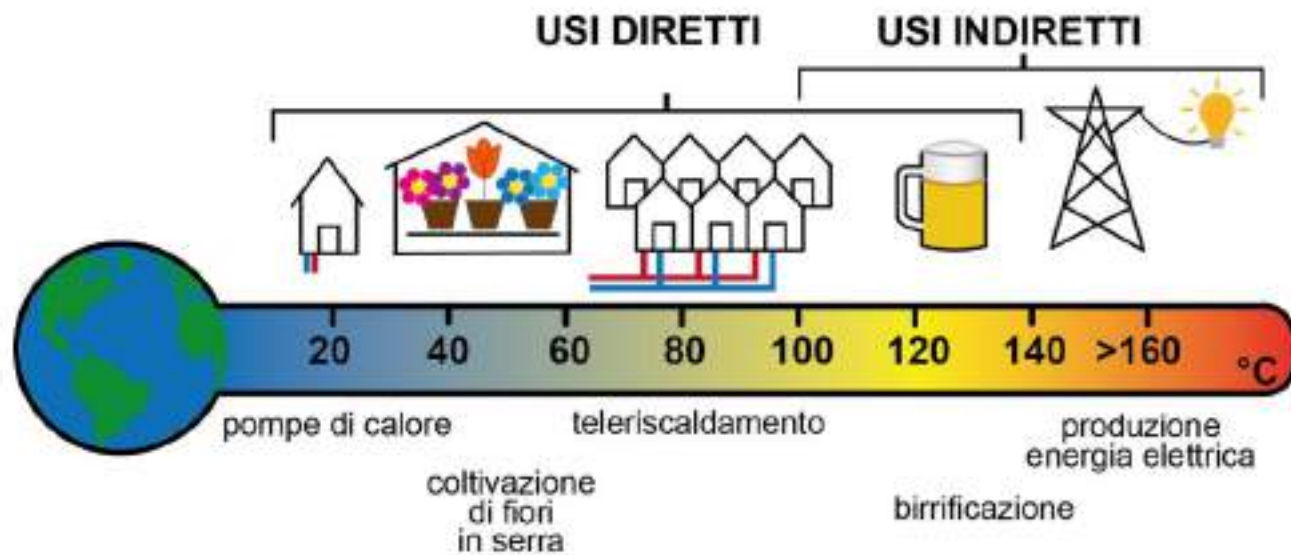
LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



CHE COSA E' LA "GEOTERMIA" ?

Il calore terrestre origina la maggior parte dei fenomeni come le eruzioni vulcaniche, le sorgenti termali, i geyser, o le fumarole. Questo **calore naturale** può essere sfruttato DIRETTAMENTE per ottenere energia, nello specifico chiamata energia geotermica. Il termine geotermia (ad alta entalpia) viene quindi spesso utilizzato per indicare lo sfruttamento DIRETTO dell'energia geotermica.



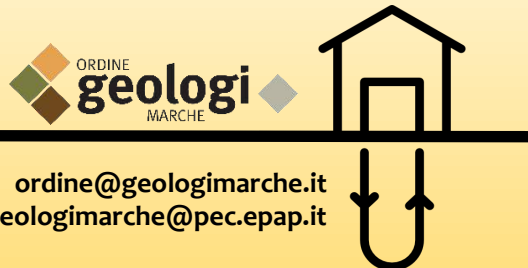
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

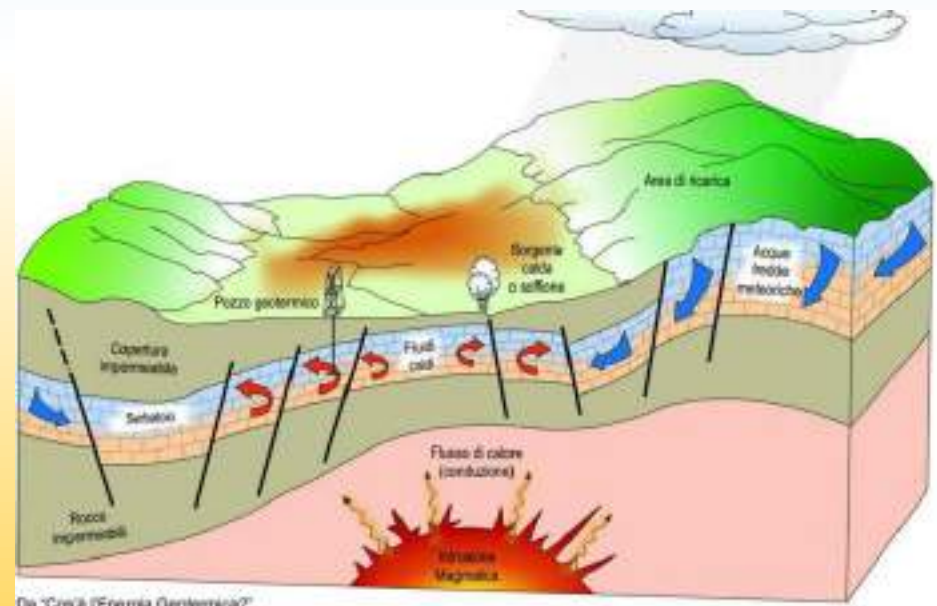
LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



CHE COSA E' LA "GEOTERMIA" ?

Nella gran parte dei casi la geotermia utilizzata, cosiddetta convenzionale, è quella dei sistemi idrotermali dominati dal moto convettivo dell'acqua, la quale muovendosi a partire dalla superficie della crosta terrestre all'interno di uno spazio confinato raggiunge zone calde profonde caratterizzate da un'anomalia termica e determina risalendo un trasferimento del calore profondo in superficie o a profondità economicamente raggiungibili.



Da "Cos'è l'Energia Geotermica?"

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

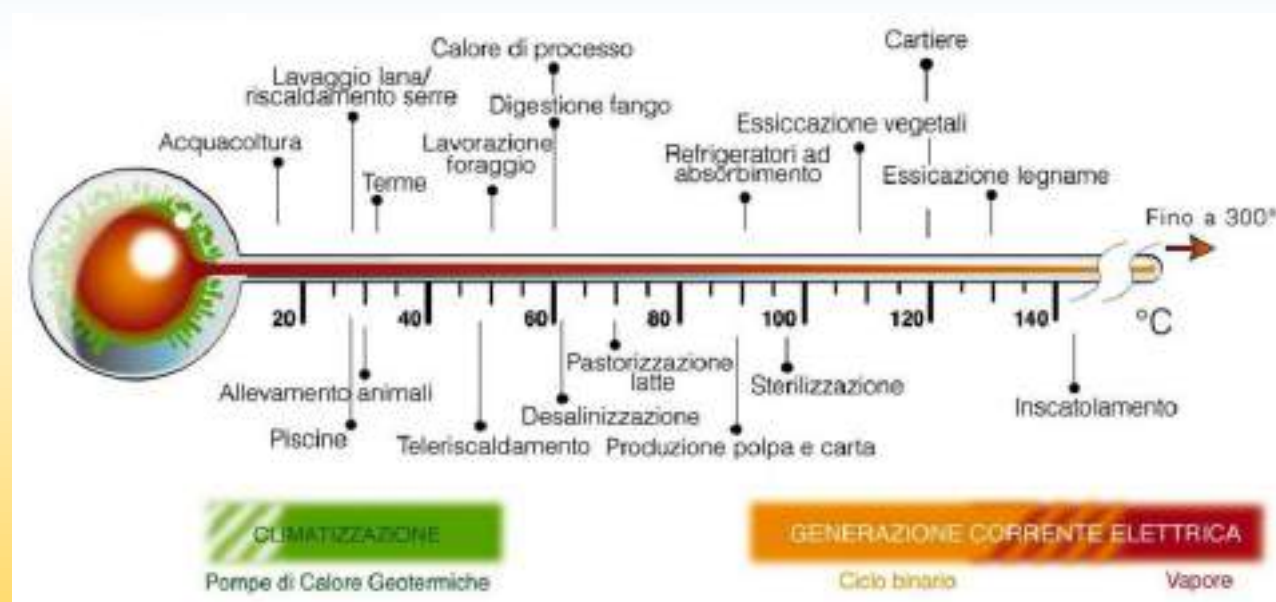
Dott. Geol. Rimsky Valvassori



L'utilizzo convenzionale dell'energia geotermica è identificato dalla suddivisione in due categorie principali:

USO INDIRETTO: per produzione di energia elettrica (risorse ad alta-media entalpia)

USO DIRETTO: Le possibilità di utilizzo dell'energia geotermica a temperature inferiori a quelle comunemente utilizzate per la produzione geotermoelettrica sono notevoli e spaziano dalle comuni terme ai sempre più frequenti utilizzi diretti per scopi agroalimentari, florovivaistici ed industriali (risorse a bassa-media entalpia)



AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



LA GEOTERMIA "A BASSA ENTALPIA"

La geotermia a "bassa entalpia" è quella che sfrutta il sottosuolo (a debole profondità) come serbatoio termico dal quale estrarre calore durante la stagione invernale ed al quale cederne durante la stagione estiva.

La geotermia a bassa entalpia, è quella "geotermia" con la quale qualsiasi edificio, in qualsiasi luogo della terra, può riscaldarsi e raffrescarsi, invece di usare la classica caldaia d'inverno ed il gruppo frigo d'estate

MA COME FUNZIONA ?

Come faccio ad utilizzare il (modesto) calore del sottosuolo per scaldare la casa e per farmi la doccia?

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



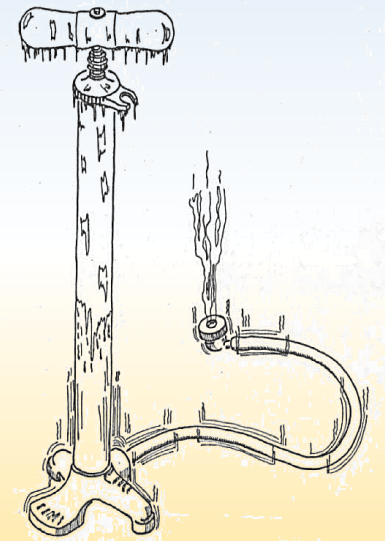
POMPE DI CALORE: CHE COSA SONO?

Sono delle “macchine” in grado di trasferire calore da un corpo a temperatura più bassa ad un corpo a temperatura più alta, utilizzando energia elettrica



***Le pompe di calore spostano
calore.....***

***...così come le
pompe da
bicicletta
spostano l'aria
grazie al lavoro
meccanico...***



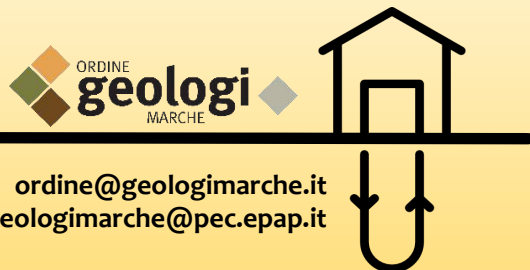
**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

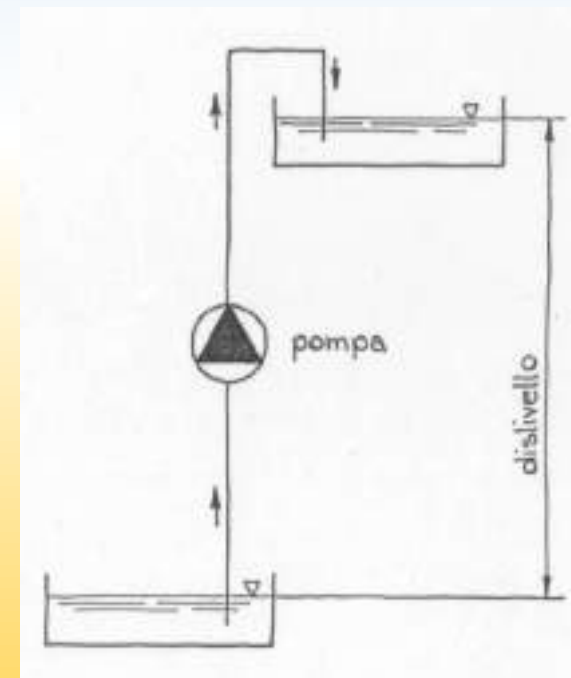
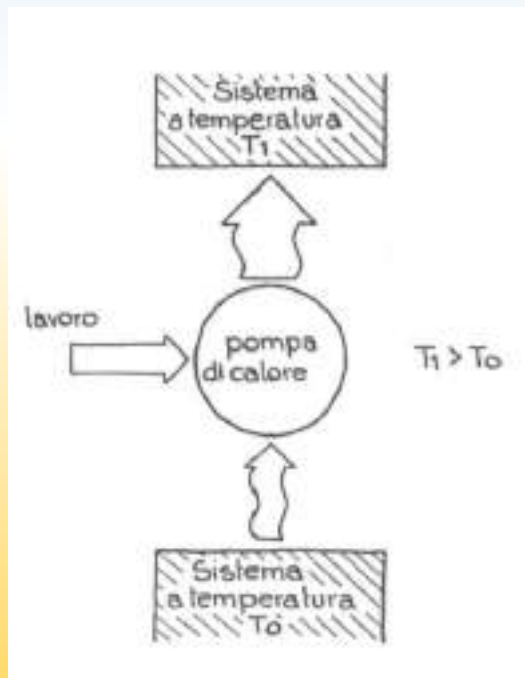
**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



POMPE DI CALORE: CHE COSA SONO?

**Obbediscono ovviamente sia al primo che al secondo principio della termodinamica. Può risultare utile l'analogia idraulica della pompa che consente di estrarre l'acqua da un pozzo profondo e portarla in superficie, utilizzando l'energia elettrica.....
Lo stesso si può fare con il calore....**



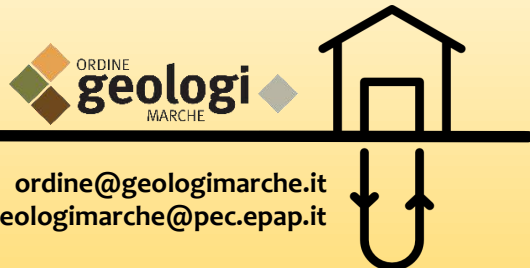
**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

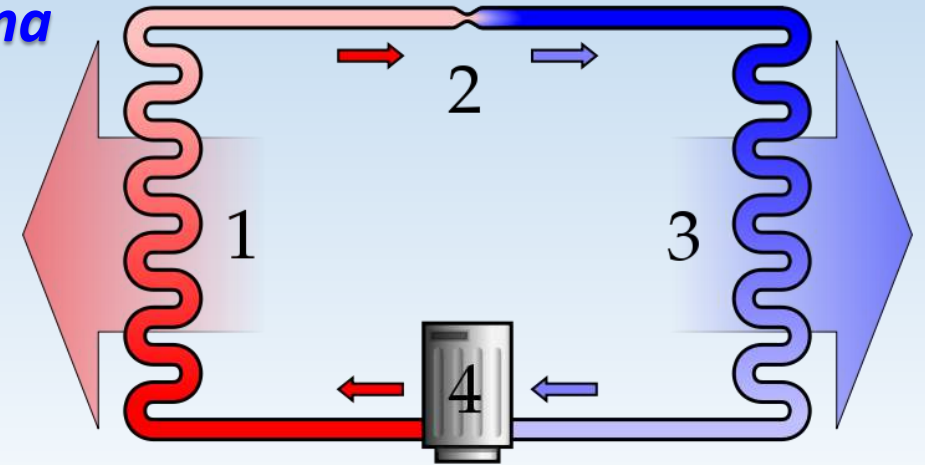
Dott. Geol. Rimsky Valvassori



POMPE DI CALORE: CHE COSA SONO?

***Principio di funzionamento di una
pompa di calore:***

- 1 - condensatore***
- 2 - valvola di espansione***
- 3 - evaporatore***
- 4 - compressore***



***La pompa di calore più famosa:
IL FRIGORIFERO DI CASA***

***INFATTI LE POMPE DI CALORE POSSONO
FARE SIA FREDDO CHE CALDO,
INVERTENDO IL VERSO DEL CIRCUITO***



***La pompa di calore offre il grande vantaggio di fornire energia in modo
efficiente: infatti, per produrre il 100% dell'energia per il riscaldamento è
necessario consumarne solo il 25% (elettricità), mentre il restante 75% viene
ricavato dal terreno.***

AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



DEFINIZIONE DEL GEOSCAMBIO **(ovvero geotermia a bassa entalpia....)**

Una definizione semplice:

«un sistema di geoscambio utilizza il sottosuolo come serbatoio da cui attingere o smaltire calore per alimentare una pompa di calore con finalità di climatizzazione (invernale ed estiva) di un involucro edilizio».

Ha senso continuare a chiamarlo «GEOTERMIA»?

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



SISTEMI DI GEOSCAMBIO

Sistema di GEOSCAMBIO:
Quale sorgente primaria
per la pompa di calore?

Sottosuolo
(sistemi a circuito chiuso)

Sonde
geotermiche
verticali

Sonde
geotermiche
orizzontali

Geostrutture
(pali energetici,
berlinesi, platee..)

Acqua di falda
(sistemi a circuito aperto)

Pozzi di prelievo e
restituzione

Acqua superficiale
(sistemi «idrotermici?»)

Prese e scarichi
su fiume, lago,
mare, waste
energy,

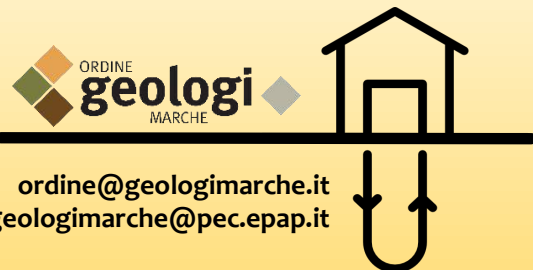
**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori

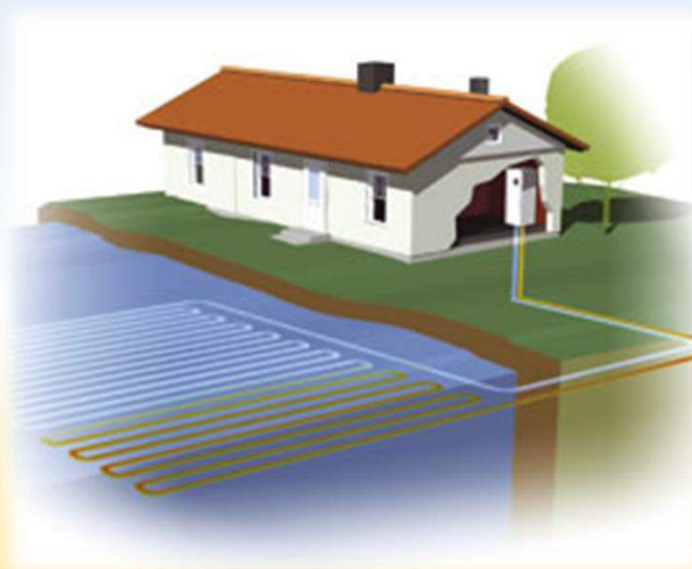


POMPE DI CALORE: QUALI SONO LE SORGENTI DI CALORE ?

ARIA



ACQUA SUPERFICIALE



ACQUA SOTTERRANEA



**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

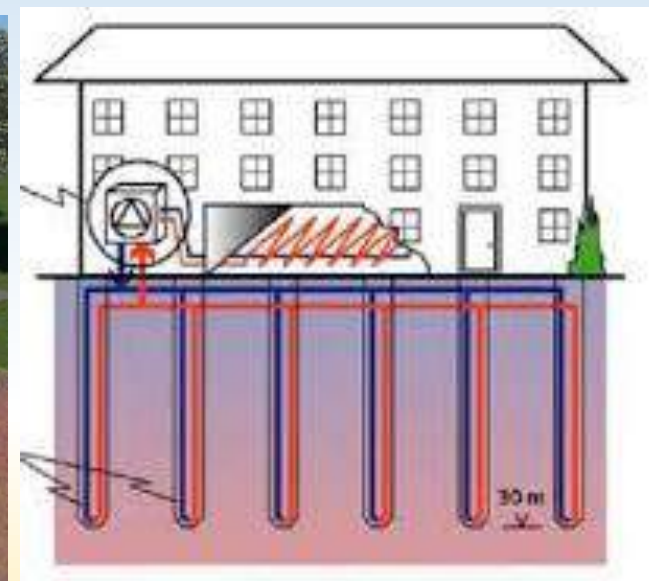
Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori

POMPE DI CALORE: QUALI SONO LE SORGENTI DI CALORE ?

SOTTOSUOLO



Geostrutture

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



POMPE DI CALORE: PERCHE' IL TERRENO COME SORGENTE DI CALORE ?

La temperatura del terreno “indisturbato” (in assenza di impianto funzionante) è funzione della profondità ed è in ogni caso influenzata dalle condizioni climatiche locali, dall’eventuale presenza di falda e dall’eventuale particolare situazione geologica locale (as. Esempio in zone termale).

La temperatura a circa 10-12 m di profondità è normalmente circa pari alla media annuale delle temperature dell’aria esterna; poi cresce con un gradiente geotermico di circa 3 °C/ 100 m.

Perché la temperatura nel sottosuolo, fino a circa 100-150 m di profondità è praticamente costante durante tutto l’anno e non risente delle variazioni diurne

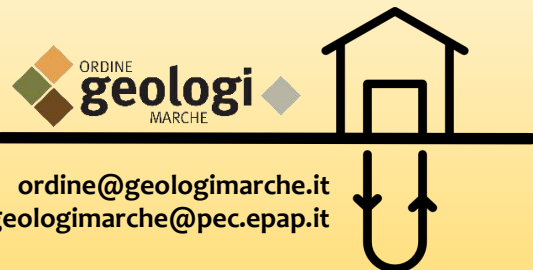
AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA

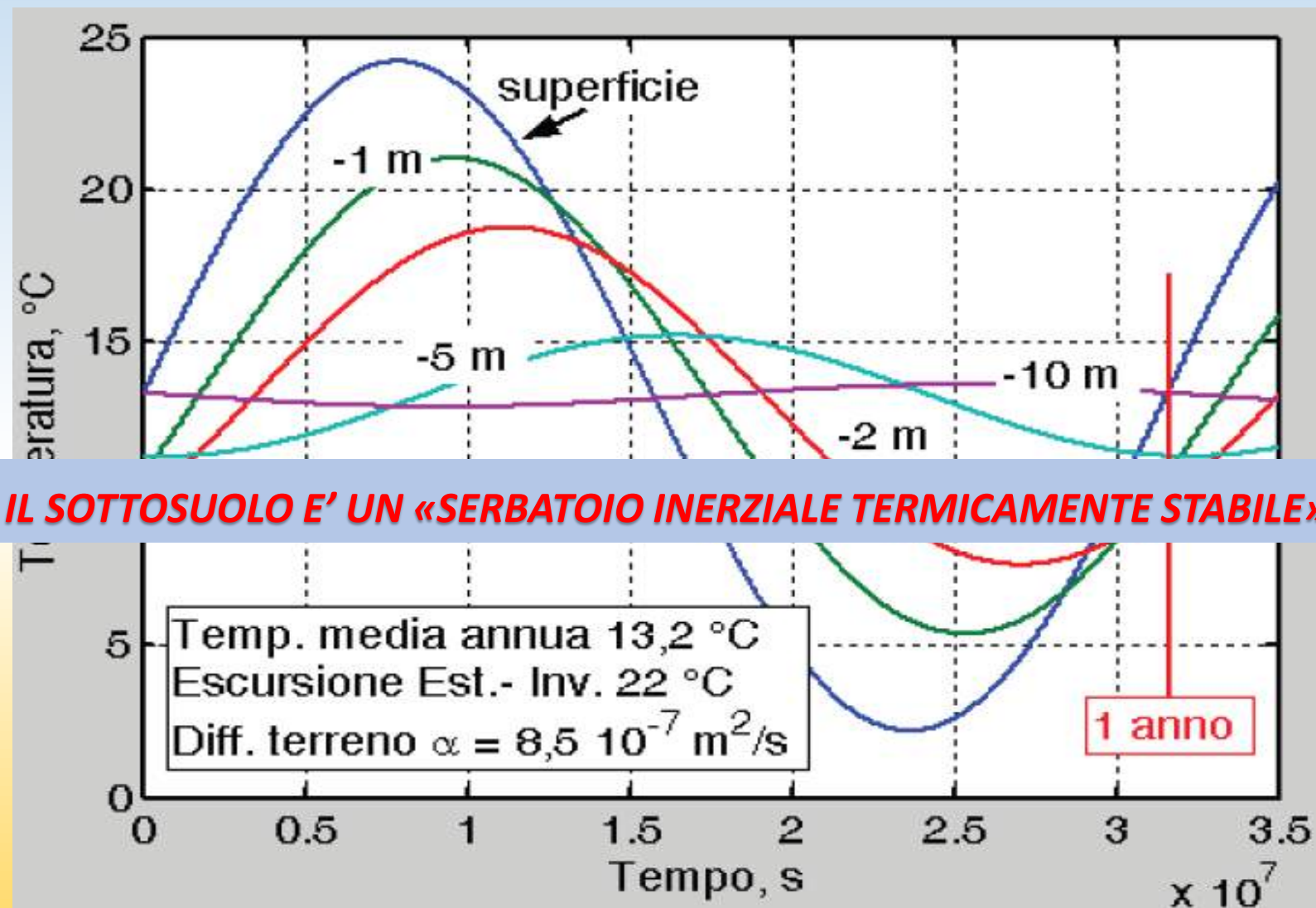
Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



POMPE DI CALORE: PERCHE' IL TERRENO COME SORGENTE DI CALORE ?



**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



PERCHE' IL TERRENO COME SORGENTE DI CALORE ?

In generale è possibile stimare le temperature del terreno a diverse profondità utilizzando la correlazione di Kusuda:

$$T(z, t) = T_m - A_s \cdot e^{-z \left(\frac{\pi}{365 \alpha} \right)^{1/2}} \cdot \cos \left(\frac{2\pi}{365} \left(t - t_0 - \frac{z}{2} \left(\frac{365}{\pi \alpha} \right)^{1/2} \right) \right)$$

Equazione 5.2

dove	T_m	=	temperatura media del terreno (°C)
	A_s	=	ampiezza della variazione annua della temperatura superficiale
	α	=	diffusività termica del terreno (m ² /giorno)
	t_0	=	giorno dell'anno in cui si ha la minima temperatura superficiale (giorni)
	z	=	profondità (m)
	t	=	tempo (giorni)

In pratica, nella progettazione preliminare e/o in casi meno complessi, si tende ad assumere un valore costante pari all temperatura media annuale dell'aria

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



PROPRIETÀ TERMOFISICHE DEL TERRENO

Gli elementi principali che influenzano il comportamento termico dell'accumulo sono:

- 1. la densità: all'aumentare della densità, si riduce il volume complessivo occupato dalle cavità vuote. Migliorando il contatto tra i grani, la conduttività termica del mezzo poroso aumenta.*
- 2. il contenuto di umidità: la proprietà più importante però, è senza dubbio l'umidità del terreno, non solo per l'influenza sulla densità, ma soprattutto perché la conducibilità dell'acqua è circa venti volte superiore a quella dell'aria di cui prende il posto.*
- 3. la matrice solida del suolo in esame*

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



PROPRIETÀ TERMOFISICHE DEL TERRENO

In generale la resistività di un terreno a grana grossa è maggiore di quella di un terreno a grana fine, a parità di contenuto di umidità. Inoltre la conduttività dei suoli rocciosi è superiore a quella dei terreni sabbiosi e argillosi.

La proprietà più importante però, è senza dubbio l'umidità del terreno, non solo per l'influenza sulla densità, ma soprattutto perché la conducibilità dell'acqua è circa venti volte superiore a quella dell'aria di cui prende il posto. Il compattamento del terreno, riducendo i vuoti tra i grani, ha quindi un effetto benefico sulla resistività

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



CONDUTTIVITÀ TERMICA

I dati relativi alla conduttività di su determinato terreno possono essere determinati attraverso:

☐ *database realizzati su base statistica su una serie significativa di misure sperimentali su determinati tipi di terreno
metodi analitici*

☐ *Thermal Response Test (o Ground Response Test): test con il quale si determinano le proprietà termiche del terreno in sito, consigliato per installazioni non residenziali*

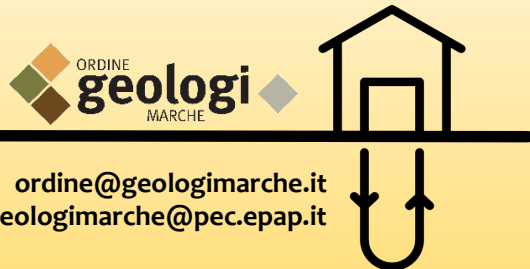
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



CONDUTTIVITÀ TERMICA

$$k_h = \frac{\sum_{j=1}^n \kappa_j \theta_j k_{h,j}}{\sum_{j=1}^n \kappa_j \theta_j}$$

DEVRIES+NOBRE E THOMSON

$$\kappa_j = \frac{2}{3} \left[1 + \left(\frac{k_{h,j}}{k_{h,w}} - 1 \right) g_j \right]^{-1} + \frac{1}{3} \left[1 + \left(\frac{k_{h,j}}{k_{h,w}} - 1 \right) (1 - 2g_j) \right]^{-1}$$

$k_{h,j}$ conduttività di ciascun singolo costituente e θ_j la frazione volumetrica del j-esimo costituente. κ_j è il rapporto fra la media spaziale del gradiente di temperatura nel suolo di grana j e la media spaziale della temperatura nell'acqua o aria.

g_j fattori di forma tabulati

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



CONDUTTIVITÀ TERMICA

COSTITUENTI	j	FATTORE DI FORMA g_j
Quarzo	q	0,125
Argilla	c	0,125
Materia organica	o	0,5
Acqua	w	0
Aria (secca)	a	Variabile

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



CONDUTTIVITÀ TERMICA

Per le inclusioni d'aria, il fattore di forma è dipendente dal contenuto volumetrico d'acqua e si può ricavare per interpolazione lineare fra i valori per forme sferiche in saturazione e un valore di 0,013 con suolo secco. Per cui:

$$g_a = 0,013 + \left(\frac{0,022}{\theta_{w,wilt}} + \frac{0,298}{\eta} \right) \theta_w$$

dove $\theta_{w,wilt}$ è il contenuto di umidità al *wilting point* e η la porosità. L'approssimazione è valida per $\theta_w > \theta_{w,wilt}$.

Per suoli secchi il modello deve essere utilizzato con aria al posto d'acqua, e per $\theta_w < 0,01$ sovrastima la conduttività. Il modello ha una precisione di circa $\pm 10\%$ sul range di θ_w in cui è applicabile

CONDUTTIVITÀ TERMICA

Kersten ha proposto invece una formula empirica per il calcolo della conduttività termica, basata sulle misure effettuate su cinque tipi diversi di suolo:

$$k_h = 0,1442(a_1 \log \theta_w - a_2)10^{a_3 \rho_d}$$

ove k_h è data in [W/mK], la densità a secco in [g/cm³], e a_1, a_2, a_3 sono costanti dimensionali. I coefficienti sono validi per suoli non congelati, argilloso o sabbioso; l'equazione non è applicabile per suoli secchi e roccia. Esistono anche equazioni di Kersten per terreni congelati.

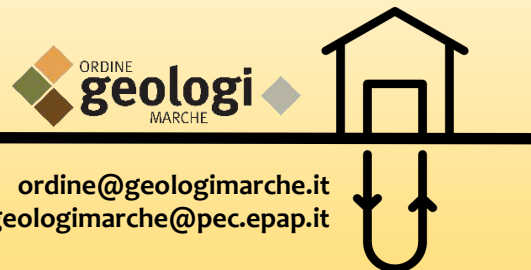
**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



CONDUTTIVITÀ TERMICA

TIPO DI TERRENO	EQUAZIONE DI KERSTEN
Argilloso non congelato	$k_h = 0,1442(0,7 \log \theta_w + 0,4)10^{0,6243 \rho_d}$
Sabbioso non congelato	$k_h = 0,1442(0,9 \log \theta_w - 0,2)10^{0,6243 \rho_d}$
Argilloso congelato	$k_h = 0,001442 \bullet 10^{1,373 \rho} + 0,01226 \bullet 10^{0,4994 \rho} \bullet \theta_w$
Sabbioso congelato	$k_h = 0,01096 \bullet 10^{0,811 \rho} + 0,00461 \bullet 10^{0,9115 \rho} \bullet \theta_w$

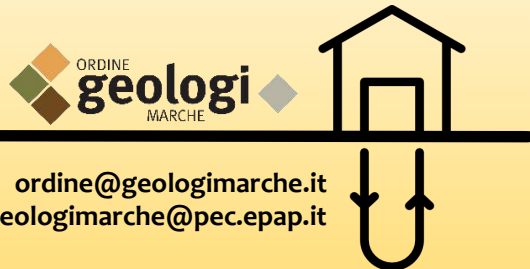
**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

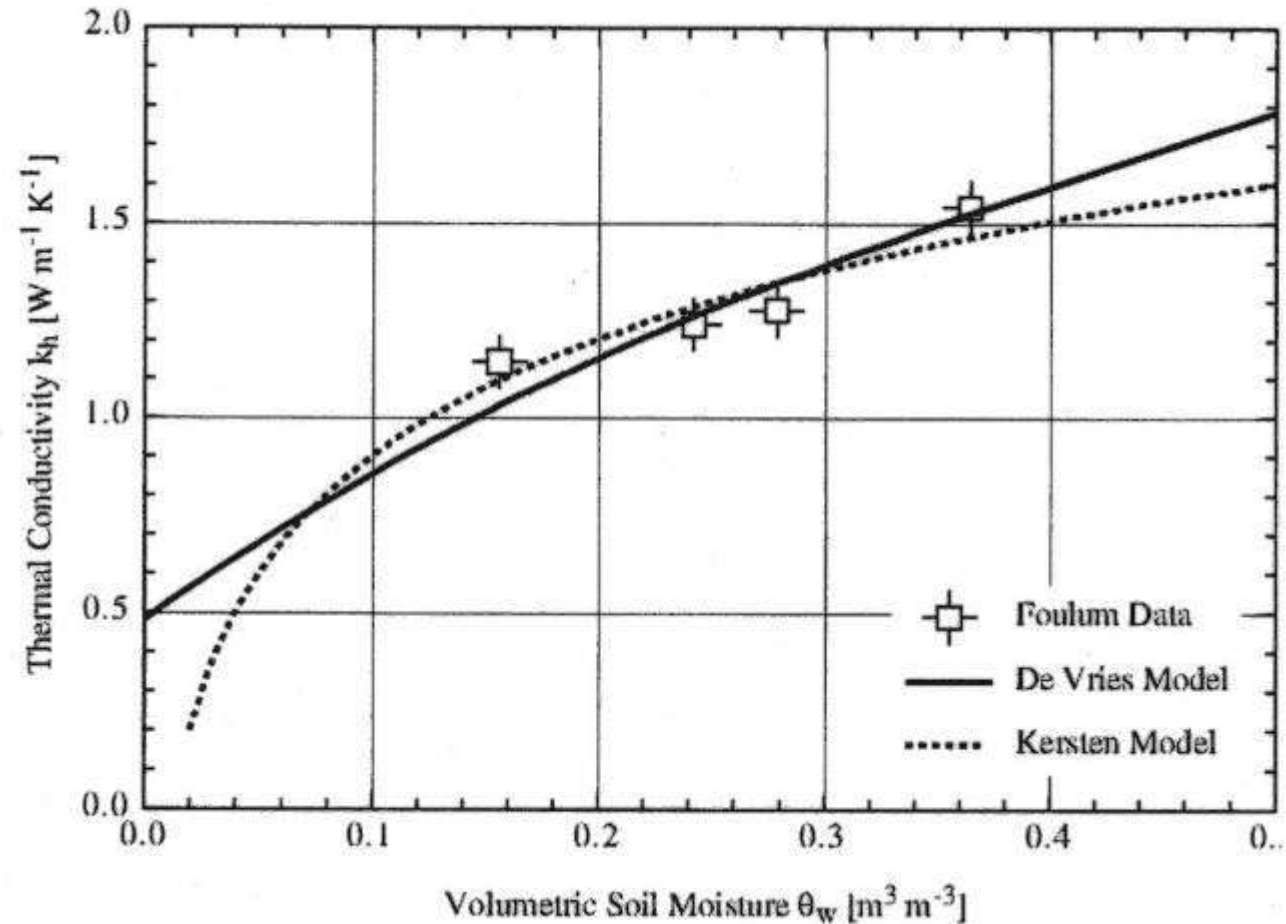
Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



CONDUTTIVITÀ TERMICA



CONFRONTO FRA MODELLI ANALITICI E DATI REALI

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



CONDUTTIVITÀ TERMICA

Walsh e Decker hanno analizzato la notevole influenza che le porosità e il loro riempimento hanno sulla conduttività ottenendone due modelli, uno per il terreno sabbioso ed uno per il terreno argilloso

$$k_h = k_g \left(1 - \frac{3\eta \frac{1 - k_p}{k_g}}{2 + \eta + k_p} \right)$$

SABBIOSO

$$k_h = k_g \left(1 - \frac{\eta \left(1 + 2 \frac{k_p}{k_g} \right) \left(1 - \frac{k_p}{k_g} \right)}{\eta \left(1 - \frac{k_p}{k_g} \right) + 3 \frac{k_p}{k_g}} \right)$$

ARGILLOSO

k_g è la conducibilità della matrice solida, k_p la conducibilità del riempimento delle porosità e η la porosità ($0 < \eta < 1$).

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



CAPACITÀ TERMICA

E' la proprietà termica connessa alla capacità di accumulo. In genere si considera il valore riferito all'unità di volume ($\text{kJ}/\text{m}^3\text{K}$), dato dal prodotto della densità e del calore specifico.

La capacità termica si calcola analiticamente come media pesata sulla frazione volumetrica θ_i della capacità termica della parte solida S, della parte acqua W e della parte aria A.

$$c_h = \theta_S c_S + \theta_W c_W + \theta_A c_A \quad \text{kJ}/\text{m}^3\text{K}$$

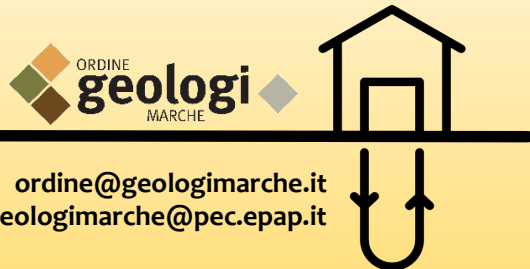
**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



CAPACITÀ TERMICA

Kersten dopo numerose misure ha dimostrato che per un vasto numero di minerali si possono assumere i valori rappresentativi 0,754 kJ/kgK per il calore specifico e 2700 kg/m³ per la densità.

De Vries e altri hanno trovato per i materiali organici 1,926 kJ/kgK e 1300 kg/m³ rispettivamente. Se si trascura la capacità termica dell'aria, la può essere modificata (M minerale, W acqua, O organico):

$$c_h = 2035,8\theta_M + 10000\theta_W + 2503,8\theta_O \quad \text{kJ/m}^3\text{K}$$

La capacità termica cresce linearmente con l'umidità.

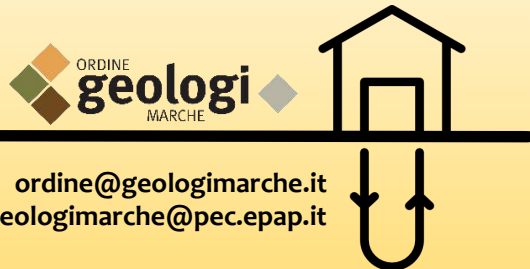
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



DIFFUSIVITÀ TERMICA

La diffusività termica è una misura di quanto velocemente un materiale riesce a diffondere il calore al suo interno, ed è quindi una proprietà importante per valutare le potenzialità di un terreno.

Essa è definita come il rapporto fra la conduttività termica e la capacità termica volumetrica del terreno :

$$D_h = \frac{k_h}{c_h} \quad \text{m}^2/\text{s}$$

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



DIFFUSIVITÀ TERMICA
Valori di riferimento

**Table 5 Thermal Properties of Selected Soils,
Rocks, and Bore Grouts/Fills**

	Dry Density, kg/m ³	Conductivity, W/(m·K)	Diffusivity, m ² /day
Soils			
Heavy clay, 15% water	1925	1.4 to 1.9	0.042 to 0.061
5% water	1925	1.0 to 1.4	0.047 to 0.061
Light clay, 15% water	1285	0.7 to 1.0	0.055 to 0.047
5% water	1285	0.5 to 0.9	0.056 to 0.056
Heavy sand, 15% water	1925	2.8 to 3.8	0.084 to 0.11
5% water	1925	2.1 to 2.3	0.093 to 0.14
Light sand, 15% water	1285	1.0 to 2.1	0.047 to 0.093
5% water	1285	0.9 to 1.9	0.055 to 0.12
Rocks			
Granite	2650	2.3 to 3.7	0.084 to 0.13
Limestone	2400 to 2800	2.4 to 3.8	0.084 to 0.13
Sandstone	2570 to 2730	2.1 to 3.5	0.65 to 0.11
Shale, wet		1.4 to 2.4	0.065 to 0.084
dry		1.0 to 2.1	0.055 to 0.074

Fonte: Ashrae, 2007

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



PROPRIETA' TERMICHE

Valori di riferimento

Roccia	Densità	Conduttività termica		Capacità termica volumetrica
	[kg/m ³]	[W/(m K)]		[MJ/(m ³ K)]
			valor medio	
Rocce magmatiche				
Basalto	2.6-3.2	1.3-2.3	1.7	2.3-2.6
Diorite	2.9-3.0	2.0-2.9	2.6	2.9
Gabbro	2.8-3.1	1.7-2.5	1.9	2.6
Granito	2.4-3.0	2.1-4.1	3.4	2.1-3.0
Peridotite	3.0	3.8-5.3	4.0	2.7
Riolite	appros. 2.6	3.1-3.4	3.3	2.1
Rocce metamorfiche				
Gneiss	2.4-2.7	1.9-4.0	2.9	1.8-2.4
Marmo	2.5-2.8	1.3-3.1	2.1	2.0
Metaquarzite	appros. 2.7	5.8	5.8	2.1
Micascisti	appros. 2.6	1.5-3.1	2.0	2.2
Scisti argillosi	2.7	1.5-2.6	2.1	2.2-2.5
Rocce sedimentarie				
Arenaria	2.2-2.7	1.3-5.1	2.3	1.6-2.8
Calcere	2.6-2.7	2.5-4.0	2.8	2.1-2.4
Marna	2.5-2.6	1.5-3.5	2.1	2.2-2.3
Quarzite	appros. 2.7	3.6-6.6	6.0	2.1-2.2
Rocce argillose/limose	2.5-2.6	1.1-3.5	2.2	2.1-2.4

Fonte: VDI 4640

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



PROPRIETA' TERMICHE Valori di riferimento

Materiale non consolidato				
Argilla/limo – secco	-	0.4-1.0	0.5	1.5-1.6
Argilla/limo – umida	-	0.9-2.3	1.7	1.6-3.4
Ghiaia secca	2.7-2.8	0.4-0.5	0.4	1.4-1.6
Ghiaia umida	appros. 2.7	1.8	1.8	2.4
Morena	-	1.0-2.5	2.0	1.5-2.5
Sabbia secca	2.6-2.7	0.3-0.8	0.4	1.3-1.6
Sabbia umida	2.6-2.7	1.7-5.0	2.4	2.2-2.9
Torba	-	0.2-0.7	0.4	0.5-3.8

Fonte: VDI 4640

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



EFFETTO MOVIMENTO ACQUA DI FALDA

Tutti i modelli utilizzati nel dimensionamento, già abbastanza complessi, sono puramente conduttivi. La presenza di moto di acqua di falda comporta in un GRT come si è visto risultati non significativi oppure un valore di conduttività termico equivalente artificialmente elevata.

Esiste un metodo per stimare l'incidenza del moto di acqua di falda e verificare quanto sia significativo, attraverso il numero adimensionale di Peclet.

Secondo la legge di Darcy (k conduttività idraulica, h potenziale idraulico):

$$q = -K \frac{dh}{dx}$$

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



EFFETTO MOVIMENTO ACQUA DI FALDA

$$Pe = \frac{\rho_l c_l q L}{k_{eff}}$$

dove il prodotto $\rho_l c_l$ è la capacità termica volumetrica dell'acqua, k_{eff} la conduttività termica media del suolo, ed L una lunghezza caratteristica, la scelta della quale dipende dalla situazione. In teoria, la convezione diventa significativa per valori di Pe maggiori di 1, ma in realtà la comparazione deve essere fatta una volta nota la scelta di L .

Se si sceglie la lunghezza caratteristica come 1) la distanza tipica fra i pozzi 2) la lunghezza del campo di pozzi nella direzione del flusso, si ottengono i valori in tabella (in questo caso 4,5 m per la distanza fra i pozzi): ->

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



EFFETTO MOVIMENTO ACQUA DI FALDA

MEZZO POROSO	Numero di PECLET
SUOLI	(Chiasson, 1999)
Ghiaia	5,72E+02
Sabbia (a grana grossa)	1,34E+01
Sabbia (a grana fine)	1,15E+00
Limo	1,28E-02
Argilla	3,24E-05
ROCCE	
Limestone, Dolomite	5,92E-3
Karst Limestone	5,28E+00
Sandstone	1,77E-03
Shale	1,05E-06
Fractured Igneous and Methamorphic	6,32E-02
Unfractured Igneous and Methamorphic	1,00E-07

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



PARTE 2

Elementi pratici ed esecutivi

- ***Realizzazione delle sonde geotermiche***
- ***La Direzione Lavori «geologica»***

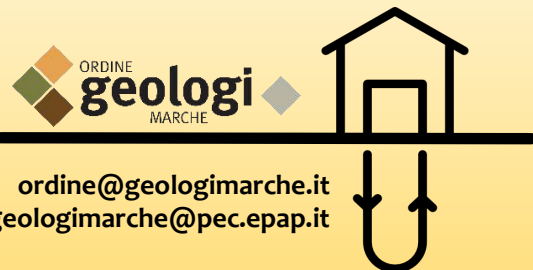
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



REALIZZAZIONE DI SONDE GEOTERMICHE

La realizzazione di Sonde Geotermiche Verticali a Circuito Chiuso si articola nelle seguenti fasi operative:

- ☐ *perforazione*
- ☐ *installazione e cementazione delle sonde*
- ☐ *Collaudi*



AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



FASE DI PERFORAZIONE

Nelle perforazioni per installazione di sonde geotermiche, tutte le metodologie sono “a distruzione di nucleo”, ovvero:

- 1. a rotazione con circolazione diretta o inversa di fluidi (bentonite ed eventualmente con additivi)*
- 2. a rotazione con circolazione di fluidi (anche solo acqua) e rivestimento totale della colonna in avanzamento (camicia)*
- 3. a rotopercussione (martello fondo foro DTH down-to-hole - martello in superficie TH top-hammer)*

IMPORTANTE: non esiste una SOLA metodologia di perforazione, e quindi una SOLA strumentazione, valida per tutti i contesti geologici, idrogeologici e stratigrafici

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



METODOLOGIE DI PERFORAZIONE

prospetto C.1		Prestazioni dei metodi di perforazione						
Tipo di terreno	Percussione	Circolazione diretta	Circolazione diretta con rivestimento	Aria compressa	Aria compressa con rivestimento	Circolazione inversa	Rotazione a secco	Rotazione a secco con rivestimento

Utensili per la perforazione

Utensili	Tipologia impiego	Tipologia terreno
Tricono	Circolazione diretta o inversa	Incoerente, coerente
Trilama	Circolazione diretta o inversa	Incoerente
Martello fondo foro	Aria compressa	Coerente e stabile
Sonda a cucchiaino	Percussione	Incoerente
Benna mordente	Percussione a secco	Incoerente
Bucket	Rotazione a secco e a fango	Incoerente
Elica	Rotazione a secco	Incoerente medio terreno

Lenta	3
Media	4
Rapida	5
Molto rapida	6
Non raccomandabile	N.R.

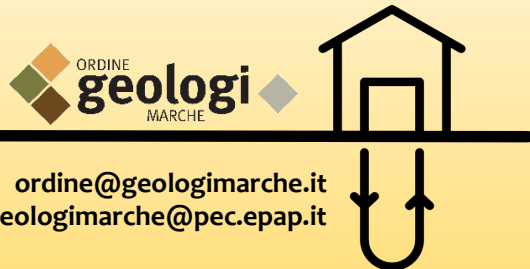
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



TIPOLOGIE DI PERFORAZIONE A ROTAZIONE

Perforazione tradizionale (pozzi per
acqua, pali trivellati,...)



Perforazione con doppia batteria con
rivestimento in avanzamento



**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

PER PRIMA COSA: *COME È ORGANIZZATO UN CANTIERE?*

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



PERFORAZIONE A ROTAZIONE

Perforazione con doppia batteria con rivestimento in avanzamento

VANTAGGI IN TERMINI AMBIENTALI

L'utilizzo del rivestimento in avanzamento è CONSIDERABILE una

B.A.T. (Best Available Technology)

nel campo delle perforazioni per installazione di sonde geotermiche

Dal punto di vista dell'ambiente e delle salvaguardia delle risorse idriche sotterranee consente di:

- **MINIMIZZARE** l'utilizzo di fluidi di perforazione per la stabilizzazione del foro;
- **MINIMIZZARE** in fase di transitorio (perforazione) la messa in comunicazione di falde sovrapposte, caratterizzate da qualità e da quote piezometriche differenti.

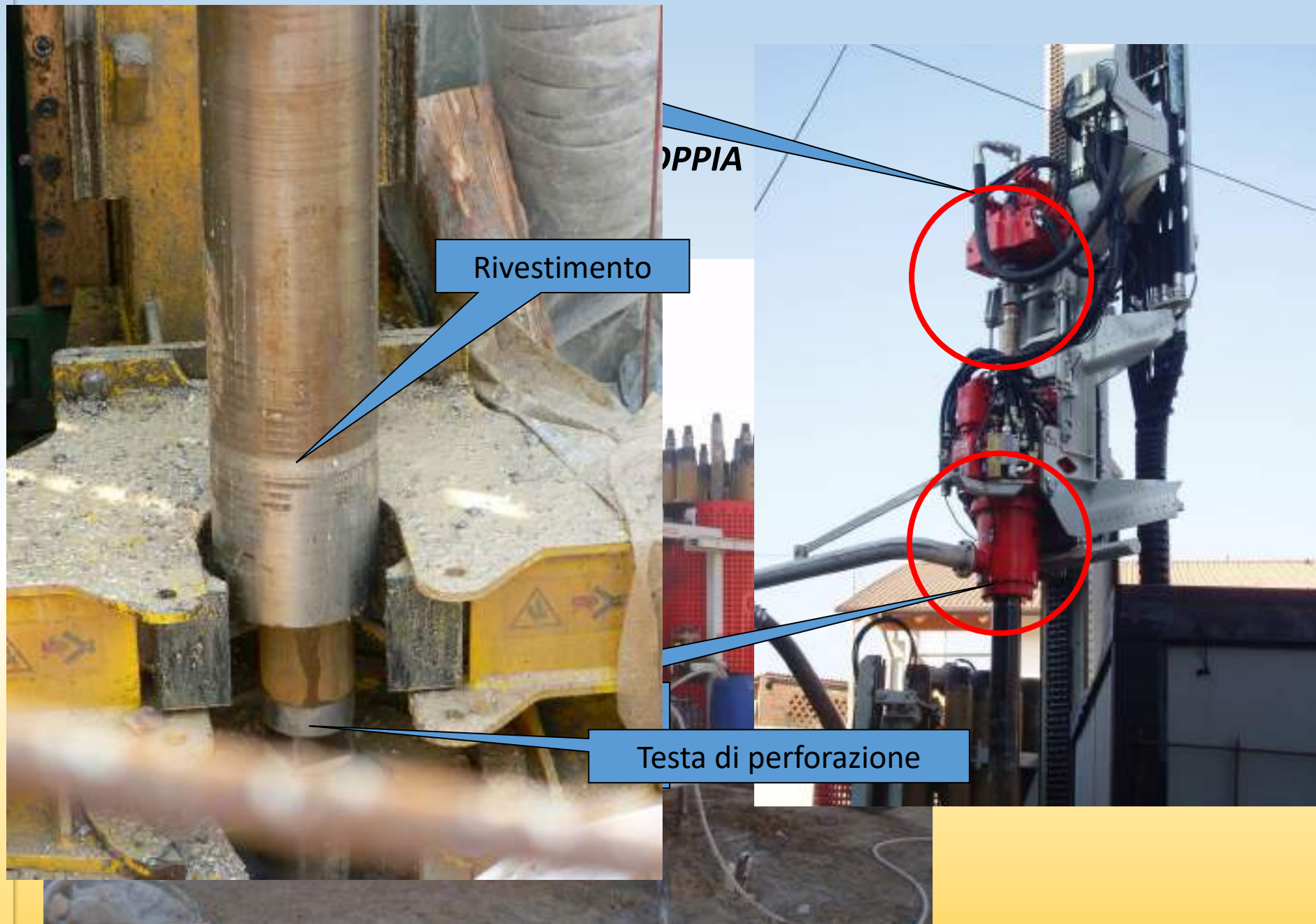
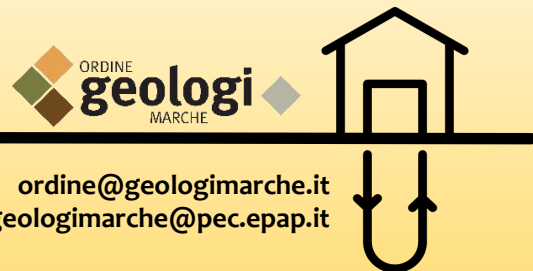
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



PERFORAZIONE A ROTAZIONE CON “DOPPIA TESTA”

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



PERFORAZIONE A ROTAZIONE



Circolazione del fluido in
vasche fuori terra



**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



PERFORAZIONE A ROTOPERCUSSIONE

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE
GEOSCAMPER
ASPETTI GEOLOGICI
IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimski



ordine@geologimarche.it
geologimarche@pec.epa

INSTALLAZIONE NEL FORO

Installazione nel foro a gravità

MOLTO IMPORTANTE:

EVITARE L'INSTALLAZIONE DELLE SONDE (IN MATERIALE PLASTICO) CON
SONDAGGIO A SPINTA CON LA MACCHINA OPERATRICE, INSIEME
il danneggiamento della sonda è MOLTO più frequente

CON LE SONDE METALLICHE IL PROBLEMA NON SI PRESENTA



AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



INSTALLAZIONE NEL FORO



**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



INSTALLAZIONE NEL FORO

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



CEMENTAZIONE DELLA SONDA

CEMENTAZIONE CON MISCELE BENTONITICHE

Materiale	Conduttività termica [W/mK]	Conduttività idraulica	Pompabilità	Compressione per congelamento
Sabbia satura	1.7-2.5	buona	-	-
Sabbia secca	0.3-0.6	buona	-	-
Argilla	0.9-1.4	bassa	scarsa	esiste
Bentonite 1.3 g/cm ³	0.7	molto bassa	buona	alta
Bentonite con sabbia	1.4-1.8	molto bassa	scarsa	media
Bentonite/cemento	0.6-1.0	molto bassa	buona	bassa
Grout ad alta cond.	1.6-2.0	molto bassa	buona	bassa

MOLTO IMPORTANTE:

La bentonite, eventualmente utilizzata come il fluido di perforazione, va sempre estratto dal foro e sostituito con la miscela cementante.

Contestualmente all'inserimento della sonda verticale, dovrà essere inserita la tubazione necessaria per la cementazione del foro, a partire dal fondo della perforazione.

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



CEMENTAZIONE DELLA SONDA

**AGGIORNAMENTI
PROFESSIONALI**

**CORSO APPLICATIVO
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE
GEOSCAMBIO
ASPETTI GEOLOGICI
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



APPENDICE E ESEMPIO DI GIORNALE DI TRIVELLAZIONE (normativa)

LOGO:		GIORNALE DI TRIVELLAZIONE	
		N° Sonda:	
		Data:	
UBICAZIONE:		SCHEZZO DI POSIZIONE	
Provincia:			
Comune:			
Località:			
I.G.M.:			
Tavola:			
Coord. UTM:			
Sezione G.T.R.:			
Cotale F.:		N° mappale:	
Cote di G.P.:		C.T.R.:	
DATI COMMITTENTE			
Cliente:		Via:	
N° M.:		Città:	
N° contratto:		Cell.:	
SCHEDA DI COMPLETAMENTO			
Sistema:		Altezza:	
C.T.:		C.T.:	
Sistema:		Altezza:	
C.T.:		C.T.:	
Profondità di perforazione:			
Composizione materiale di riempimento:			
Quantità materiale di riempimento kg:			
Caratteristiche delle tubazioni posate: C.T. e m. Tipo: <input type="checkbox"/> 2 tubi <input type="checkbox"/> 4 tubi			
DATI COLLAUDO			
Giorno prove di tenuta:			
Data:		Pressione rilevata Bar:	
Data:		Pressione rilevata Bar:	
Data:		Pressione rilevata Bar:	
Pozzo rilevato in:		Pozzo rilevato in:	
Pozzo rilevato in:		Pozzo rilevato in:	

APPENDICE F ESEMPIO DI VERBALE DI CEMENTAZIONE (normativa)

Impresa:

Committente:

Cantiere:

Tipologia e composizione della malta:

Ora inizio ora fine data

Verbale di cementazione

Simbolo	Descrizione	UM	Valore
ϕ_1	Diámetro tubo di iniezione del foro		
δ_1	Spessore del tubo di iniezione del foro	mm	
ϕ_2	Diámetro del foro	mm	
ϕ_3	Diámetro esterno del pozzo	mm	
ϕ_4	Diámetro esterno del tubo getto	mm	
Q_1	Volume del foro	litri	
Q_2	Volume del tubo di pozzo	litri	
Q_3	Volume esterno tubo getto	litri	
Q_{tot}	Volume intercapedine ($Q_1 - Q_2 - Q_3$)	litri	

Programma e verifica iniezione

Volume iniettato (in litri)	Verifica volume aspirato (in litri)
Preiniettare $Q_1 + Q_2 + Q_3 = (n \cdot 1 + Q_3) = 1$	Preiniettare 1
Fase di estrazione: tubo N° 1 $Q_{1a} = 1$	1
tubo N° 2 $Q_{2a} = 1$	1
tubo N° 3 $Q_{3a} = 1$	1
tubo N° 4 $Q_{4a} = 1$	1

Il processo di cementazione si è svolto con esito positivo: ☐ SI ☐ NO

Il Perforatore

La Direzione Lavori

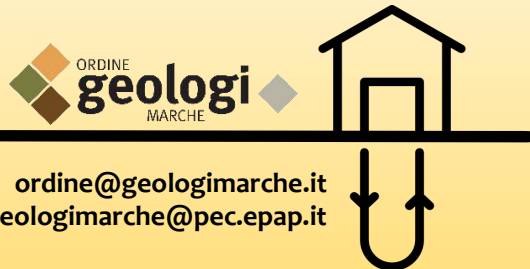
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

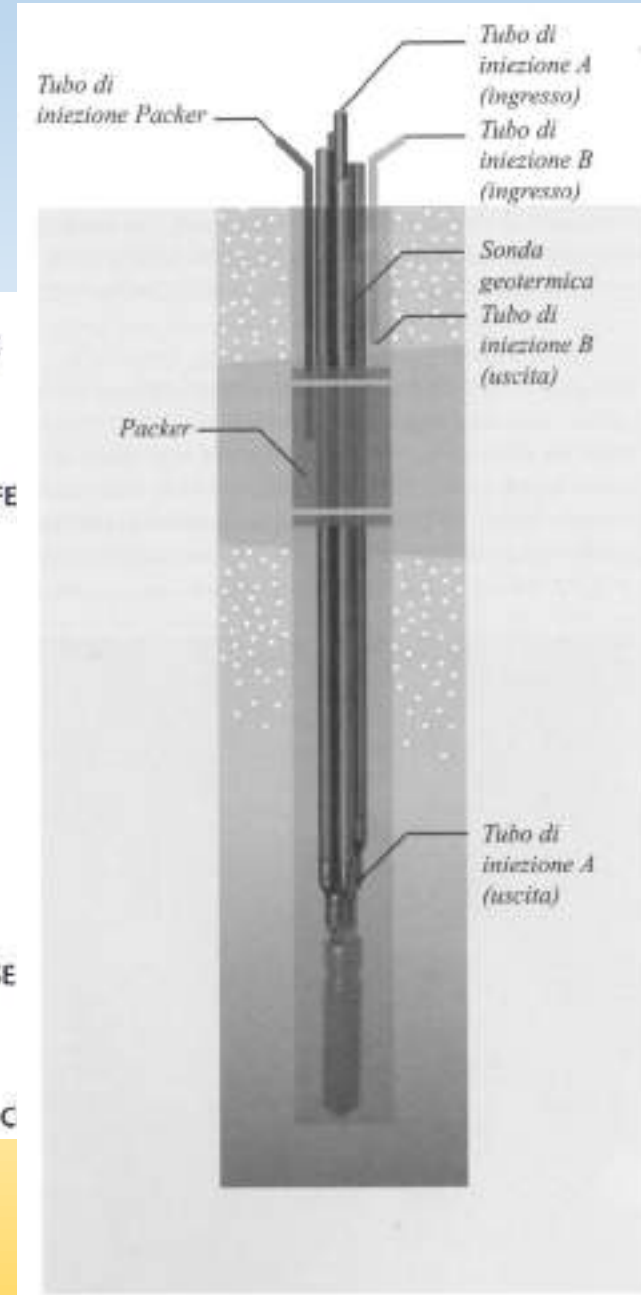
Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



temporaneamente due zone
una al di sotto del packer.



AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



COLLAUDO: PROVE DI TENUTA IDRAULICA DELLE SONDE

Dopo il posizionamento della sonda nel foro di perforazione dovrà essere eseguita la prova di tenuta idraulica. Tale prova, eseguita dall'installatore, sarà effettuata in cantiere su ogni singolo circuito idraulico che compone la sonda.

Prova di tenuta della sonda geotermica ricolmata interamente con acqua

❖ *pressione di prova: minimo 5 bar;*

❖ *durata: minimo 2 ore;*

❖ *di*

*Qua
fluid
di c
verij*



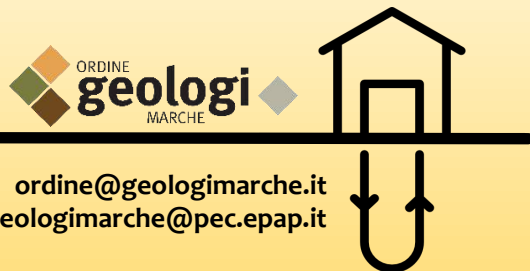
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

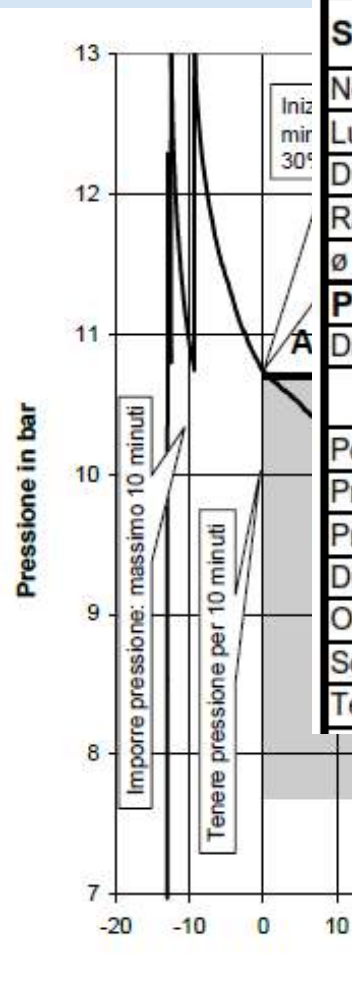
Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



COLLAUDO QUALE Metodo



Ditta sonda/trice		Protocollo di prova e collaudo					
		Prova di circolazione e di pressione di sonde geotermiche					
Temperatura sonda mass. [°C] (dopo metà tempo di circolazione) 1							
Prova di pressione secondo DIN V 4279-7 (vedi grafico)							
Data della prova, ora, con giunto Y sì/no							
		Durata	Tempo	Sonda	Durata	Tempo	Sonda
1	Prova (sì/no) Tempo riposo 60 minuti	60 Min			60 Min		
2	Applicare pressione (12 bar ± 1 bar)	<10 Min	-10 Min		<10 Min	-10 Min	
3	Tenere pressione (Min. 10 bar) (A)	10 Min	0 Min		10 Min	0 Min	
4	Periodo di riposo: caduta di pressione mass. 30% dall'inizio periodo riposo (B)	60 Min	60 Min		60 Min	60 Min	
5	Riduzione della pressione di 2 bar (C)						
	Quantità dell'acqua tolta [litri]						
6	Prova principale (durata 30 min.) (D)	10 Min	70 Min		10 Min	70 Min	
	(E)	10 Min	80 Min		10 Min	80 Min	
	(F)	10 Min	90 Min		10 Min	90 Min	
Obiettivi raggiunti (sì/no)							
Iniezione (Standard 100 kg bentonite 200 kg cemento, 900 kg Acqua)		Bent.	Cement.	Acqua	Bent.	Cement.	Acqua
Bentonite / Cemento / Acqua in litri risp. kg							
o miscela pronta fabbricazione, acqua al 100 kg							
Riempimento fino a quota terr. sì/no; se no fino a m sotto q.t.			m sotto q. t.			m sotto q. t.	
Collaudo		Committente o rappr.				Sondatore	
Luogo, data							

1) opzione, non fa parte del test.

ProvaPressione.xls

Tempo in minuti

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



COLLAUDO: PROVE DI TENUTA IDRAULICA

QUALE Metodologia di collaudo? NORMA UNI EN 805:2002, punto A.27

VERIFICHE E MESSA IN SERVIZIO

Prove di pressione e portata della geosonda e dell'impianto

La prova di pressione deve essere svolta in conformità alla UNI EN 805:2002, punto A.27.

Metodologia di prova di portata

La prova di portata consiste nel verificare la quantità d'acqua circolante in unità di tempo del geosonda, nelle condizioni di perdita di carico previste da progetto.

La prova prevede di leggere e registrare nel giornale di trivellazione il valore di portata

DATI COLLAUDO

Elenco prove di tenuta:

Data: _____ dalle ore _____ alle ore _____ Pressione rilevata Bar _____

Data: _____ dalle ore _____ alle ore _____ Pressione rilevata Bar _____

Data: _____ dalle ore _____ alle ore _____ Pressione rilevata Bar _____

Portata rilevata l/h _____ Perdita di carico rilevata mm ca. _____ Esecutore: _____

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

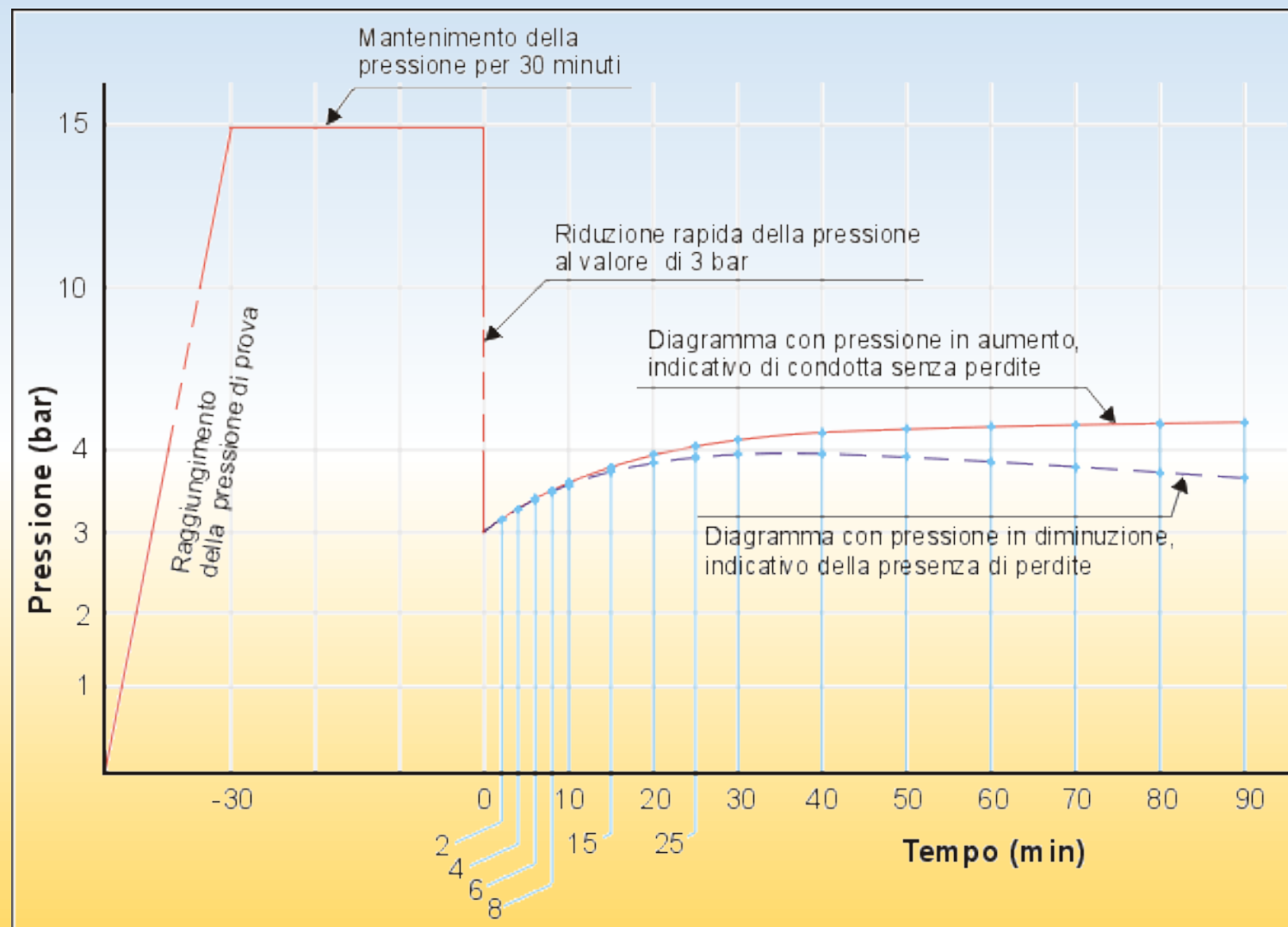
**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



COLLAUDO: PROVE DI TENUTA IDRAULICA

QUALE Metodologia di collaudo? NORMA UNI EN 805:2002, punto A.27



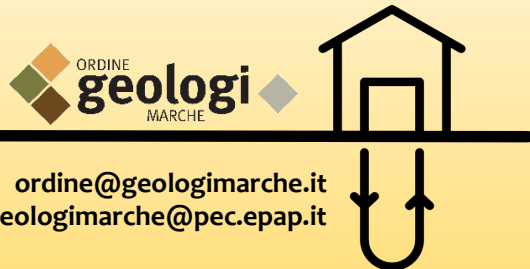
**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

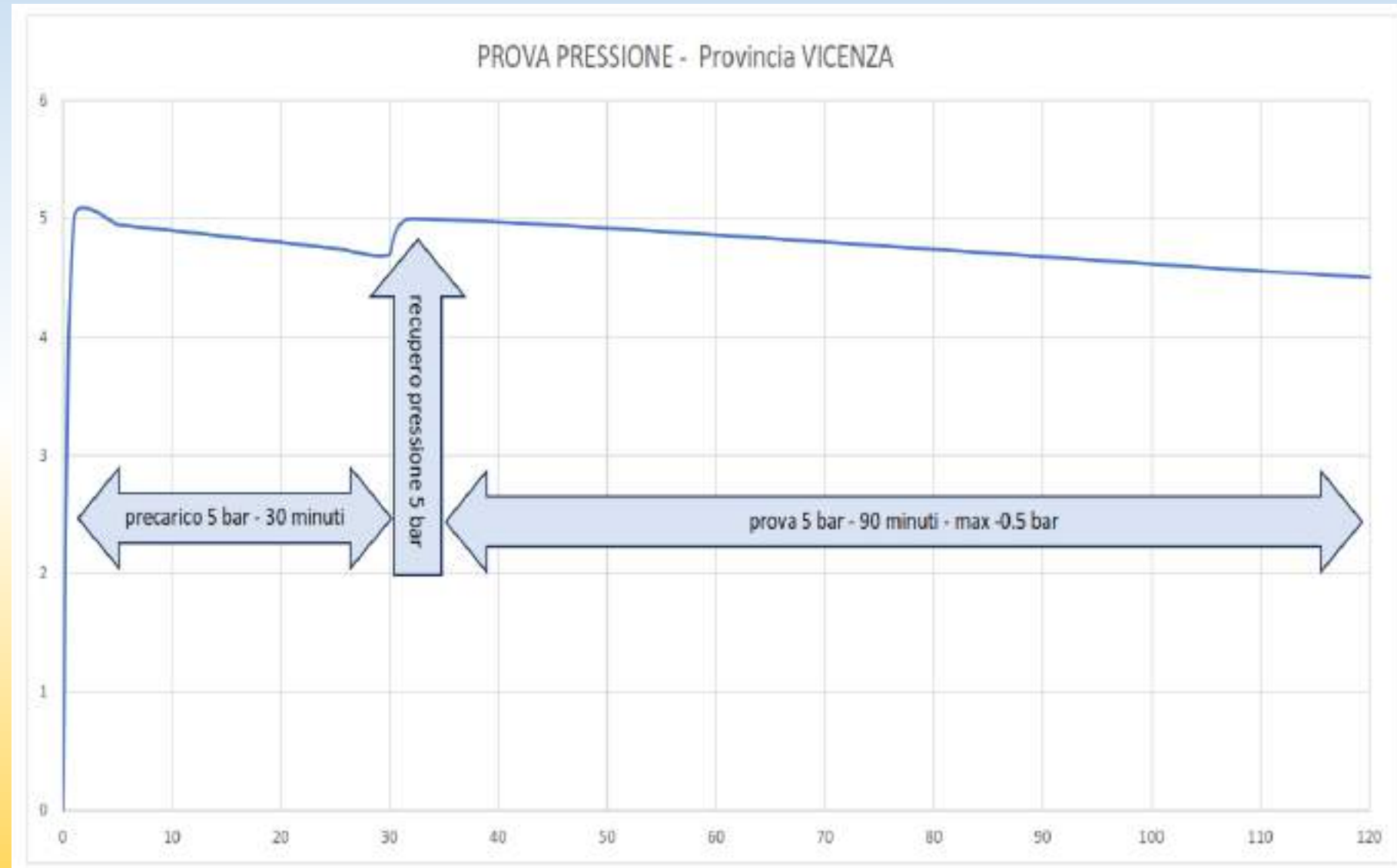
**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



COLLAUDO: PROVE DI TENUTA IDRAULICA

QUALE Metodologia di collaudo? Provincia di Vicenza



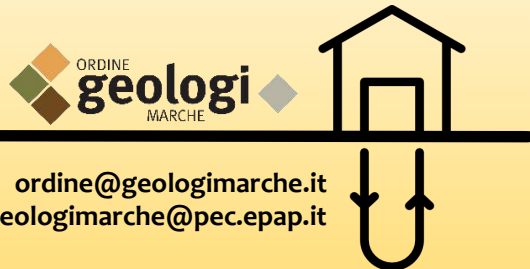
**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

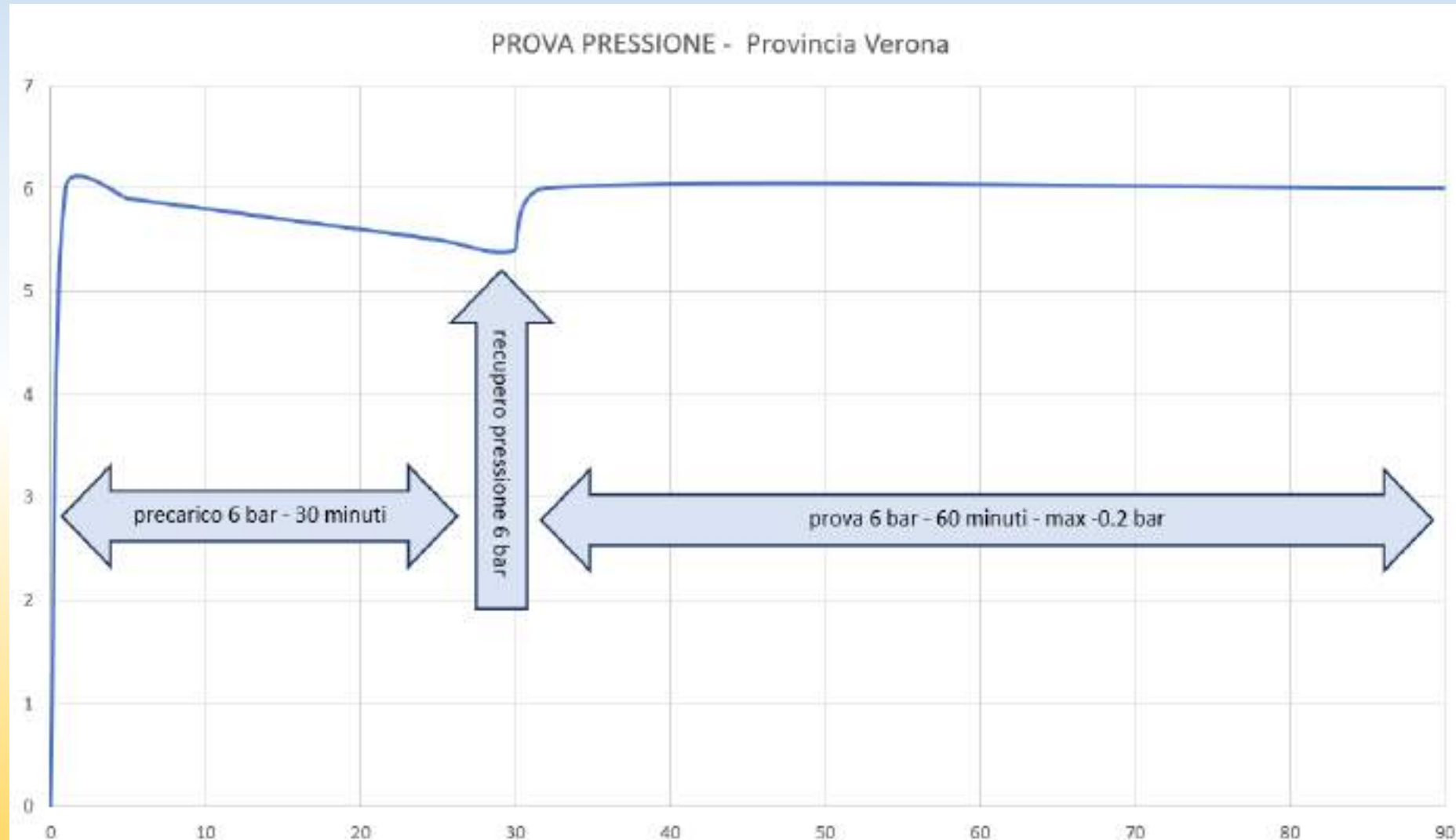
**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



COLLAUDO: PROVE DI TENUTA IDRAULICA

QUALE Metodologia di collaudo? Provincia di Verona



AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



FLUIDO TERMOMETTORE

SOLUZIONE	%	Visc. Cin. (mm ² /s)		Cal. Spec. (kJ/kgK)		P. di cong (°C)
Acqua	0	-	1.8	-	4.21	0
Glicole etilenico	25	6.0	4.3	3.78	3.80	-14
	33	9.0	5.9	3.55	3.58	-21
Glicole propilenico	25	10.0	6.0	3.92	3.93	-10
	33	15.0	8.0	3.70	3.75	-17
Carbonato di potassio	25	3.7	2.7	3.07	3.09	-13
	33	4.9	3.5	2.81	2.84	-20
Cloruro di calcio	20	3.9	2.6	3.03	3.06	-18
Metanolo	25	5.2	3.3	3.98	4.02	-20
Etanolo	25	10.5	6.0	~4.25	~4.25	-15

Tabella 6.2 Proprietà di diversi tipi di anticongelanti (Begal, 1996)

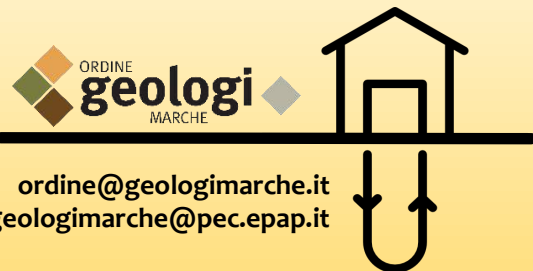
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



FLUIDO TERMOMETTORE

Antifreeze solution	Heat transfer %	Pump energy %	Corrosivity	Toxicity	Environmental impact
Calcium chloride (CaCl ₂)	120	140	Unacceptable with stainless steel, aluminium, mild steel, zinc or zinc based solders	Potential skin/eye irritation from dust. Strong salt taste will prevent ingestion of contaminated ground water	Impact on ground water quality
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	80	110	Anti-oxidant should be used to minimise corrosion	Vapours burn throat and eyes. Ingestion in high quantities can cause sickness. Prolonged exposure may exacerbate liver damage	Unavailable
Ethylene glycol (HOCH ₂ CH ₂ OH)	90	125	Inhibitors required to protect mild steel, cast iron, aluminium and solder	Eye/skin irritation. Single dose oral toxicity is moderate. Excessive or long term exposure may be hazardous.	Biodegrades when combined with CO ₂ and H ₂ O. Non-persistent organic acids are formed.
Methanol (CH ₃ OH)	100	100	Biocide should be used to prevent fouling.	Highly toxic by inhalation, skin contact and ingestion. Long term effects are cumulative, prolonged exposure can be harmful.	Biodegrades into CO ₂ and H ₂ O. Non-persistent organic acids are formed.

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



FLUIDO TERMOMETTORE

	Temperature (°C)		Material		
Potassium acetate (CH ₃ COOK)	85	115	Inhibitors required for aluminium and carbon steels. Low surface tension requires special pipe doping materials to prevent leakage.	Some eye/skin irritation may occur. Relatively non-toxic.	Same as methanol.
Potassium carbonate (K ₂ CO ₃)	110	130	Inhibitors required for mild steel and copper. No protection available for tin, bronze or zinc.	Caustic nature makes handling somewhat hazardous. Long term human ingestion is of concern.	Carbonate precipitates out. Not considered a problem.
Propylene glycol (CH ₃ CHOHCH ₂ OH)	70	135	Inhibitors required for cast iron, solder and aluminium.	Considered to be non-hazardous.	Same as Ethylene glycol.
Sodium chloride (NaCl)	110	120	No inhibitors provide protection for mild steel, copper and aluminium.	Potential skin/eye irritation from dust. Strong salt taste will prevent ingestion of contaminated groundwater	Travels quickly due to high solubility. Adversely affects groundwater.

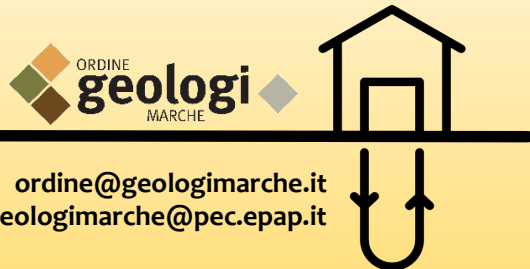
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



UTILIZZO DEL GLICOLE PROPILENICO E POLIPROPILENICO

- nelle sigarette elettroniche assieme al glicerolo come base per diluire la nicotina e simulare il fumo;
- come solvente in molte preparazioni farmaceutiche, orali, iniettabili e per uso topico;
- come additivo alimentare umettante, con nome E1520;
- come emulsionante in alcune preparazioni alimentari;
- come umidificante nei farmaci, cosmetici, cibi, dentifrici, collutori, deodoranti stick, tabacchi e prodotti per la cura dei capelli;
- come veicolo per gli olii profumati e ingrediente per olii per massaggi;
- nelle lozioni antibatteriche, soluzioni saline e igienizzanti per mani;
- nelle macchine del fumo per realizzare il fumo artificiale (ad es. per l'industria dello spettacolo);
- come solvente per aromi e coloranti alimentari;
- come solvente per sostanze chimiche ad uso fotografico;
- nella crioconservazione;
- come ingrediente di alcuni inchiostri per tatuaggi (?)"

Morale: Siamo accerchiati dal glicole propilenico....

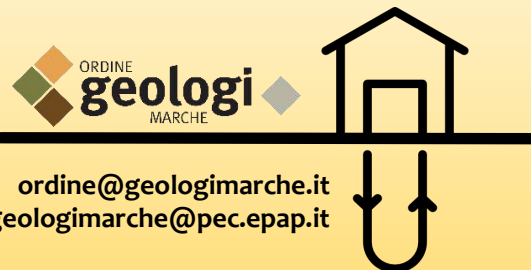
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



GLICOLE MONOPROPILENICO

DESCRIZIONE:

PRODOTTO GLUCOGENETICO DA INTEGRARE NELLA RAZIONE DEI RUMINANTI

Il Glicole Monopropilenico è utilizzato come farmaco terapeutico primario nelle forme di chetosi di media o lieve gravità, mentre nelle forme più gravi viene somministrato come coadiuvante della terapia con glucosio e glucocorticoidi.

SETTORI D'IMPIEGO:

allevamenti

CARATTERISTICHE CHIMICO FISICHE:

ASPETTO	Liquido limpido
COLORE	Incolore
GUSTO	Caratteristico
ODORE	Inodore
FORMULA	CH ₃ -CHOH-CH ₂ OH
PESO SPECIFICO	1.0380 ± 0.005 g/ml
SOLUBILITÀ IN ACQUA	Completa in ogni rapporto
PUNTO DI EBOLLIZIONE	188 ± 1° C
INDICE DI RIFRAZIONE	1.431 ± 0.002
CONTENUTO DI ACQUA	0.2% Max-

MODALITA' D'USO:

In funzione dello stato fisiologico del ruminante (condizione corporea, lunghezza di lattazione, presenza di chetosi subclinica); dosare in ragione di 125-250 g per capo mescolati con pari quantità di acqua due volte al giorno.

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



PARTE 3

TEMATICHE AMBIENTALI

- ***Sostenibilità ambientale del geoscambio***
- ***Modellazione del trasporto di calore in falda***
- ***CASI STUDIO: dalla D.LL ai sistemi di monitoraggio***

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



SOSTENIBILITA' AMBIENTALE DEL GEOSCAMBIO

Per sostenibilità ambientale del geoscambio si intende l'individuazione e la valutazione delle possibili interferenze con l'ambiente degli impianti climatizzazione che si servono di fonti geotermiche a bassa entalpia.

*La recente **NORMA UNI 11468 – Sistemi Geotermici a pompa di calore – REQUISITI AMBIENTALI** ha per la prima volta in Italia, affrontato la tematica della compatibilità ambientale degli impianti geotermici a servizio della climatizzazione degli edifici.*

La norma ha come esplicito scopo la valutazione del livello di sostenibilità e si applica alle fasi di progettazione, installazione, gestione, manutenzione e controllo degli impianti di cui alla UNI 11466

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



SOSTENIBILITA' AMBIENTALE DEL GEOSCAMBIO

È necessario puntualizzare come le criticità ambientali più rilevanti del geoscambio non siano connessi con l'esercizio del sistema ma con la sua realizzazione, ovvero con l'installazione delle sonde geotermiche. In particolare:

- **potenziale inquinamento delle falde da parte di additivi di perforazione non compatibili con la qualità degli acquiferi***
- **penetrazione di strati impermeabili e conseguente eventuale messa in comunicazione di acquiferi separati di caratteristiche qualitative differenti***
- **eccessiva risalita di falde artesiane, tali da non consentire l'immediata ricostruzione dei livelli impermeabili di separazione delle falde stesse***
- **modificazione temporanea dei caratteri quali/quantitativi attinenti ad emungimenti idrici adiacenti***

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



SOSTENIBILITA' AMBIENTALE DEL GEOSCAMBIO

*Per quanto riguarda invece l'esercizio degli impianti di geoscambio, quali sono **VERAMENTE i rischi ambientali?** Ovvero, quali sono le possibili interferenze (negative) sul sottosuolo degli impianti geotermici a circuito chiuso in esercizio, fermi restando gli innegabili vantaggi?*

- 1. **Modificazione della solubilità di alcuni minerali disciolti in falda***
- 2. **Modificazione della popolazione batterica all'interno delle opere di presa***
- 3. **Interferenza con opere e manufatti artificiali sotterranei***
- 4. **Effetti secondari sulla stabilità geotecnica dei terreni alluvionali***
- 5. **Fenomeni di instabilità indotta su versanti***

*In generale è possibile individuare come potenziali bersagli soprattutto gli **attingimenti idropotabili pubblici.***

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



SOSTENIBILITA' AMBIENTALE DEL GEOSCAMBIO

Dal punto di vista dell'efficienza energetica dell'impianto invece gli effetti di una scorretta progettazione/dimensionamento sono rappresentati soprattutto da:

- 1. Possibilità di **corto-circuitazione termica** dell'impianto, e conseguente malfunzionamento nel breve periodo*
- 2. Possibilità di **riduzione dell'efficienza** nel tempo (creazione di un "pozzo termico") a seguito di un insufficiente dimensionamento*

Entrambe queste eventualità possono derivare dall'assenza di una progettazione integrata edificio-sottosuolo, ovvero nella corretta valutazione del contesto geologico in termini di caratteristiche termiche dei terreni e di presenza di moti di filtrazione sotterranea.

**...e LASCIAMO PERDERE LA QUESTIONE DEL
GLICOLE PROPILENICO.....**

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



SOSTENIBILITA' AMBIENTALE DEL GEOSCAMBIO ED ANALISI DEL RISCHIO

Quali strumenti abbiamo a disposizione per valutare la sostenibilità ambientale dei sistemi di geoscambio a circuito chiuso?

(che vuole anche dire, come facciamo a essere sicuri di progettare un impianto che sia efficiente nel tempo?)

STRUMENTO: ANALISI DI RISCHIO



**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



SOSTENIBILITA' AMBIENTALE DEL GEOSCAMBIO

FASE DI PERFORAZIONE: PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE

La soluzione ai potenziali problemi in fase di installazione sono risolvibili affidando la Direzione Lavori e tecnici competenti, in grado di valutare il contesto geologico e di adottare adeguate metodologie operative atte a salvaguardare il sottosuolo, e nello specifico:

- 1. Pianificare un'adeguata fase geognostica preliminare;*
- 2. Scegliere la metodologia ottimale di perforazione;*
- 3. Evitare fluidi di perforazione ad impatto ambientale;*
- 4. Adottare cautele particolari in caso di falde artesiane;*
- 5. Definire di un protocollo che definisca metodologie di installazione, tipologie dei materiali e prove di collaudo*
- 6. ...osservare le norme di buona tecnica e soprattutto adottare il BUON SENSO...*

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



SOSTENIBILITA' AMBIENTALE DEL GEOSCAMBIO

FASE DI ESERCIZIO: PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE

La soluzione ai potenziali problemi in fase di esercizio sono risolvibili adottando le seguenti cautele:

- 1. Utilizzare fluidi termovettori biocompatibili, in alternativa alla sola acqua;*
- 2. Adottare sistemi di protezione catodica nel caso di sonde in materiale metallico;*
- 3. Dimensionare l'impianto affinché le temperature non possano generare formazione di anelli di congelamento attorno alla sonda, che potrebbero alterare le caratteristiche di impermeabilità della cementazione;*
- 4. E ancora: ...osservare le norme di buona tecnica e soprattutto adottare il BUON SENSO...*

AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



LA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO TERMICO DEGLI IMPIANTI A CIRCUITO CHIUSO

CONCETTO IMPORTANTE:

*L'analisi dell'impatto termico del geoscambio sul sottosuolo e sulla falda è necessaria ed opportuna sia ai sensi di una **corretta progettazione** sia in termini di **valutazione della sostenibilità ambientale** dell'impianto stesso.*

PROSPETTIVA PROGETTUALE



PROSPETTIVA AMBIENTALE

*Appare opportuno puntualizzare che le questioni **sono intimamente connesse**, in quanto la **corretta progettazione** deve necessariamente giungere a garantire la **sostenibilità e funzionalità nel tempo del geoscambio**, oltre a preoccuparsi di non **generare impatti ambientali non desiderati**.*

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

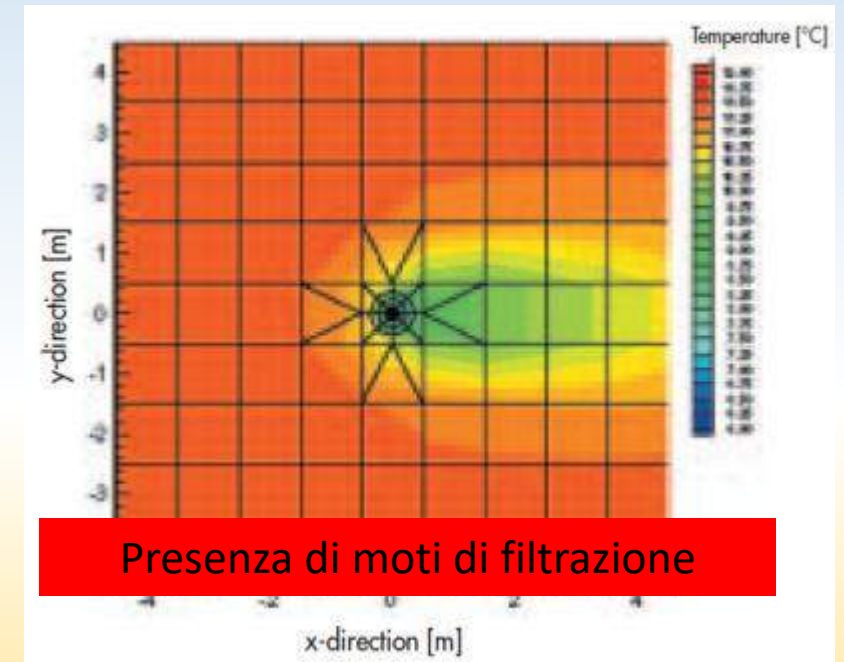
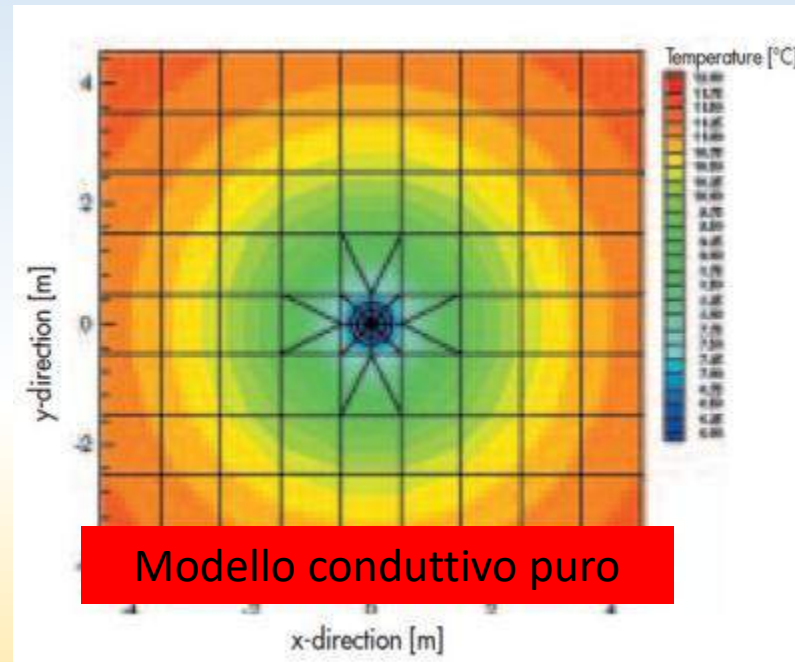
**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



LA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO TERMICO DEGLI IMPIANTI A CIRCUITO CHIUSO

Cosa succede quando la sonda geotermica scambia calore con il sottosuolo?



In sostanza i moti di filtrazione nel sottosuolo possono incrementare in maniera sostanziale le capacità di scambio termico del sistema, maggiore a parità di condizioni in terreni ad elevata permeabilità e minore in terreni poco permeabili.

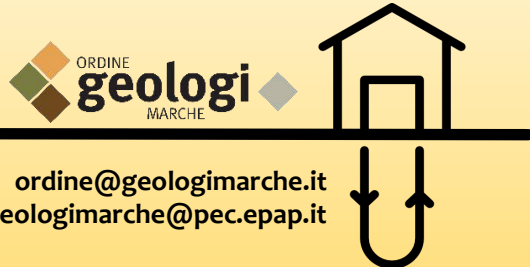
**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



LA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO TERMICO DEGLI IMPIANTI A CIRCUITO CHIUSO

ANOMALIA TERMICA ???

Lo sfruttamento del terreno come sorgente termica è comprovato essere ambientalmente sostenibile.

“Per ciascun sistema geotermico, e per ciascuna modalità di produzione, esiste un certo livello di produzione massima di energia, al di sotto del quale è possibile mantenere costante la produzione di energia dal sistema per un lungo periodo (100-300 anni)” (Orkustofnun Working Group, 2001).

Una “produzione sostenibile da singolo sistema geotermico”, in sostanza, deve assicurare che l'impianto collegato a terreno, comporti il raggiungimento di un equilibrio termodinamico sul lungo periodo, assestando il livello della temperatura del terreno su un valore accettabile e ambientalmente compatibile; inoltre è necessario che una volta terminato il funzionamento dell'impianto il terreno raggiunga su tutto il volume interessato compreso l'intorno dello scambiatore dei valori di temperatura confrontabili con quelli del terreno indisturbato prima dell'applicazione degli scambiatori.

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



LA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO TERMICO DEGLI IMPIANTI A CIRCUITO CHIUSO

ANOMALIA TERMICA ???

Numerosi studi hanno dimostrato che applicazioni di sonde geotermiche verticali correttamente dimensionate consentono di realizzare un sistema geotermico ambientalmente sostenibile secondo la definizione data.

In particolare si possono citare il lavoro di Eugster e Rybach (2000, 2002), il lavoro di Rybach e Mongillo (2006) e quello di Signorelli, Kohl e Rybach (2004), nonché altre pubblicazioni dei più grandi esperti mondiali del settore (Sanner e alt., 2000).

Si è visto che la risposta è positiva, cioè che dopo qualche anno di funzionamento, se il dimensionamento è corretto, si instaura un nuovo equilibrio stazionario, fra la tendenza naturale del suolo a mantenere le condizioni iniziali e l'energia estratta ed immessa dallo scambiatore.

Inoltre il funzionamento alternato estate/inverno consente di minimizzare l'impatto globale su base annuale, anche in considerazione della sensibile inerzia di sistema idrogeologico

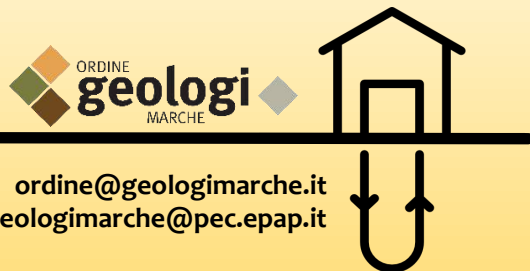
**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



METODOLOGIE PER LA MODELLAZIONE DEL TRASPORTO DI CALORE IN FALDA

*Per la modellazione del trasporto del calore in falda, ovvero per l'analisi quantitativa del comportamento delle sonde geotermiche in presenza di moti di filtrazione nel sottosuolo, è necessario combinare gli **aspetti relativi alla simulazione del flusso idrogeologico e del flusso termico**, in regime stazionario o transitorio.*

In generale il trasporto di calore attraverso un mezzo poroso saturo (ad esempio un terreno sabbioso) avviene secondo i seguenti processi:

- 1. Trasferimento attraverso il solido per conduzione***
- 2. Trasferimento attraverso il liquido per conduzione***
- 3. Trasferimento attraverso il liquido per convezione***

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



METODOLOGIE PER LA MODELLAZIONE DEL TRASPORTO DI CALORE IN FALDA

Al fine di simulare il comportamento di un sistema di geoscambio nel sottosuolo in presenza di falda, possono essere utilizzate principalmente due metodologie:

- 1. **Metodi "SEMPLIFICATI"**, ad esempio utilizzando la soluzione analitica della sorgente lineare infinita mobile (Carslaw, Jaeger 1959)*
- 2. **Metodi NUMERICI**, ovvero metodi agli elementi finiti, differenze finite, etc... tramite codici di calcolo commerciali*

*In ogni caso risulta necessario, come prima chiarito, la definizione del **modello geologico ed idrogeologico di riferimento**, oltre che la **determinazione dei parametri di progetto relativi alle temperature del fluido termovettore**.*

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



METODOLOGIE PER LA MODELLAZIONE DEL TRASPORTO DI CALORE IN FALDA

Ma prima di tutto, quando effettivamente il flusso di falda incide in maniera significativa sullo scambio termico?

Tale verifica può essere effettuata tramite la determinazione del NUMERO DI PECKET, la cui espressione matematica è la seguente:

$$Pe = \frac{\rho c_p L V}{k} = Re Pr$$

Dove:

- ρ è la densità del fluido
- C_p è il calore specifico
- k è la conduttività termica media del suolo
- V è la velocità di flusso della falda
- L una lunghezza caratteristica

In linea teorica, la convezione diventa significativa per valori di Pe maggiori di 1, ma in realtà la comparazione deve essere fatta una volta nota la scelta di L .

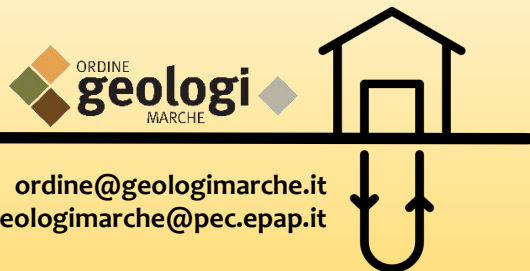
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



METODOLOGIE PER LA MODELLAZIONE DEL TRASPORTO DI CALORE IN FALDA

Metodi “SEMPLIFICATI” (rif: norma UNI-11466)

Tali metodi forniscono una stima dell'estensione dell'anomalia termica in presenza di falda acquifera, ma scontano dell'assunzioni semplificative che ne relegano l'utilizzo a casi “semplici” dal punto di vista idrogeologico ed in relazione alle dimensioni del campo sonde.

In particolare:

- 1. Il sistema terreno-fluido è omogeneo e non cambia con la T°*
- 2. Lo scambiatore ha lunghezza infinita (approssimato alla sorgente lineare)*
- 3. La T del sottosuolo è costante ed uniforme*
- 4. Il flusso termico dallo scambiatore è costante nel tempo*
- 5. L'analisi considera un solo scambiatore*

**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



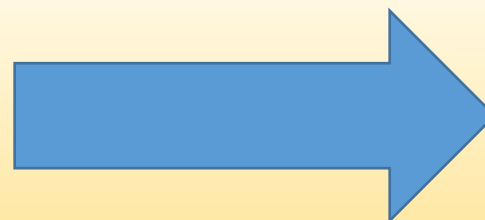
METODOLOGIE PER LA MODELLAZIONE DEL TRASPORTO DI CALORE IN FALDA

Metodo "NUMERICI"

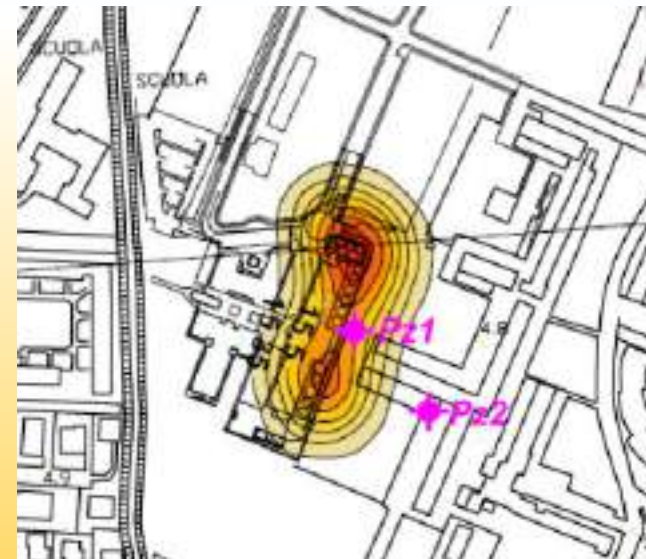
In casi in cui il sottosuolo è disomogeneo ed il campo sonde ha un'estensione considerevole (ad esempio >30 sonde) risulta opportuno utilizzare metodi numerici (FDM, FEM, etc) per modellizzare il trasporto del calore all'interno del sistema idrogeologico.



**Dal modello
idrogeologico**



**Al modello
termico**



**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



METODOLOGIE PER LA MODELLAZIONE DEL TRASPORTO DI CALORE IN FALDA

PROCEDURA PER LA MODELLAZIONE

- 1. Definizione del modello geologico-stratigrafico**
- 2. Definizione del modello idrogeologico di dettaglio (profondità e spessori degli acquiferi, parametri idrodinamici, presenza di opere di captazione, etc...)**
- 3. Discretizzazione tridimensionale degli acquiferi e soluzione del modello idrogeologico in regime stazionario o transitorio (in caso di presenza di pozzi in pompaggio)**
- 4. Definizione dei parametri termici di input, in termini di carichi mensili o settimanali, e quindi definizione delle temperature del fluido termovettore**
- 5. Modellazione tridimensionale del campo di sonde geotermiche**

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

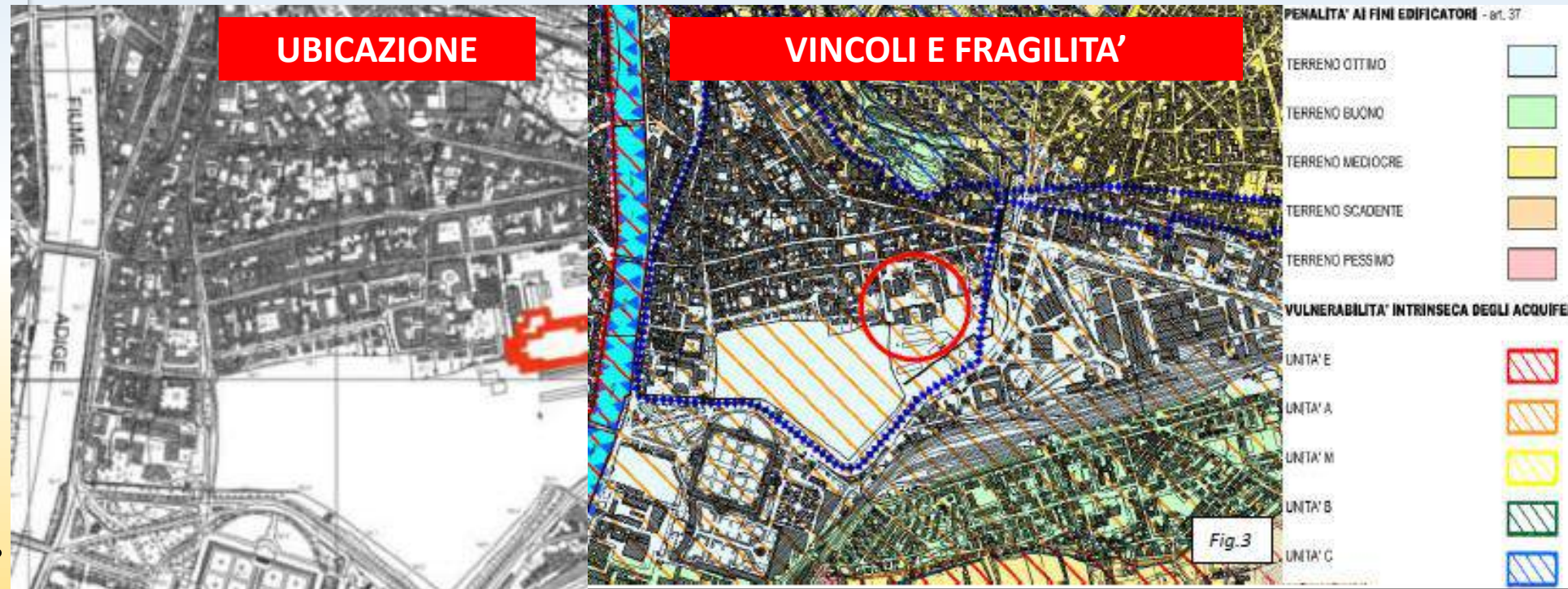
Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori

ESEMPIO PRATICO DI MODELLAZIONE DEL TRASPORTO DI CALORE IN FALDA

ESEMPIO PRATICO: modellazione idrogeologica e termica di un campo di sonde geotermiche in terreno stratificato, con presenza di falda ad elevata velocità di flusso.



AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

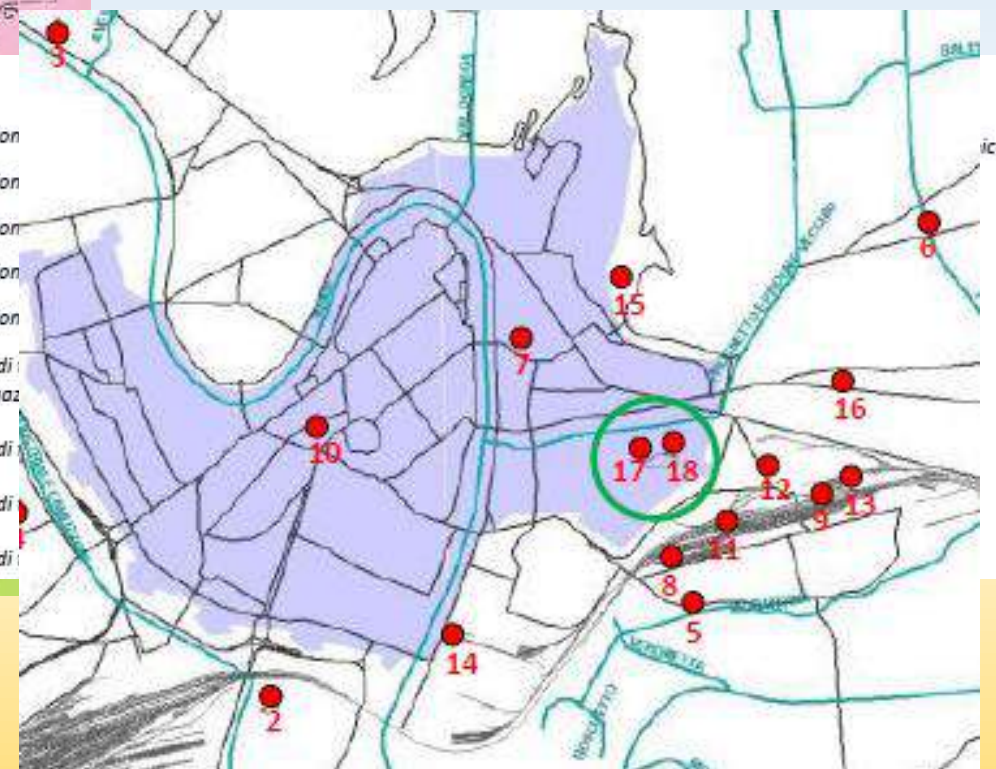
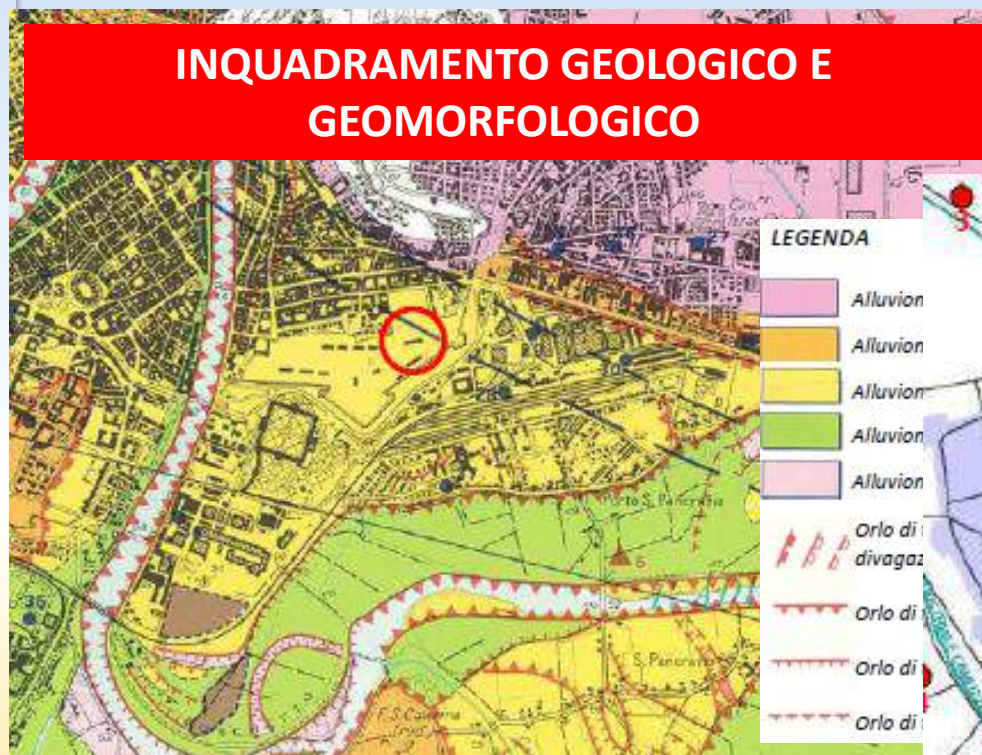
Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori

ESEMPIO PRATICO DI MODELLAZIONE DEL TRASPORTO DI CALORE IN FALDA

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO



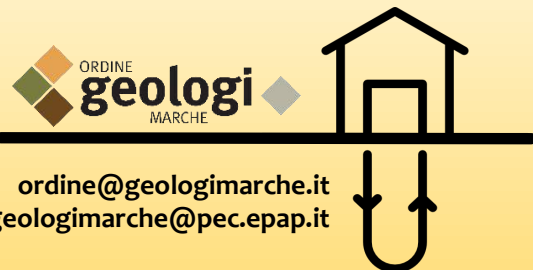
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

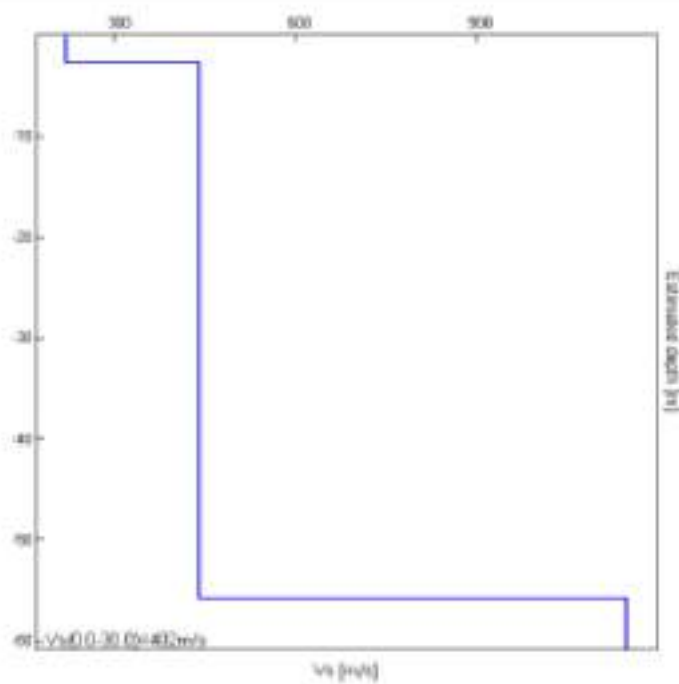
LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



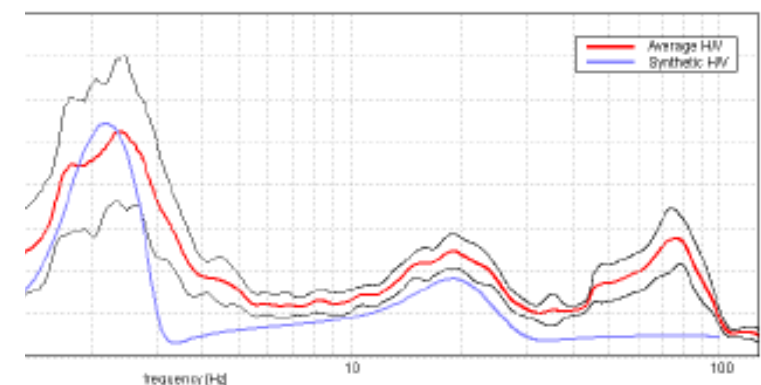
ESEMPIO PRATICO DI MODELLAZIONE DEL TRASPORTO DI CALORE IN FALDA

H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	220	2,80	0,0 – 2,8
II SISMOSTRATO	440	53,00	2,8 – = 55,8
III SISMOSTRATO	1150	Inf.	≈ 55,8 –



MODELLO GEOLOGICO LOCALE

i. H/V at 2.34 ± 0.05 Hz (in the range 0.0 - 128.0 Hz).



senta l'andamento sismico registrato in campagna mentre
irva sintetica generata dal codice di calcolo.

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

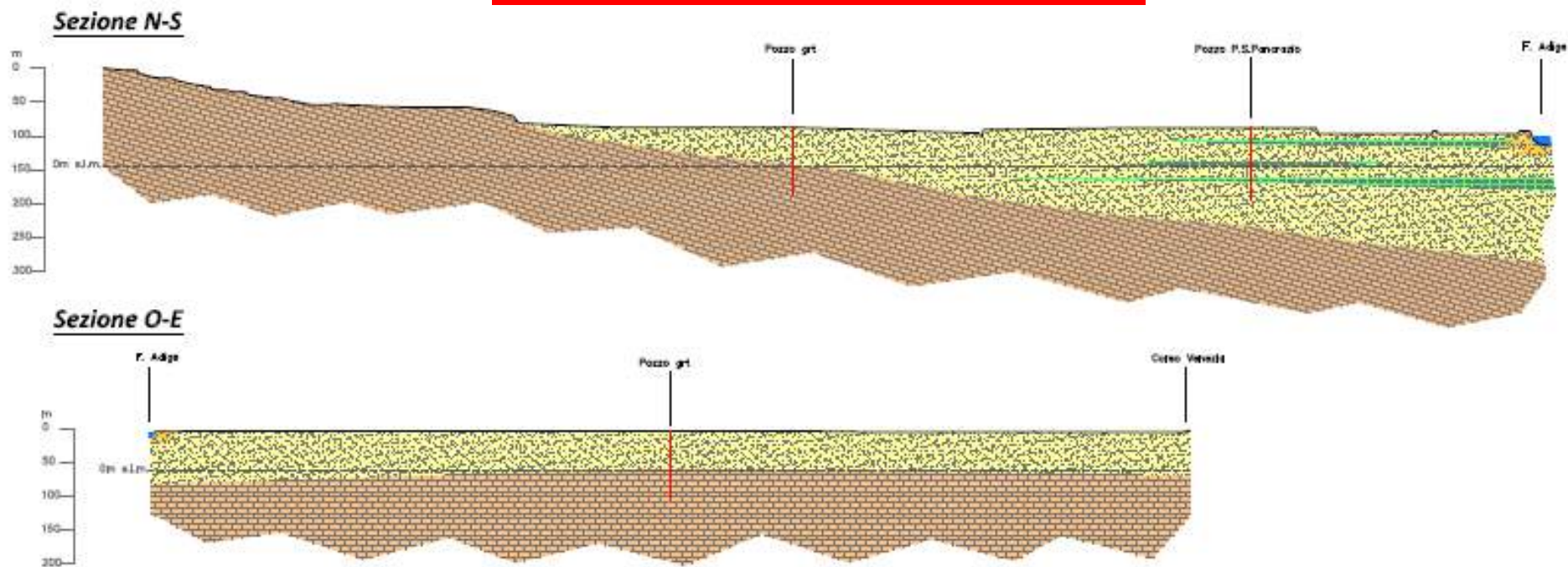
LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



ESEMPIO PRATICO DI MODELLAZIONE DEL TRASPORTO DI CALORE IN FALDA

MODELLO GEOLOGICO LOCALE



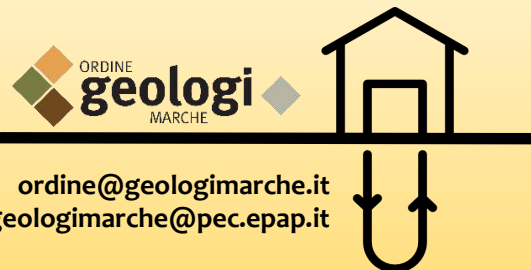
**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

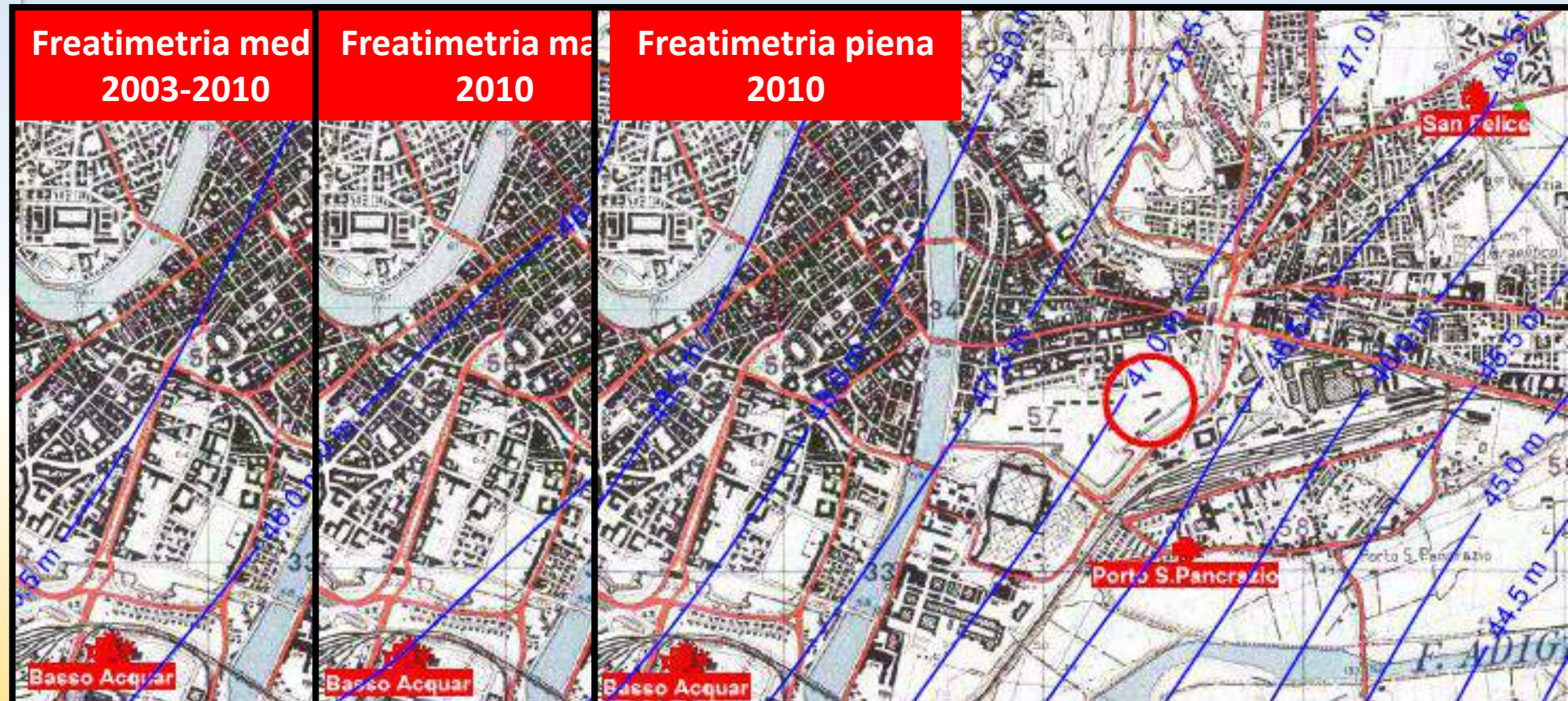
**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



ESEMPIO PRATICO DI MODELLAZIONE DEL TRASPORTO DI CALORE IN FALDA

MODELLO IDROGEOLOGICO



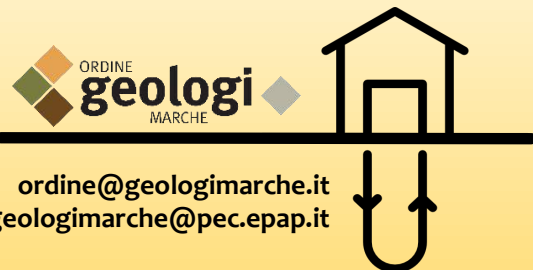
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

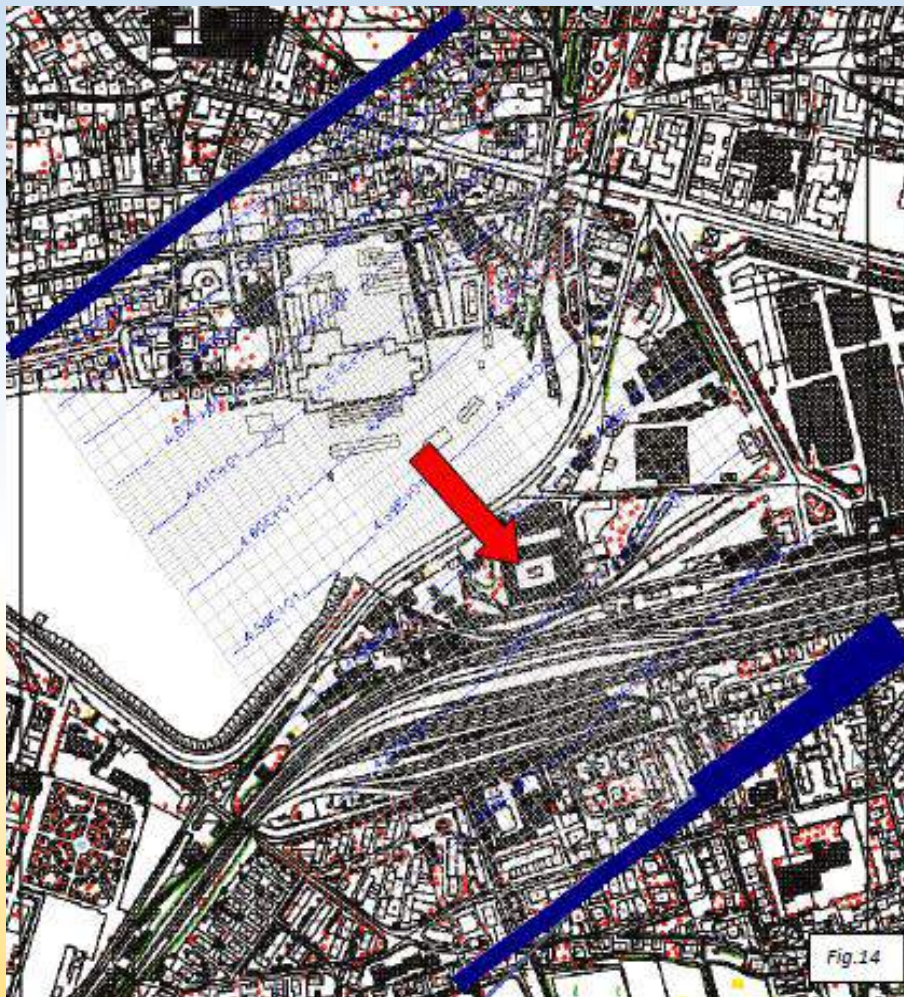
LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



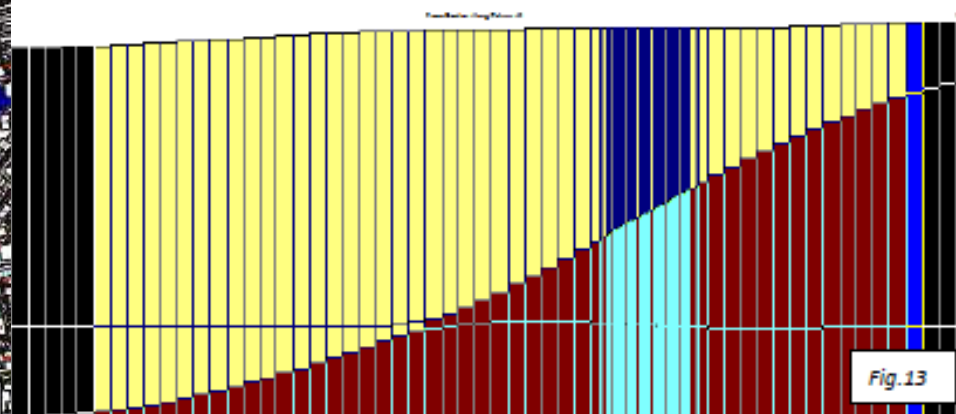
ESEMPIO PRATICO DI MODELLAZIONE DEL TRASPORTO DI CALORE IN FALDA

MODELLO NUMERICO DI FLUSSO IDROGEOLOGICO



Modello matematico di flusso e trasporto

Litologia prevalente	Profondità (m)	Permeabilità (m/s)
Ghiaie e sabbie (con sonde)	0 - 55	5×10^{-3}
Roccia marnoso-calcareo (con sonde)	55 - 100	1×10^{-9}
Roccia marnoso-calcareo (senza sonde)	100 - 120	1×10^{-9}



AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



ESEMPIO PRATICO DI MODELLAZIONE DEL TRASPORTO DI CALORE IN FALDA

PARAMETRI DI CONFIGURAZIONE DEL MODELLO DI TRASPORTO DI CALORE

Il modello di trasporto termico deve essere configurato a partire dal modello di flusso precedentemente elaborato, utilizzando le stesse impostazioni per quanto riguarda i parametri di configurazione.

Proprietà	Layer 1	Layer 2	Layer 3
Porosità	0,25	0,05	0,05
Cond. Idraulica (m/s)	$5 \cdot 10^{-3}$ m/s	$1 \cdot 10^{-9}$ m/s	$1 \cdot 10^{-9}$ m/s
Permeabilità (m^2)	$6.6 \cdot 10^{-11}$	$1,3 \cdot 10^{-17}$	$1,3 \cdot 10^{-17}$
Cond. Termica (W/mK)	2,4	2,1	2,1
Capacità termica ($MJ/m^3 K$)	2,55	2,25	2,25

1.
2.

3.

Per
soft

1.

2.

3.

4.

Condizioni al contorno termiche (thermal boundaries)

Proprietà termiche (capacità termica e conducibilità termica)

Flusso termico

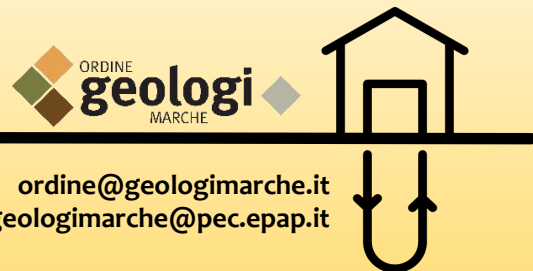
**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

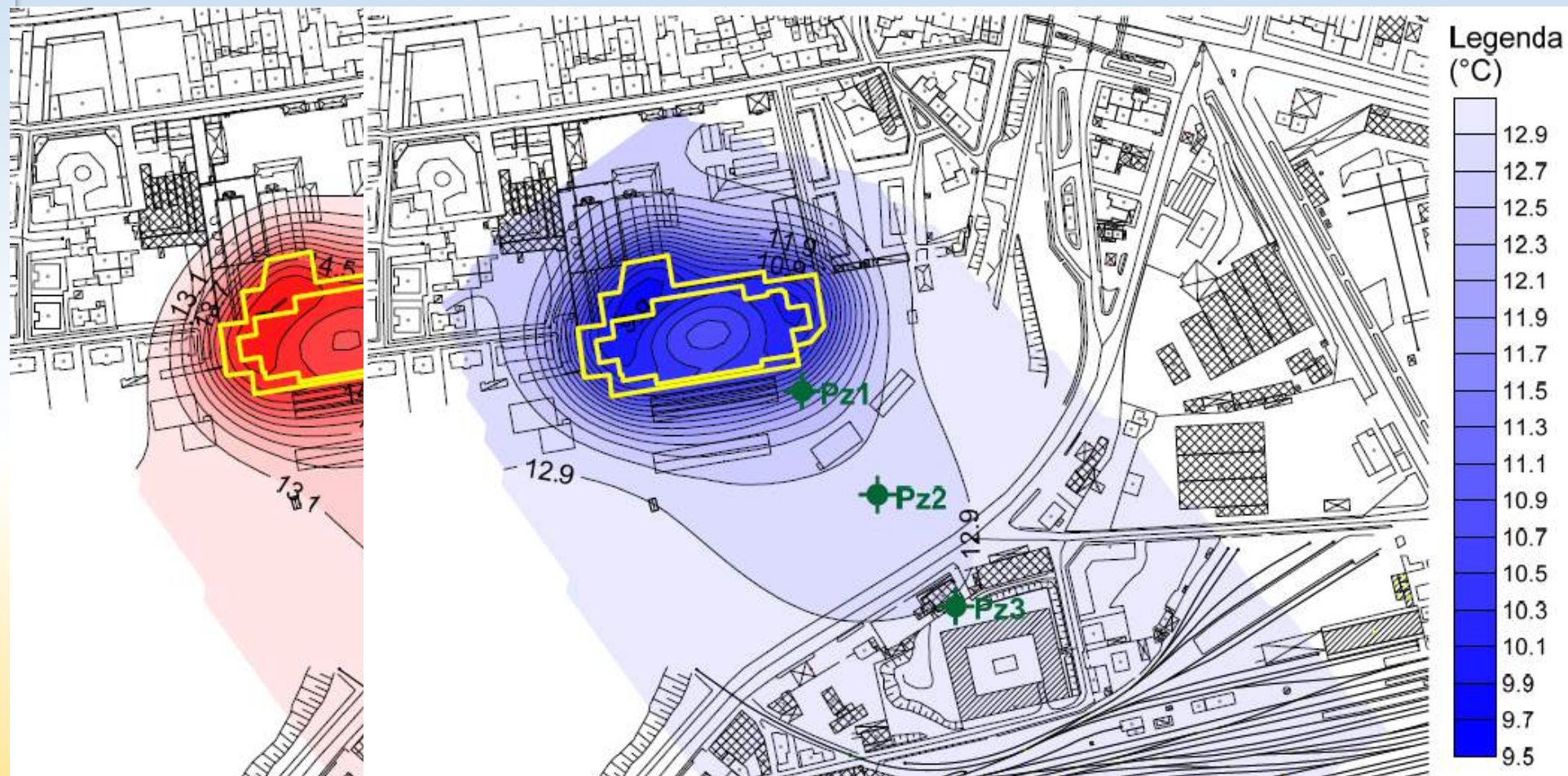
Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



ESEMPIO PRATICO DI MODELLAZIONE DEL TRASPORTO DI CALORE IN FALDA



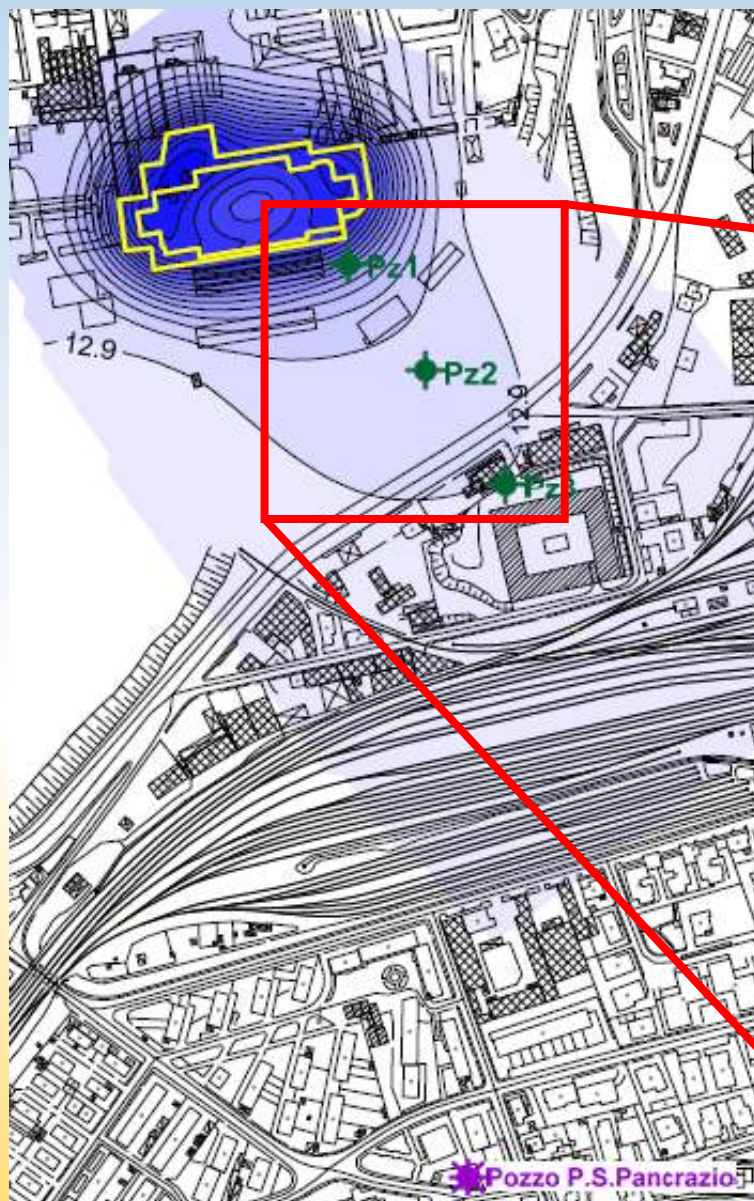
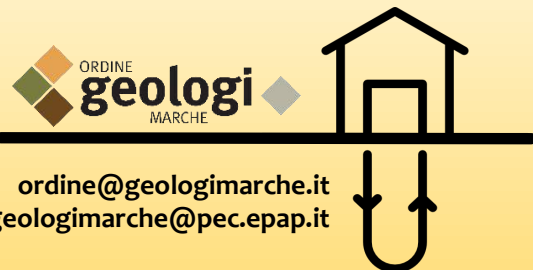
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

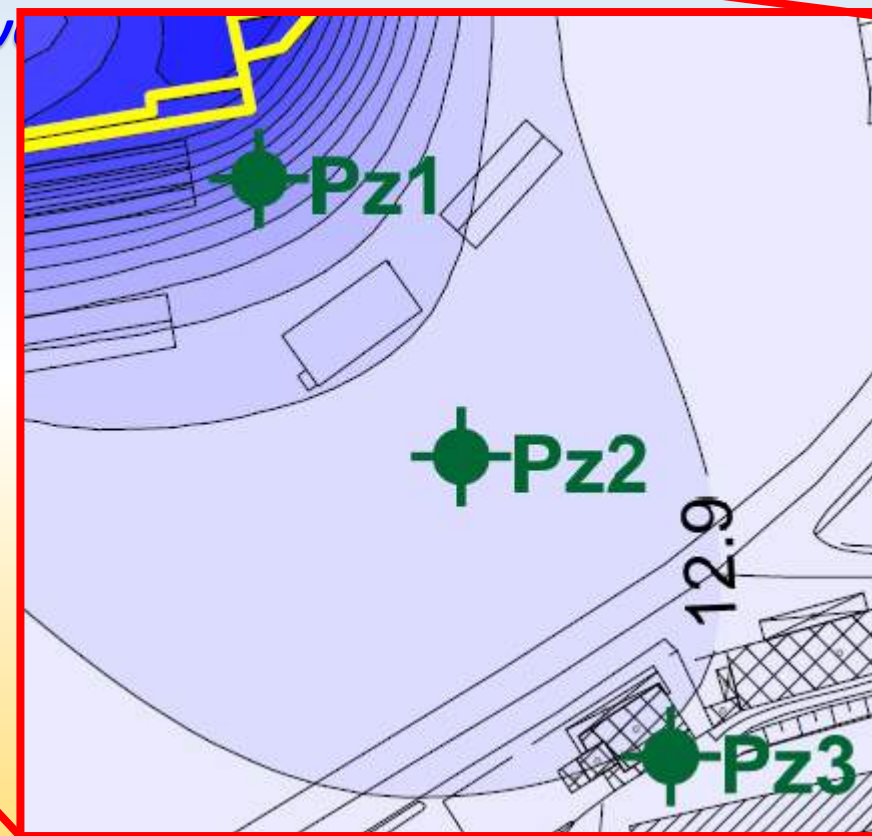
LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



RATICO DI MODELLAZIONE ORTO DI CALORE IN FALDA

e di punti di monitoraggio virtuali posti in questo
e a v



**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



MODELLAZIONE + VALIDAZIONE = MONITORAGGIO

Come tutti i modelli che “tentano” di simulare (e quindi prevedere) il comportamento di sistemi naturali complessi , come il sottosuolo ed il geoscambio, ovviamente non sono ESATTI in senso matematico, ma sono fortemente sensibili alla qualità dei dati di input tanto quanto alla raffinatezza del modello utilizzato.

Appare evidente come dati di input scadenti rendano superfluo utilizzare codici di calcolo complessi e viceversa.....

Il metodo più “semplice” per validare un modello previsionale è il monitoraggio nel tempo del comportamento del sistema impianto di geoscambio/ sottosuolo.

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori

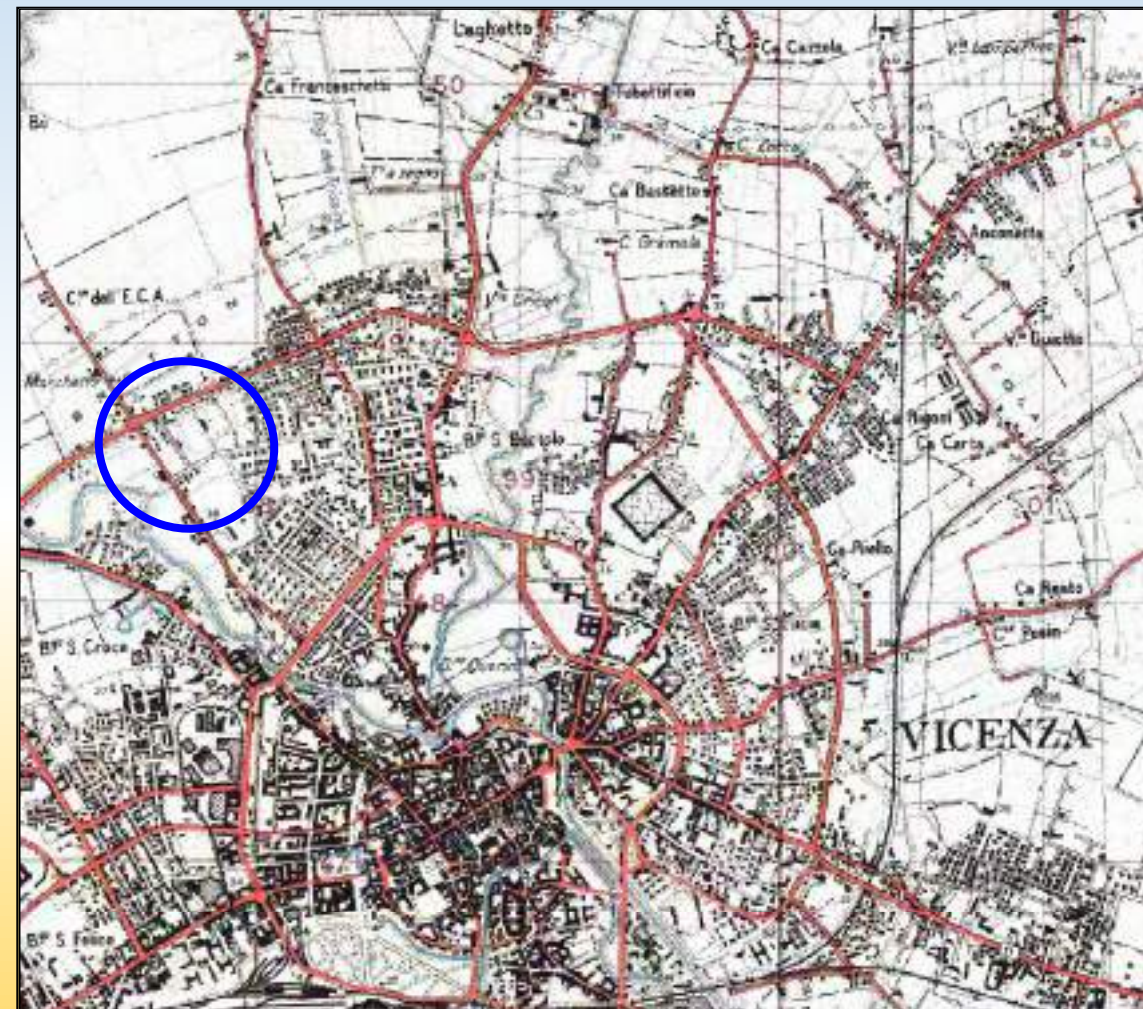


MODELLAZIONE + VALIDAZIONE = MONITORAGGIO

ESEMPIO DI SISTEMA DI MONITORAGGIO

Caratteristiche principali impianto:

- 27 sonde a doppia U 32mm
- Profondità 100 m
- Niente additivi antigelo
- Indagine geologica preliminare
- Perforazione a doppia testa con acqua
- GRT e collaudi
- Direzione Lavori
- Sistema di monitoraggio



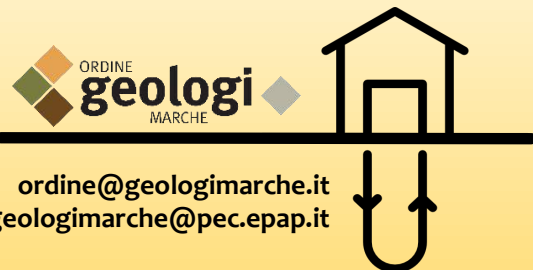
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



MODELLAZIONE + VALIDAZIONE = MONITORAGGIO

Sistema di monitoraggio:

- N°2 Verticali di monitoraggio con termoresistenze ogni 10 m
- N°1 Sonda di scambio con termoresistenze ogni 10 m



N°30 sonde di
temperatura per
calcestruzzo mod.
M1-TAQ-1

AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



MODELLAZIONE + VALIDAZIONE = MONITORAGGIO

L'IMPIANTO GEOTERMICO DELLA SCUOLA DI COSTABISSARA

IL PROGETTO DELL'IMPIANTO Caratteristiche principali:

- 32 sonde a doppia U 32mm
- Profondità 100 m
- Niente additivi antigelo
- Indagine geologica preliminare
- GRT
- Direzione Lavori e collaudi
- Sistema di monitoraggio



AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

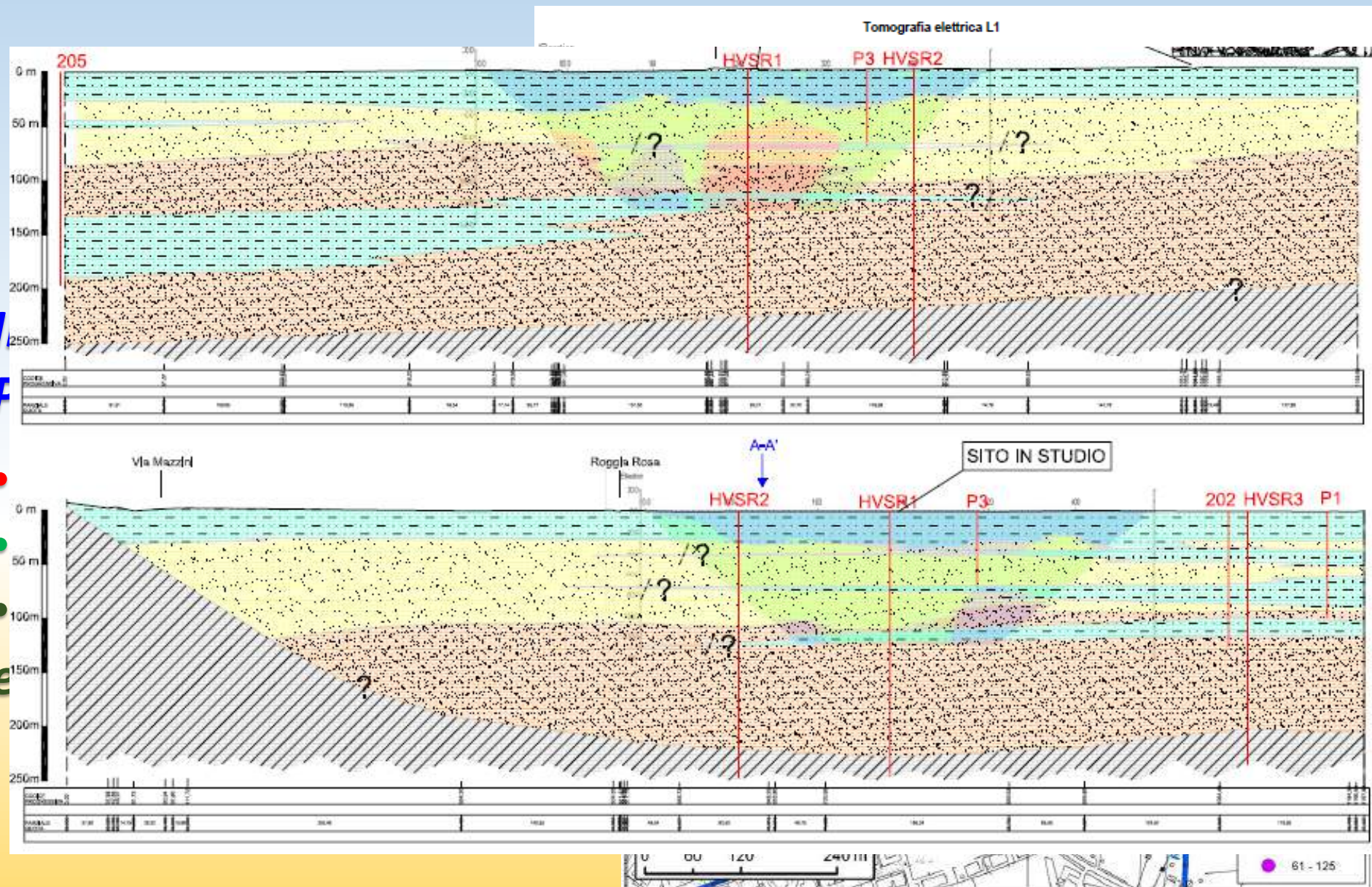
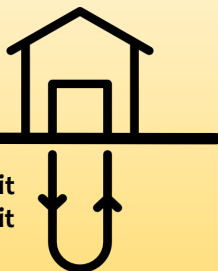
Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



ordine@geologimarche.it
geologimarche@pec.epap.it



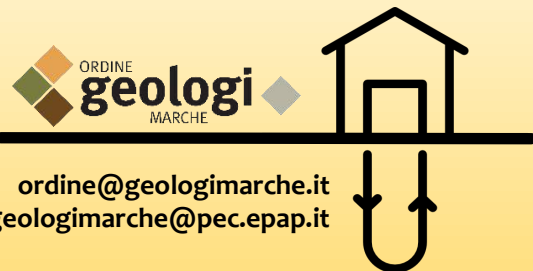
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



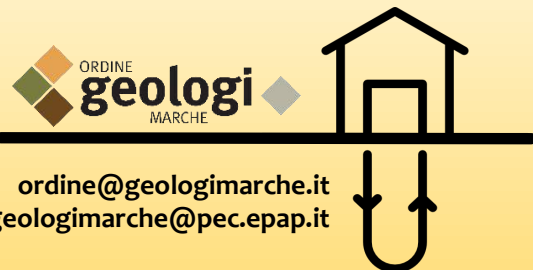
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



L'IMPIANTO GEOTERMICO DELLA SCUOLA DI COSTABISSARA

IN FASE DI ESECUZIONE:

- *Direzione Lavori*
- *Collaudi*



Figura 5.5 - Apparato utilizzato per il GRT (Università di Losanna)

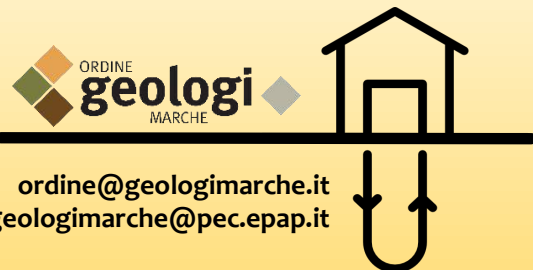
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



L'IMPIANTO GEOTERMICO DELLA SCUOLA DI COSTABISSARA

Sistema di monitoraggio:

- N°2 Verticali di monitoraggio con termoresistenze PT100 ogni 10 m
- Monitoraggio con PT100 della Pompa di Calore (in e Out)
- Datalogger



N°30 sonde di
temperatura per
calcestruzzo mod.
M1-TAQ-1



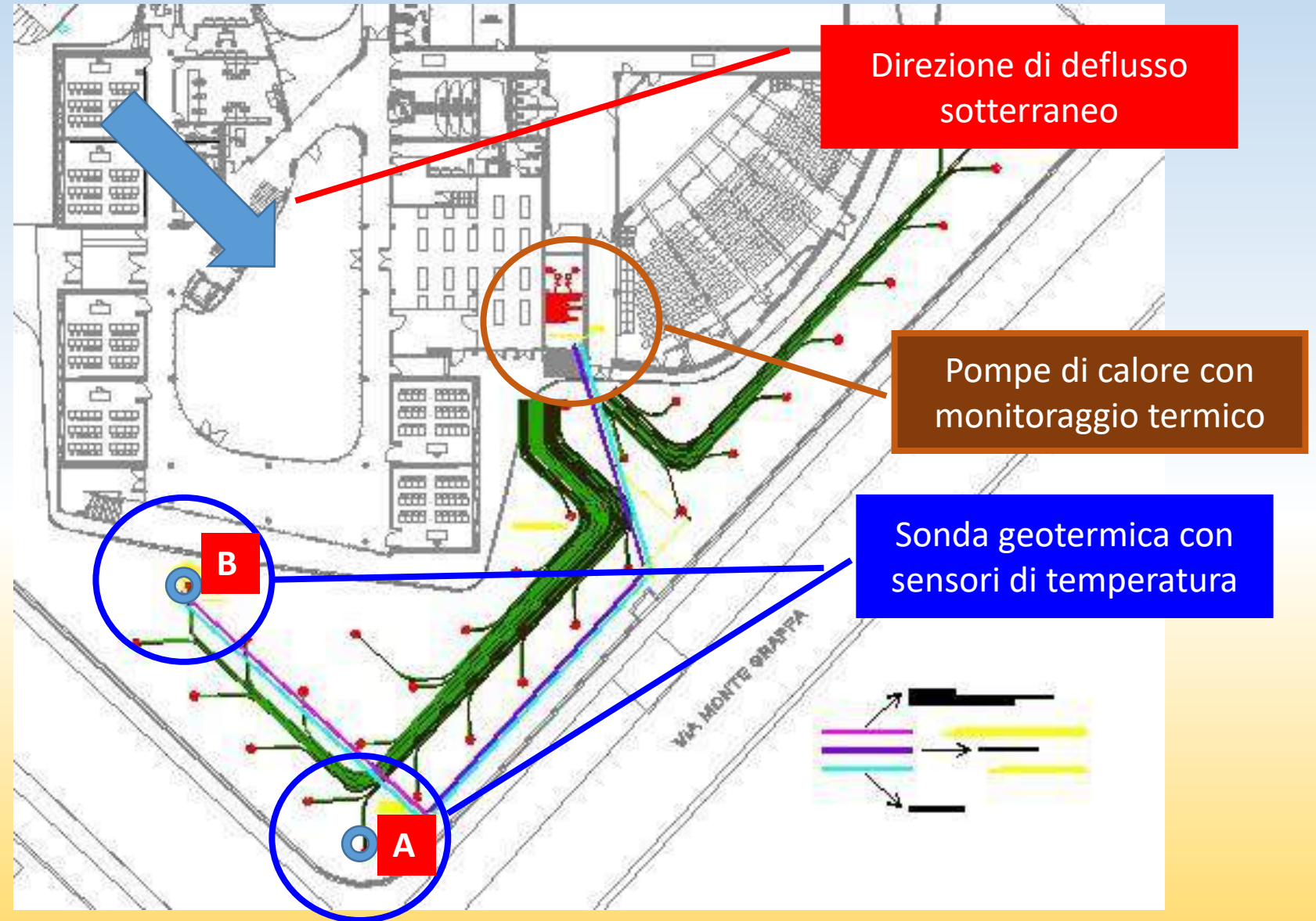
AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

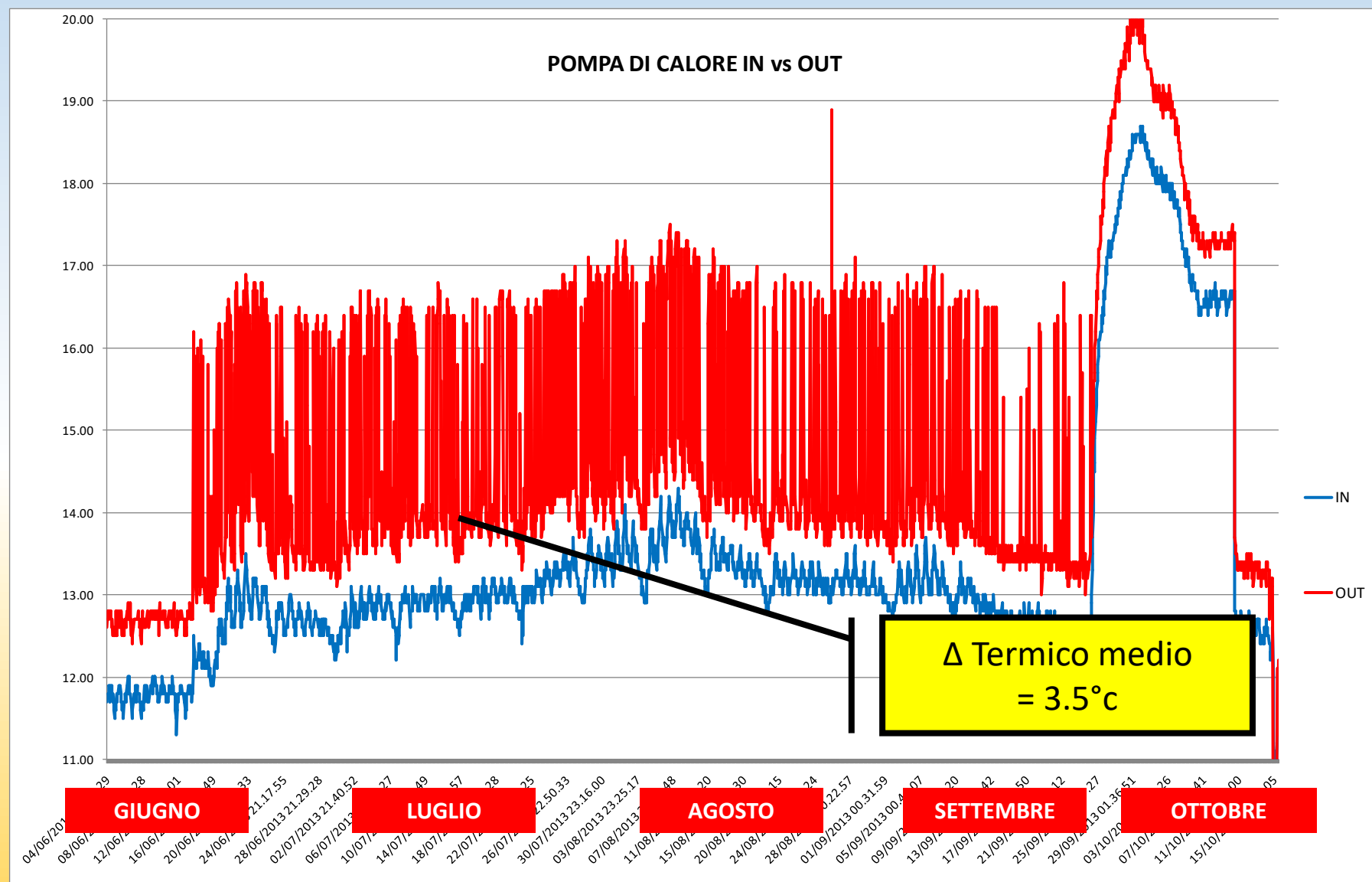
Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



Risultati del monitoraggio termico: Temperatura PdC - IN vs OUT



**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

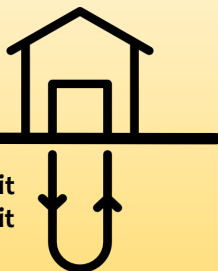
Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

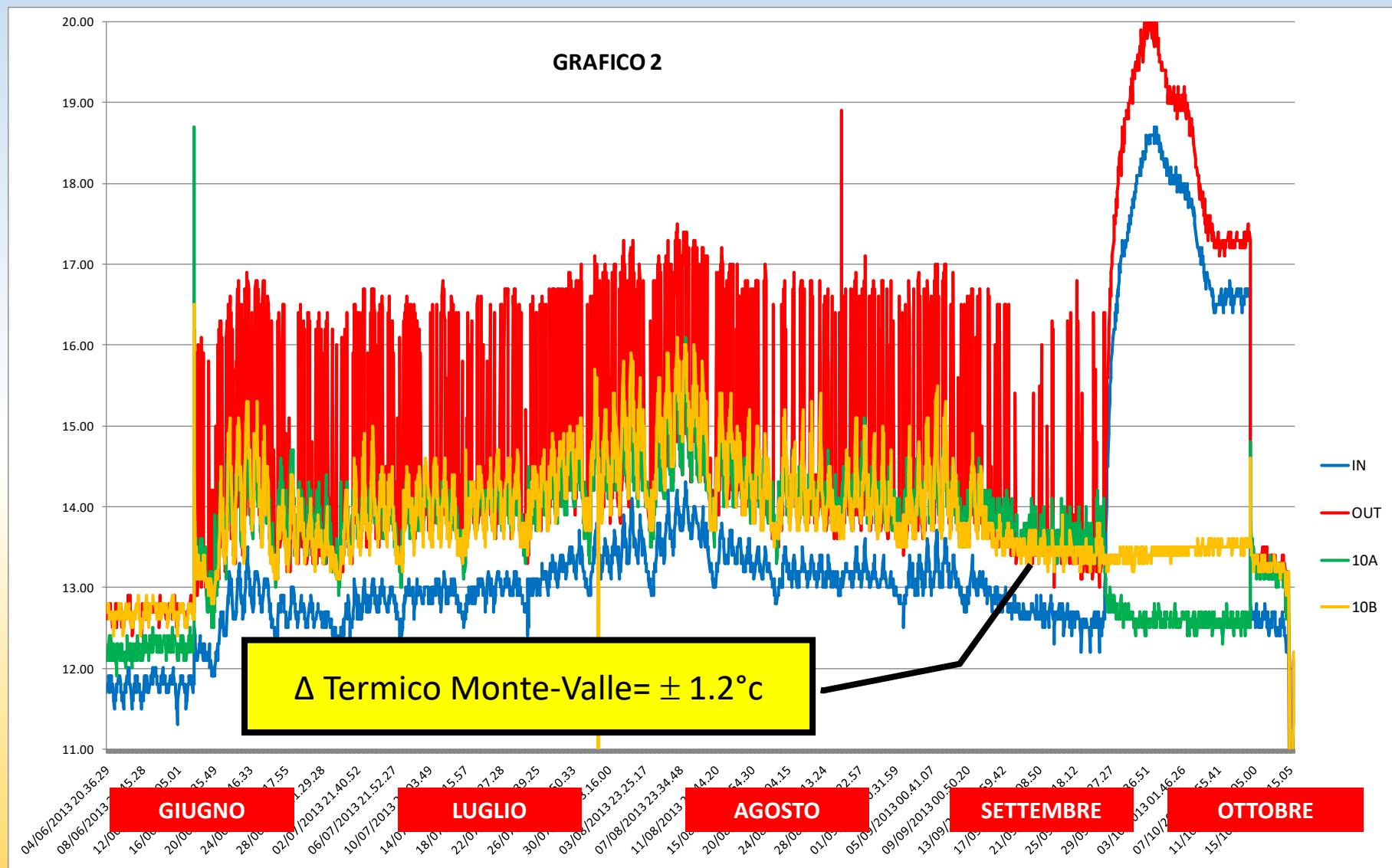
Dott. Geol. Rimsky Valvassori



ordine@geologimarche.it
geologimarche@pec.epap.it



Risultati del monitoraggio termico: Temperatura Sonda Monte vs Sonda Valle a 10 m



**AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE**

**CORSO APPLICATIVO DI
PROGETTAZIONE
GEOTERMICA**

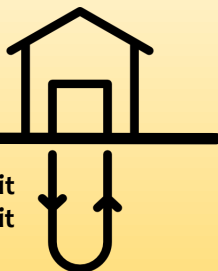
Ancona, 1 dicembre 2023

**LE BASI TECNICHE DEL
GEOSCAMBIO E
ASPETTI GEOLOGICI -
IDROGEOLOGICI**

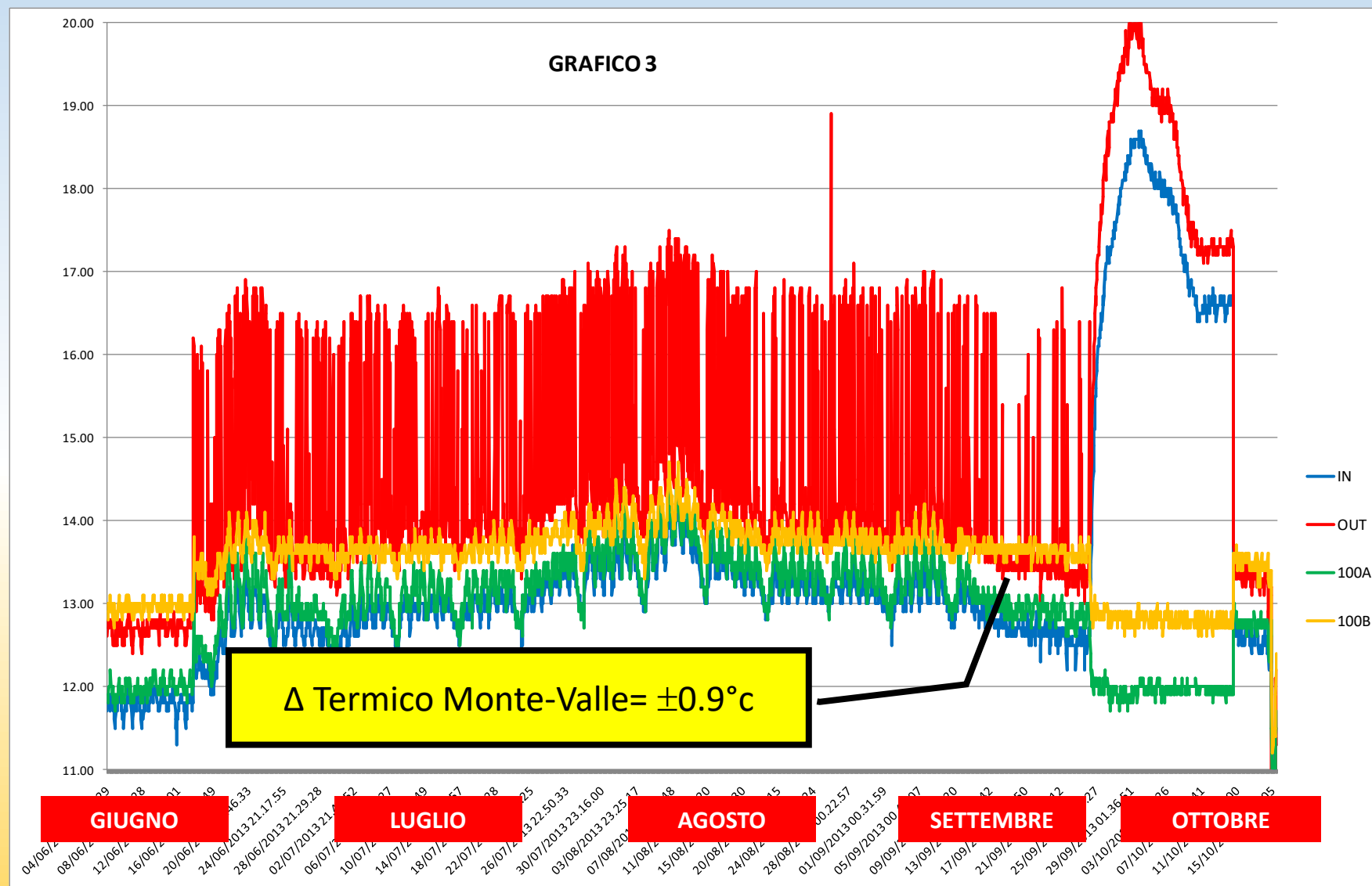
Dott. Geol. Rimsky Valvassori



ordine@geologimarche.it
geologimarche@pec.epap.it



Risultati del monitoraggio termico: Temperatura Sonda Monte vs Sonda Valle a 100 m



AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

CORSO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE GEOTERMICA

Ancona, 1 dicembre 2023

LE BASI TECNICHE DEL GEOSCAMBIO E ASPETTI GEOLOGICI - IDROGEOLOGICI

Dott. Geol. Rimsky Valvassori



OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

In senso generale i risultati del monitoraggio hanno confermato il corretto approccio progettuale al dimensionamento dell'impianto, che risulta sostenibile in senso energetico e quindi ambientale.

In particolare:

- 1. Le differenze di temperatura tra monte e valle (idrogeologico) del volume di scambio termico, sono contenute in circa 1-1.5°C, in entrambe le stagioni di funzionamento;*
- 2. La presenza di livelli acquiferi tende a ridurre tale differenza;*
- 3. Dopo quasi 2 anni di funzionamento non sono evidenti fenomeni di deriva termica, visto anche la natura reversibile dell'impianto;*
- 4. Appare evidente come a breve distanza dal volume di scambio la perturbazione diventi di fatto non misurabile*

