

Sonde geotermiche a bassa entalpia: frontiere tecniche e normative

Marco Orsi

Geologo

studio@geolorsi.it

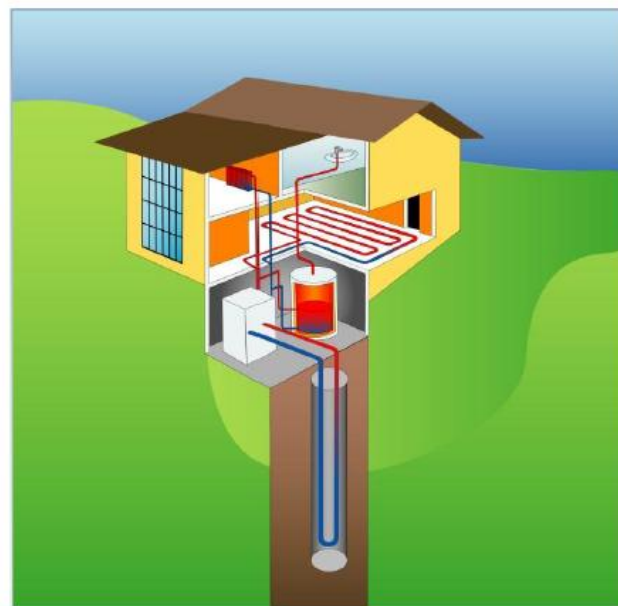


***Ministero dell'Ambiente e
della Sicurezza Energetica
Sala Auditorium***

Via Cristoforo Colombo 44, Roma

vicepresidente@anighp.it

**29 maggio 2025
9.00 - 13.30**



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Prof Antonio Galgaro

antonio.galgaro@unipd.it



Dipartimento di Geoscienze

Progettazione e Risultati di monitoraggio di Campi di Sonde Geotermiche

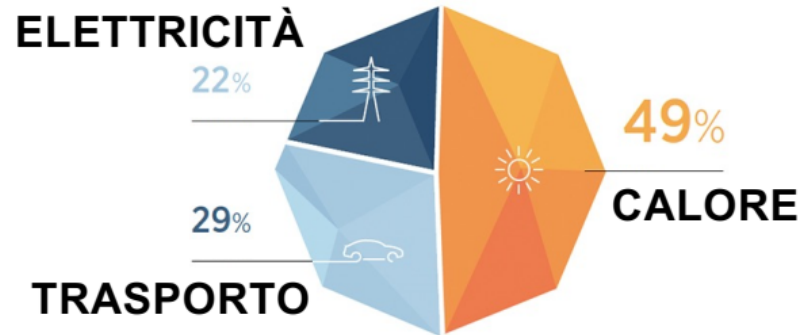
Esperienze Italiane e Internazionali

Roma, 29 maggio 2025



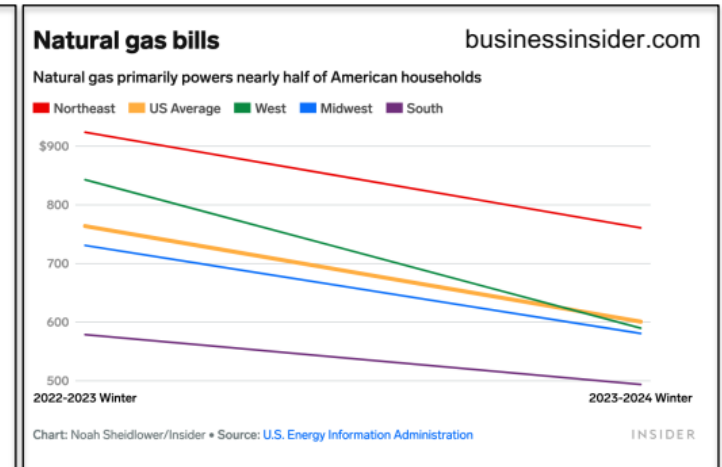
Progettazione e Risultati di monitoraggio di campi di sonde geotermiche. Esperienze Italiane e Internazionali

Consumo energetico totale nel mondo 2020

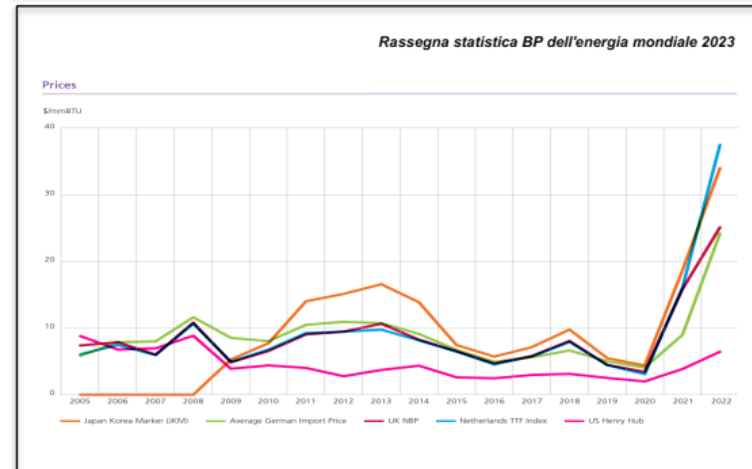
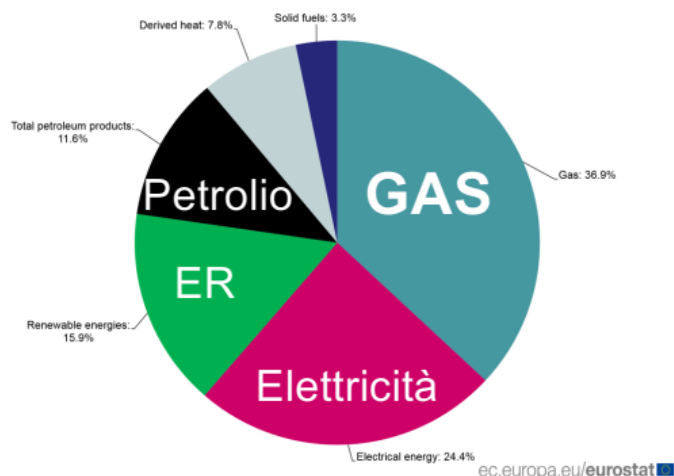


Fonte: IEA

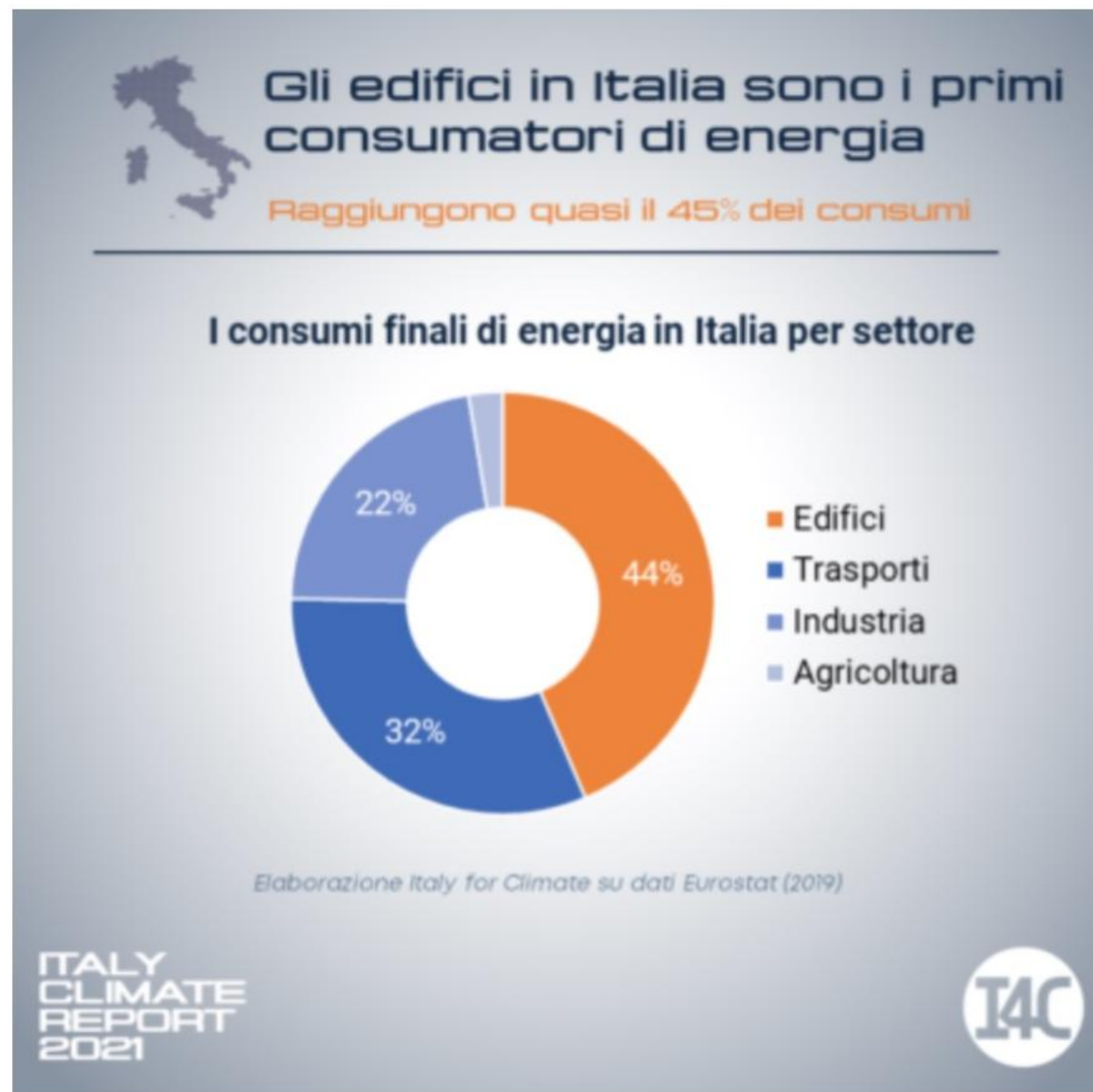
GEOTERMIA vs GAS

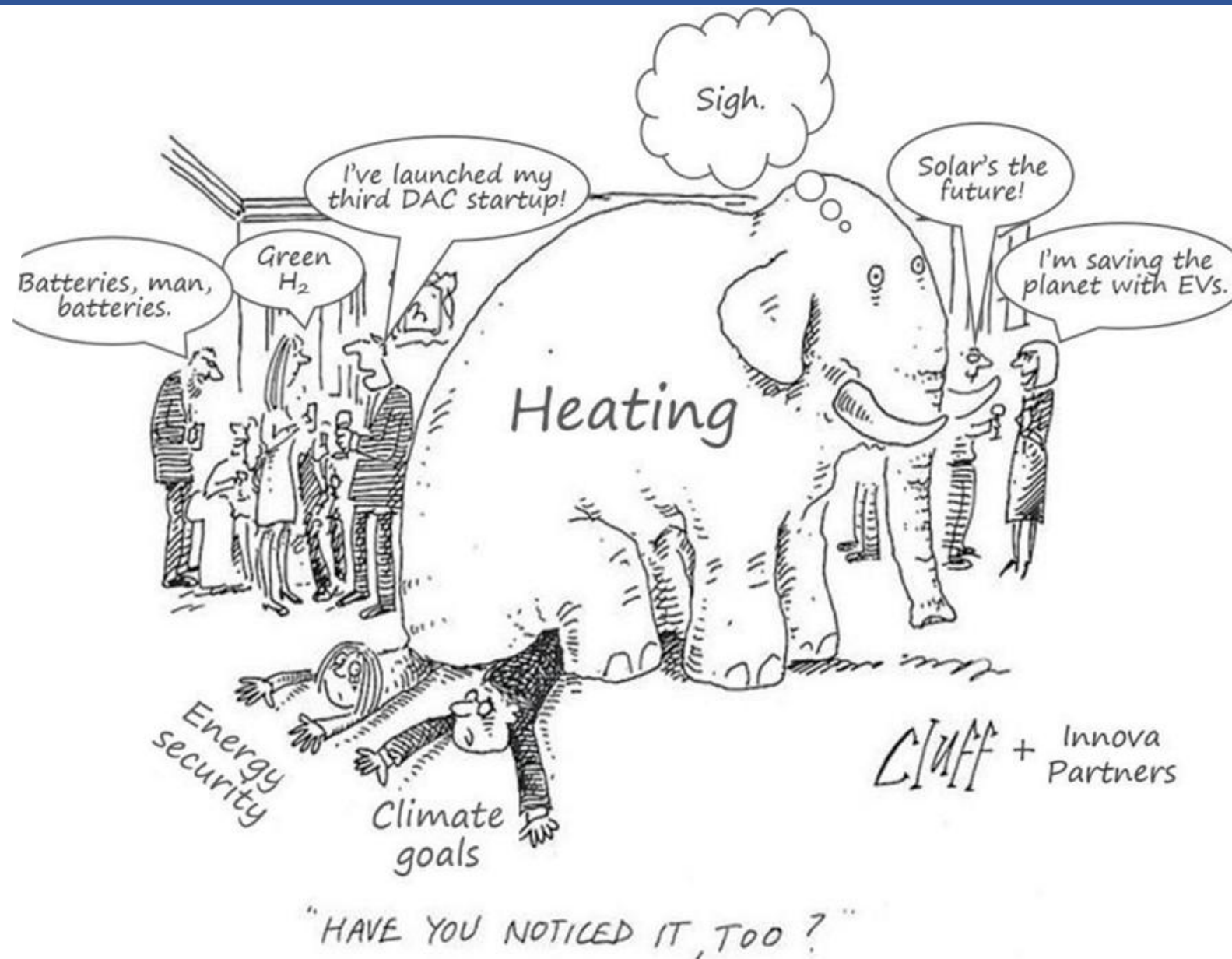


Consumo energetico delle famiglie dell'UE



La volatilità del prezzo del gas potrebbe rappresentare un fattore di grande incertezza e avere un impatto significativo sui costi energetici i.e. spese per il riscaldamento degli spazi pubblici e privati
E l'energia geotermica?





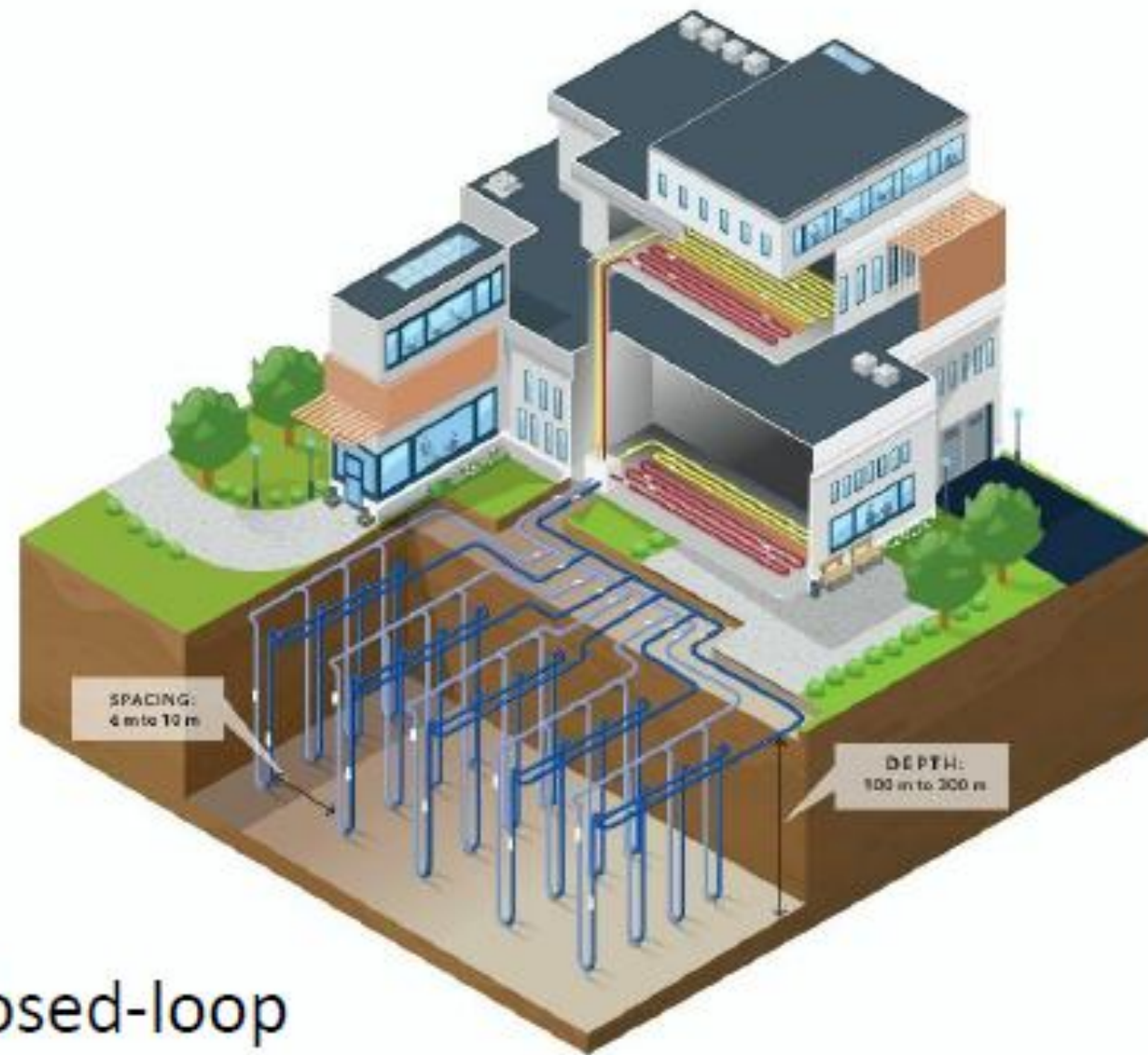
Abbiamo due possibili tipologie:

Una operante per solo scambio di energia

(Sistema a Circuito Chiuso – Closed Loop)

in cui dispositivi sigillati Sonde Geotermiche operano un esclusivo scambio energetico con l'ambiente sottosuolo circostante tramite un fluido termovettore (acqua + glicole) circolante all'interno delle sonde.

Closed-loop



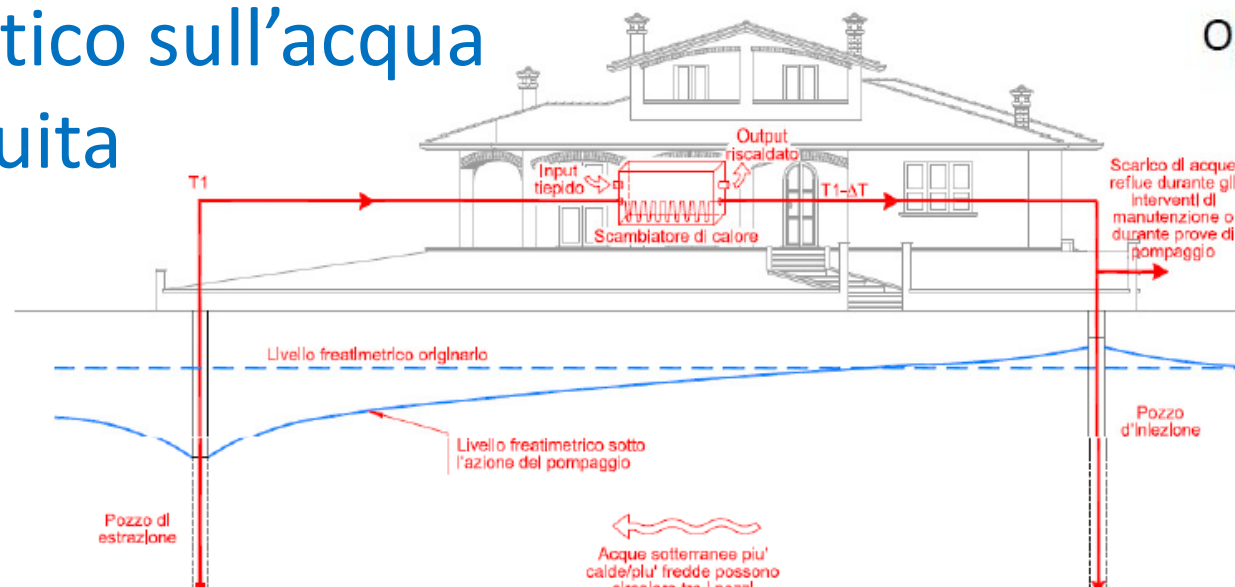
per scambio di materia ed energia

(Sistema a Circuito Aperto – Open Loop)

Sistema a Pozzi in cui si preleva ed eventualmente restituisce acqua di falda dal sottosuolo per operare lo scambio energetico sull'acqua prelevata/restituita



Open-loop

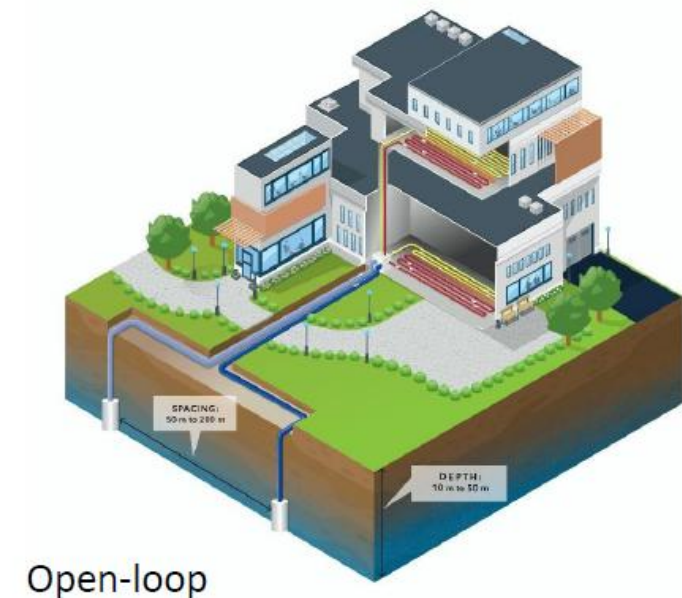
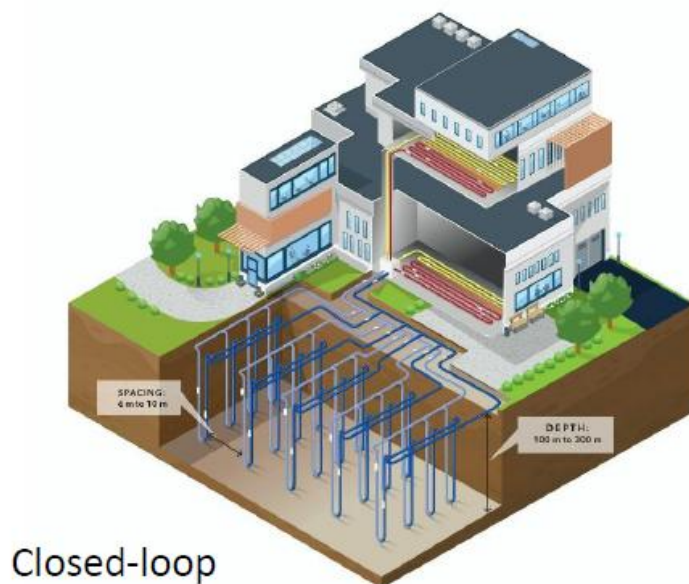


Equazioni di Trasporto di Calore

Le equazioni di trasporto di calore nei due casi definiscono due regimi termici di sottosuolo ben distinti

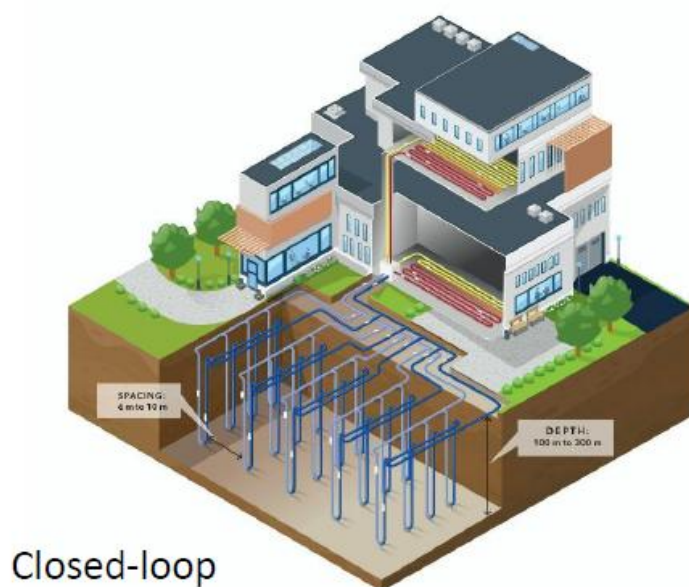
-Regime Termico Conduttivo

-Regime Termico Convettivo



Progettazione

quella serie di operazioni ed elaborazioni concettuali che conducono alla
Sostenibilità Tecnica/Economica delle due tipologie
è conseguentemente diversa
e va affrontata in maniera estremamente consapevole e specialistica



Closed-loop



Open-loop

E' una tecnica innovativa?

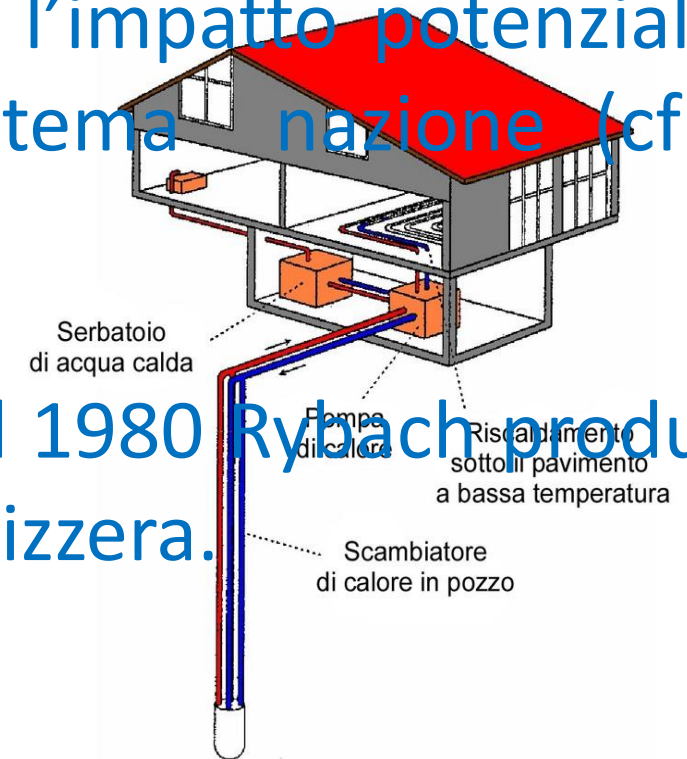
È una tecnologia immatura?

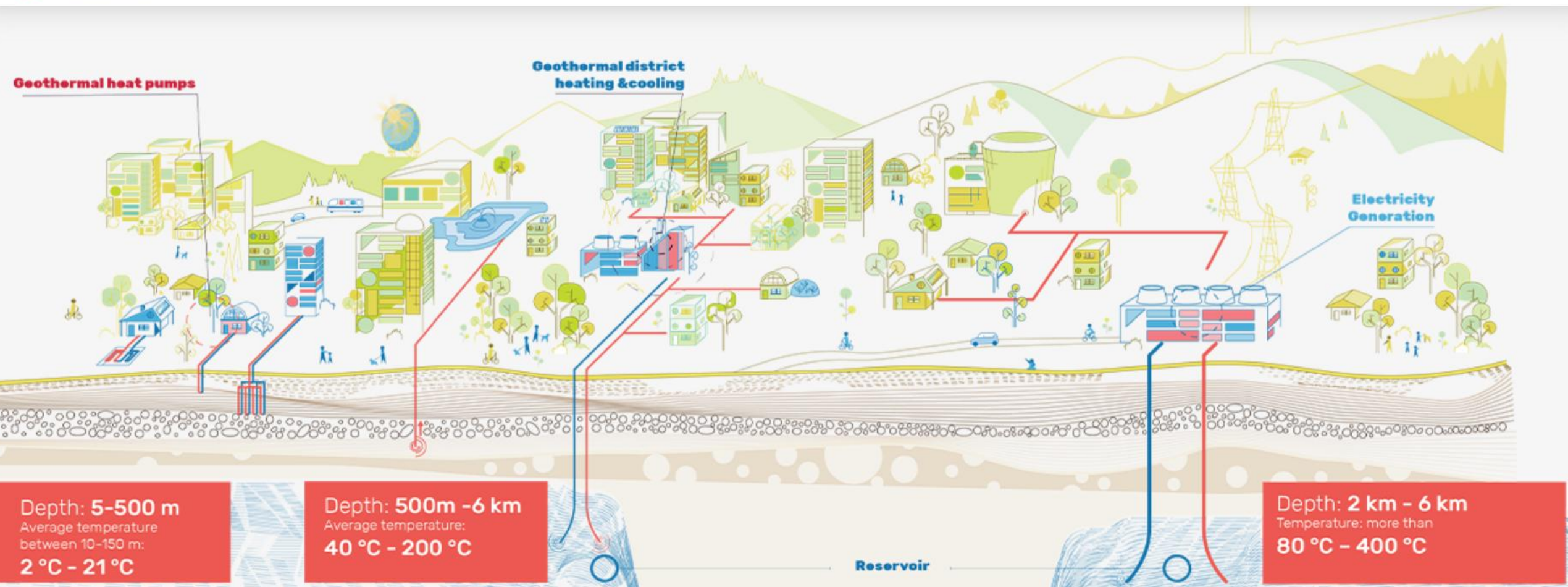
La prima risposta è sicuramente SI

Basti vedere la sua applicabilità sul costruito e l'impatto potenziale sul problema dell'indipendenza energetica del sistema nazionale (cfr. M Fattor)

La seconda risposta invece è NO

per la seconda infatti basta osservare che già nel 1980 Rybach produceva dei lavori dettagliati e sostenuti da casi reali in Svizzera.



[About](#)[Newsroom](#)[Policy](#)[Events](#)[Join Us](#)

Geothermal electricity continued its march towards market maturity in key markets such as Italy, Croatia, Germany and Turkey. 143 Geothermal electricity plants are in operation all over Europe, generating about 20 TWh/year in 2023 (7 TWh in the EU). Geothermal is proven to provide a stable and secure supply of power while meeting base load demands and being able to supply 10% of our EU electricity demand.

The geothermal heating and cooling sector continues to grow in traditional markets. The

Geothermal Heat Pumps

Sales and new installations of **geothermal heat pumps** were strong across nearly all countries (growth of ca 12%), with a new record in annual sales: about 155,000 units in 2023. In terms of overall capacity with 2.3 million geothermal HP installed, the market was still dominated by Germany, the Netherlands, Finland and Sweden, which represent half the installed geothermal heat pumps in Europe and nearly half the annual sales.

MARKET REPORT

13th Edition
July 2024

2023

The European geothermal sector faced significant **supply chain** disruptions during the COVID-19 pandemic and subsequent energy security concerns caused by Russia's invasion of Ukraine. These events underscored Europe's dependency on external sources for raw materials, equipment, and overall energy security. Geothermal equipment and components manufacturing is largely made in Europe. However, supply challenges remain, particularly for some raw materials such as concrete, steel, and aluminium, as well as for electronics and certain metals imported from Asia.

I dati EurObserver 2022 indicano che in Italia si eseguono circa 1.000 nuovi impianti geotermici con pompe di calore ogni anno

Mentre le unità installate ogni anno in Germania sono 22.000, in Austria 4.500, in Francia 3.000

Sempre da dati EurObserver 2022 in Italia (65MIO abitanti) ci sono circa 16.145 pompe di calore geotermiche in esercizio rispetto alle circa 411.198 della Germania, le 200.000 della Francia o le 112.379 in Austria (9,5MIO ab.)

Qual è la sua penetrazione culturale della geotermia in Italia?

Al di fuori degli addetti ai lavori è ancora estremamente debole e confusa con :

- Grandi Confusioni sulle differenze tra le varie tipologie/settori e sulle potenzialità
- Resistenze Culturali in molti operatori della filiera della climatizzazione
- Resistenze Culturali negli utenti finali
- Incertezze e resistenze culturali/timori tra i funzionari delle amministrazioni periferiche e nel legislatore centrale.



A oggi la progettazione è tutt'altro che a livello pionieristico anzi i dettati normativi e le norme di settore sono estremamente dettagliati.

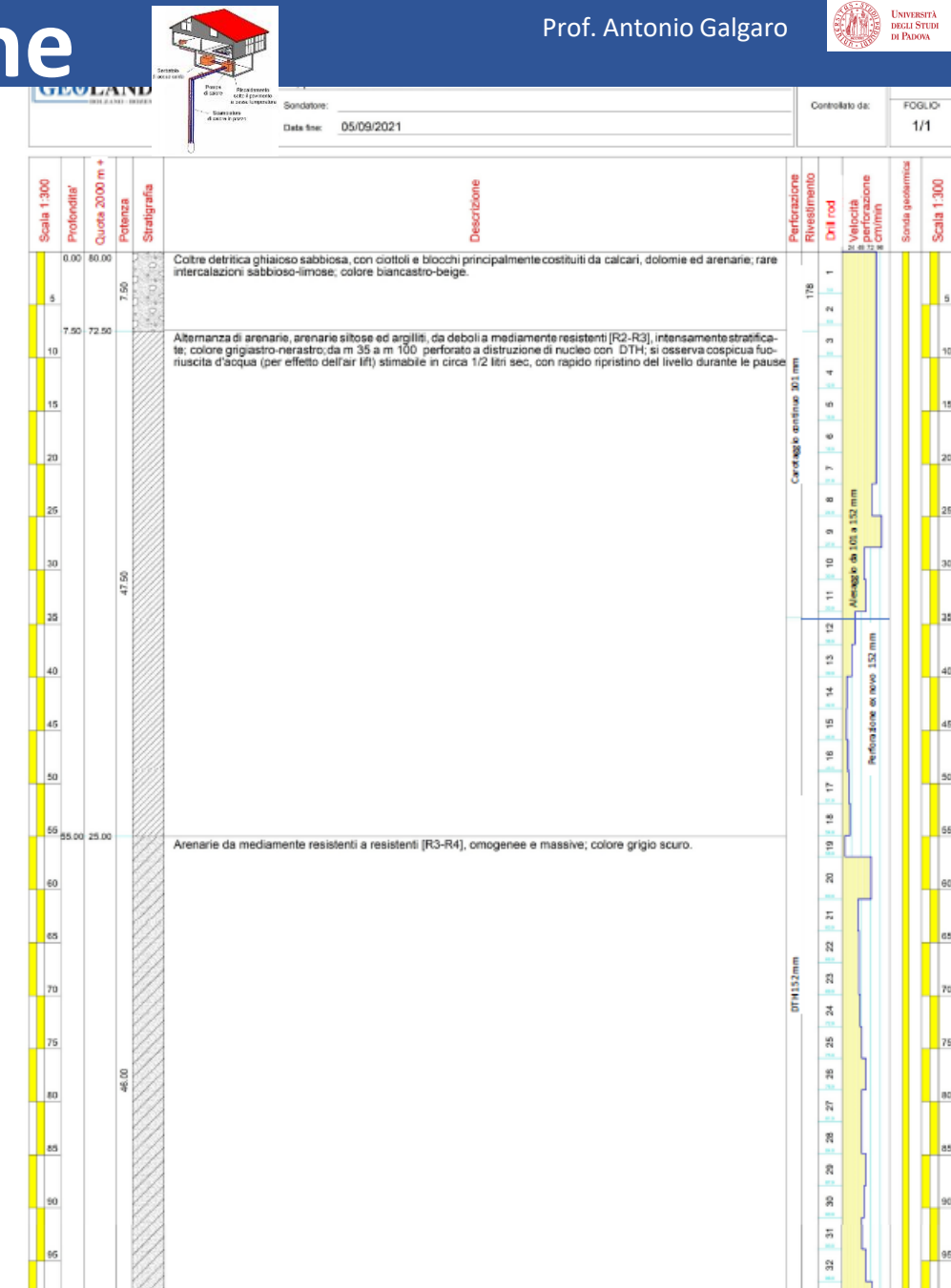
Circuito Chiuso

- D.M.378/22
- norme UNI 11466/67/68
- norma Tedesca VDI4640
- norme ASHRAEE

Tutti perseguono l'obiettivo di rendere funzionale l'impianto tramite un prelievo di calore dal sottosuolo ampiamente sostenibile su base ultra decennale (30 anni è il target normale delle simulazioni) anche se i lavori scientifici dimostrano almeno 10 volte di più

Tutto il fenomeno è infatti guidato da una grandezza ben nota che è la Conducibilità Termica efficace λ_{eff}

ovvero la sommatoria di tutti i contributi di conducibilità termica che la sonda incontra nella sua verticale stratigrafica (vd oltre)



Circuito Aperto

- Concessione ai sensi del R.D. 1775/1933
- Autorizzazione allo scarico nello stesso corpo idrico sotterraneo in deroga ai sensi art.104 D.lgs 152/06
meglio sarebbe chiamarla restituzione

La progettazione deve perseguire l'obiettivo di:

- rendere sostenibile idrogeologicamente prelievo e restituzione
- valutare l'influenza sul sottosuolo delle variazioni termiche indotte

Circuito Aperto

- Concessione ai sensi del R.D. 1775/1933
- Autorizzazione allo scarico nello stesso corpo idrico sotterraneo in deroga ai sensi art.104 D.lgs 152/06
meglio sarebbe chiamarla restituzione

La progettazione deve perseguire l'obiettivo di:

- rendere sostenibile idrogeologicamente prelievo e restituzione
- valutare l'influenza sul sottosuolo delle variazioni termiche indotte

A oggi la progettazione è tutt'altro che a livello pionieristico anzi i dettati normativi e le norme di settore sono estremamente dettagliati.

La progettazione deve perseguire l'obiettivo di:
-rendere sostenibile idrogeologicamente prelievo e restituzione

.....

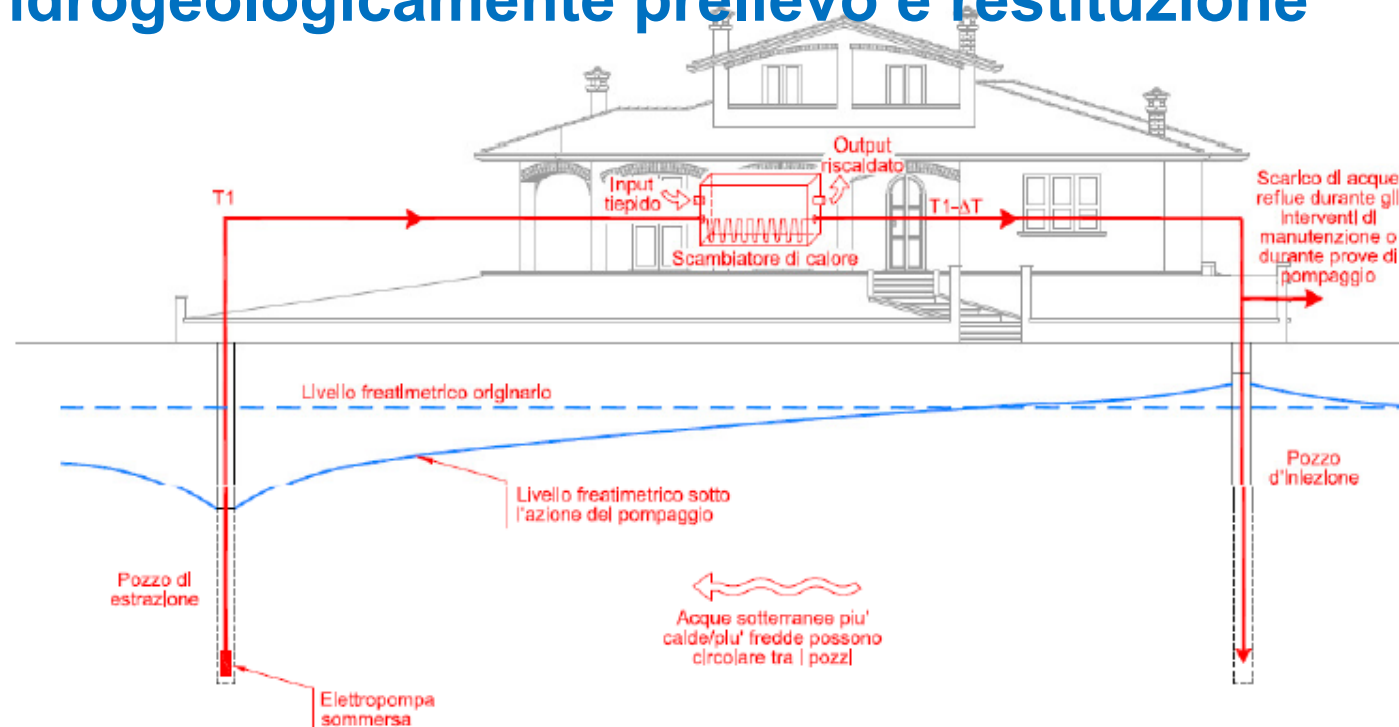


Immagine tratta da atti congresso GEAM
Torino, 10 ottobre 2011



D.M.378/22 – Circuito Chiuso

Prevede step autorizzativi ad approfondimento
progettuale crescente a seconda di determinati
livelli di potenza estratta dal sottosuolo

PERCORSI AUTORIZZATIVI

Iter amministrativo	Pt	Profondità Sonde Verticali	Profondità Sonde Orizzontali	Edifici esistenti	Edifici nuovi
Edilizia libera	<50 kW	80 m	2 m	SI	NO
PAS (CILAS)	<100 kW	170 m	3 m	SI	NO

MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA
Decreto 30 settembre 2022.
Prescrizioni per la posa in opera degli impianti di produzione di calore e da risorsa geotermica, destinata al riscaldamento e alla climatizzazione di edifici e misure di semplificazione per l'installazione dei predetti impianti.

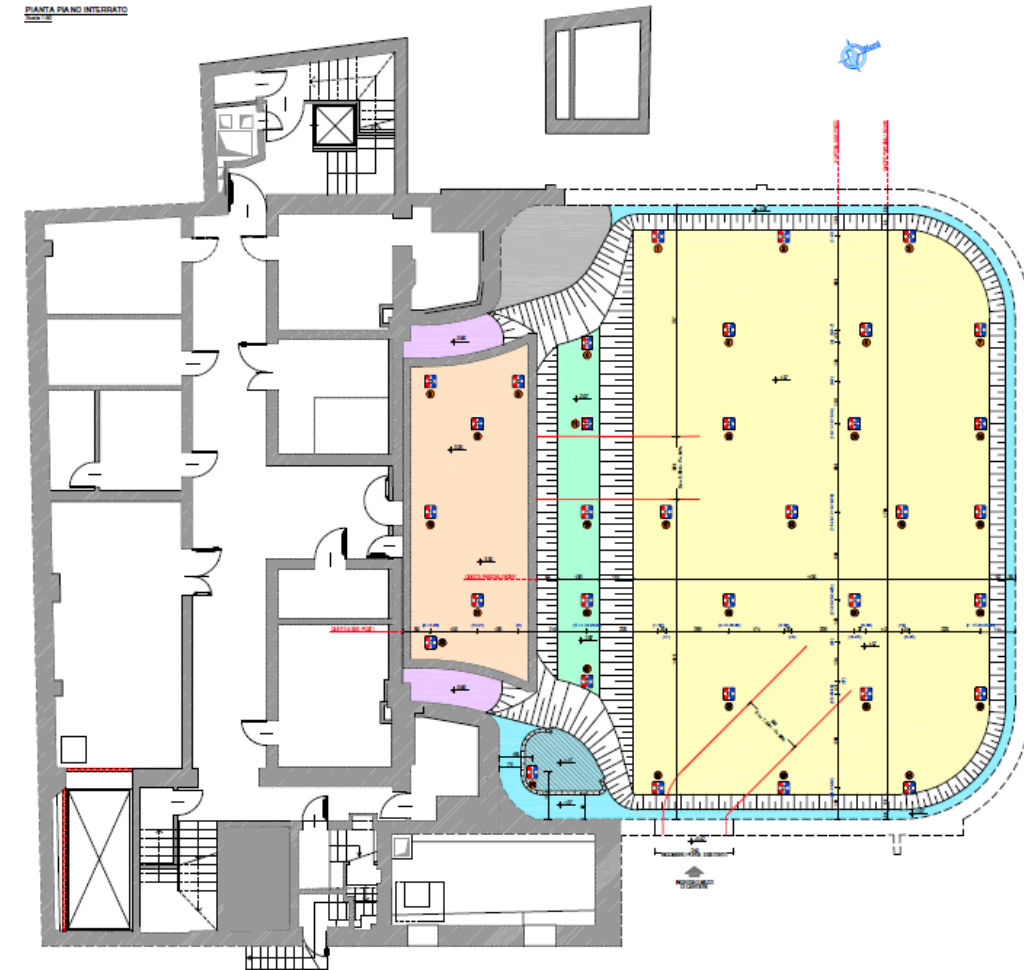


D.M.378/22 – Circuito Chiuso

L'interlocuzione in corso verte sulla modifica della soglia di potenza legata al percorso autorizzativo della PAS e per arrivare a ciò vengono richiesti esiti di monitoraggio di casi reali che dimostrino il ridotto impatto sul sottosuolo degli scambiatori



PIANTA PIA NO INTERCARIATO



Teatro Carani Sassuolo MO – Campo Sonde

PERCORSI AUTORIZZATIVI

Iter amministrativo	Pt	Profondità Sonde Verticali	Profondità Sonde Orizzontali	Edifici esistenti	Edifici nuovi
Edilizia libera	<50 kW	80 m	2 m	SI	NO
PAS (CILAS)	<100 kW <?? kW	170 m	3 m	SI	NO

3.5.2. Sostenibilità Interna Campo Sonde

Per sostenibilità interna del Campo Sonde si intende la determinazione della propagazione della perturbazione termica attorno alla sonda tipo di progetto (anche sonda iesima) effettuata sulla base dei valori misurati.

Un primo approccio può essere eseguito utilizzando la teoria classica della diffusione termica nel terreno con il modello della Sorgente Lineare Infinita ILS oppure con la Moving Line Source MLS.

da Compendio Geotermia CNG / ANIGHP: Gruppo di Lavoro “Geoscambio” sett 2024

Infinite line source ILS

$$TILS(x,t) := T_0 + \left(\frac{Q}{4\pi \cdot k} \right) \cdot \int_{\frac{x^2}{4\kappa \cdot t}}^{50} \frac{e^{-u}}{u} du$$

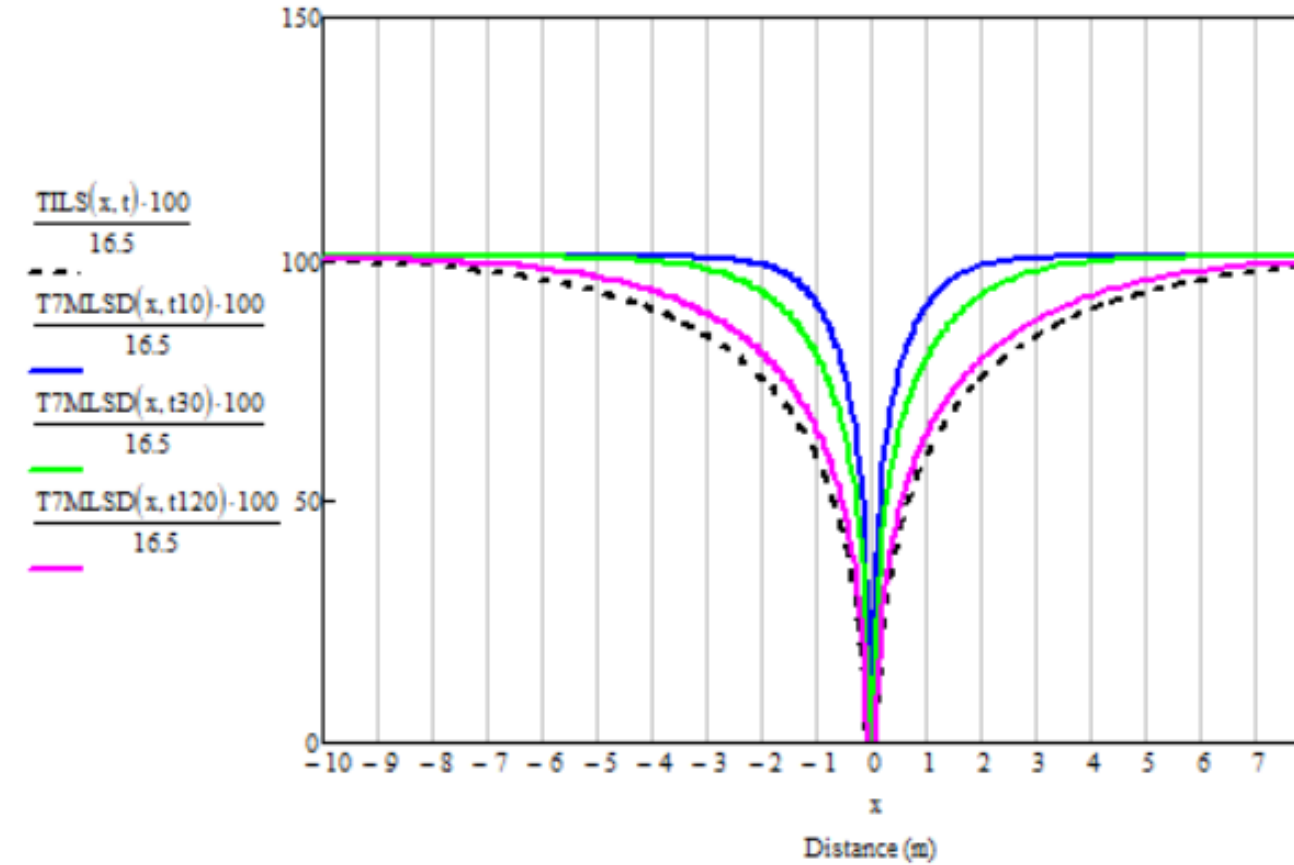


Figura – MLS: esempio di propagazione del cono di depressione attorno a una sonda a t variabile

3.5.3. Sostenibilità Esterna Campo Sonde

La sostenibilità esterna ovvero l'assenza di interferenze esterne di un Campo Sonde è di fatto garantita verificando che alle distanze di interferenza ricavate dall'analisi di sostenibilità interna non si trovino altre realizzazioni analoghe, cosa che è praticamente sempre verificata stanti anche le distanze imposte dal Codice Civile alle perforazioni dai confini di proprietà.

**da Compendio Geotermia CNG / ANIGHP:
Gruppo di Lavoro "Geoscambio" sett 2024**

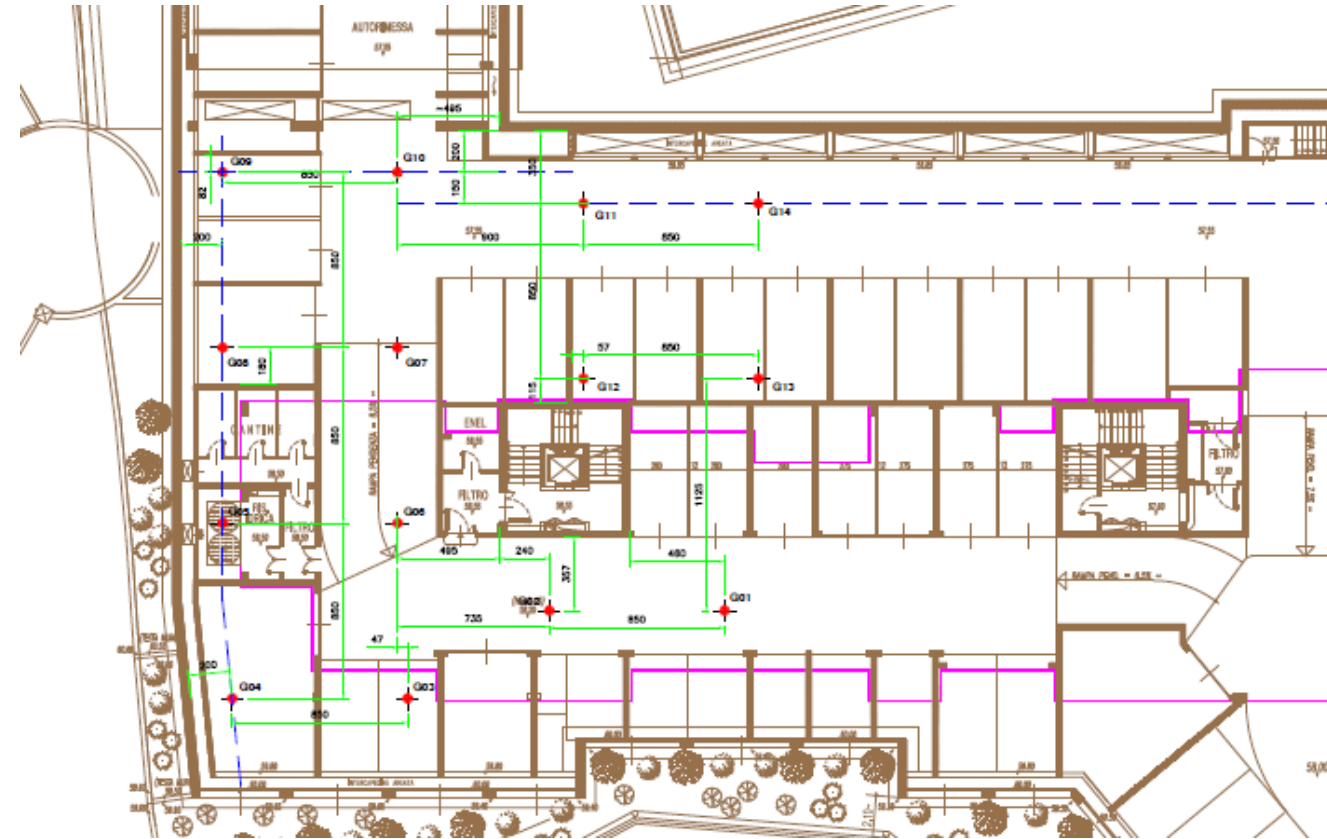


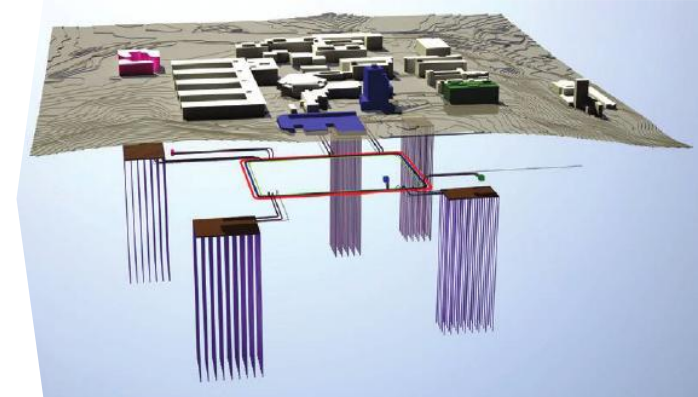
Figura –esempio di planimetria campo sonde

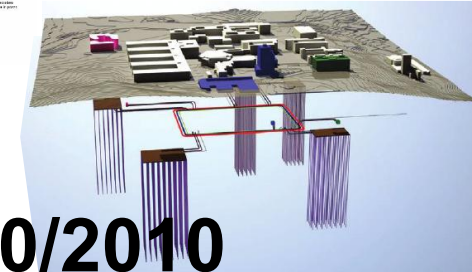
Lavori Scientifici anni 2000/2010

...in relazione alle risorse geotermiche e, in particolare, al loro utilizzo, sostenibilità significa anche capacità di sostenere un utile livello di produzione per lunghi periodi di tempo (Rybach L., *, Eugsterb W.J. – Elsevier 2010).

Per Sostenibilità Tecnica di un impianto si intende quindi la sua capacità di scambiare calore con il sottosuolo senza andare ad indurre effetti negativi apprezzabili di lungo periodo e garantendo la rinnovabilità della risorsa.

Si intuisce chiaramente come questa sia in realtà a tutti gli effetti una Sostenibilità Tecnico Ambientale; tale definizione viene anche ampiamente sviluppata da numerose pubblicazioni internazionali, già a partire dai primi anni duemila, spesso sotto il tema “*Long term operability and sustainability of the BHE*”, che arrivano comunque a concludere che nel caso di una corretta progettazione del sistema di geoscambio non si rilevano né derive termiche significative a scala del singolo impianto, né tantomeno depauperamenti significativi della risorsa complessiva.



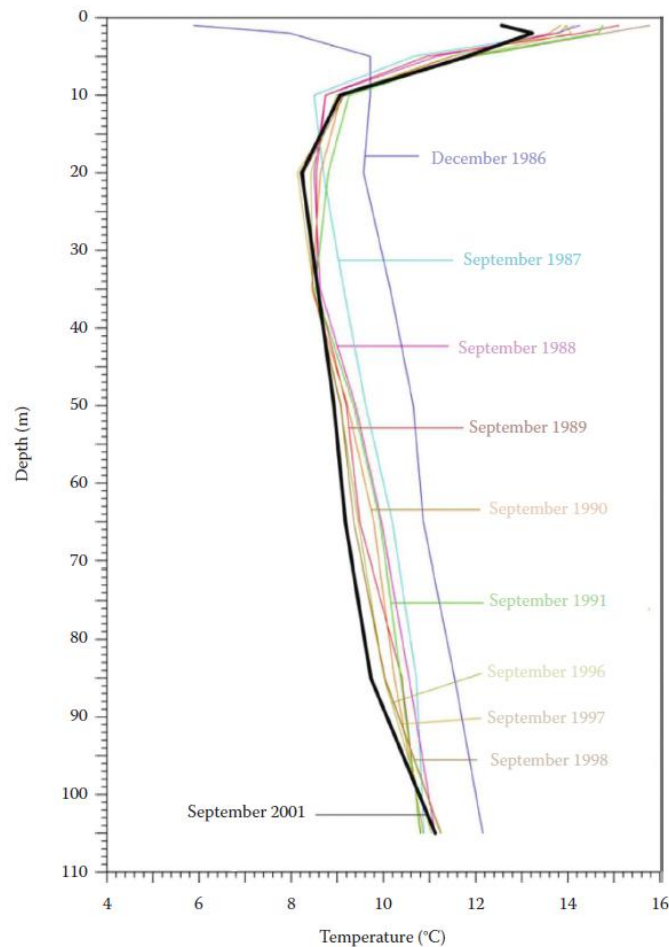


Lavori Scientifici anni 2000/2010

Esistono in letteratura solo pochi studi su casi reali, con monitoraggio a lungo termine delle temperature del terreno naturale, cioè all'esterno delle Sonde (o BHE).

Per un BHE a tubo coassiale lungo 105 m installato a Elgg, vicino a Zurigo (Svizzera), Rybach, in oltre 25 anni di osservazioni dettagliate ha fornito informazioni sull'evoluzione termica del terreno.

La Figura illustra le misure effettuate negli anni dove si mostra una minima deriva termica iniziale di ca 1° per poi osservare una sostanziale stabilizzazione nei 25 anni successivi, sempre considerando un punto di misura posto a solì 0.5 m dallo scambiatore stesso.



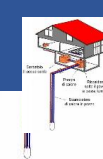


Presentazione dei dati di temperatura raccolti nel campo sonde geotermiche del nuovo complesso Umanistico dell'Università degli Studi di Padova, «Beato Pellegrino».

Con la finalità di:

- Supportare la gestione dell'impianto ibrido consentendo di migliorare la logica di funzionamento (aria/geotermico)
- Individuare possibili interferenze termiche nel campo sonde
- Identificare il volume di sottosuolo interessato dalla perturbazione termica

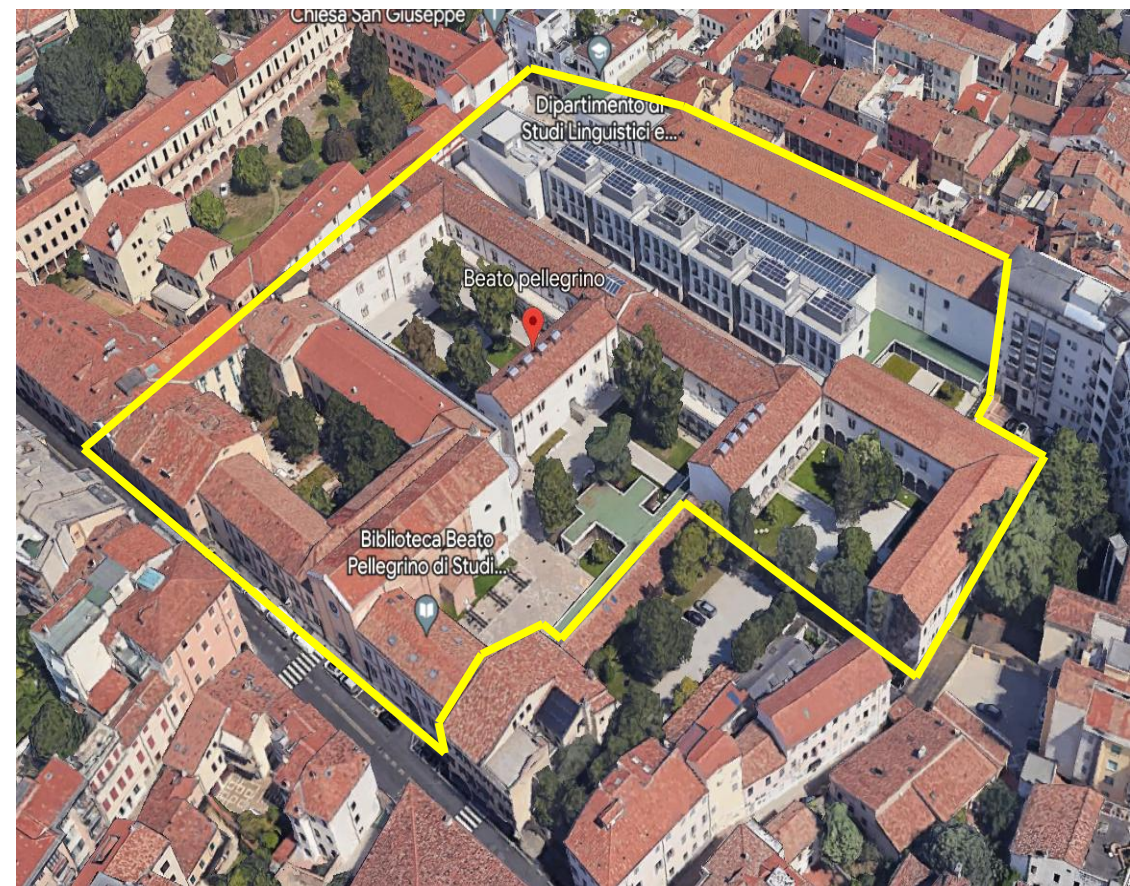


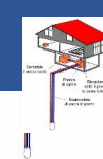


L'impianto è entrato in funzione con l'inaugurazione del campus il 30 Settembre 2019 e tutt'ora funzionante.

Esso è composto da un campo sonde geotermiche per il fabbisogno primario e due chiller elettrici per quello eccezionale.

13 edifici storici restaurati e 5 di nuova costruzione, per un totale di 17.600 m².
Afflusso di circa 2.500-3.000 persone al giorno.

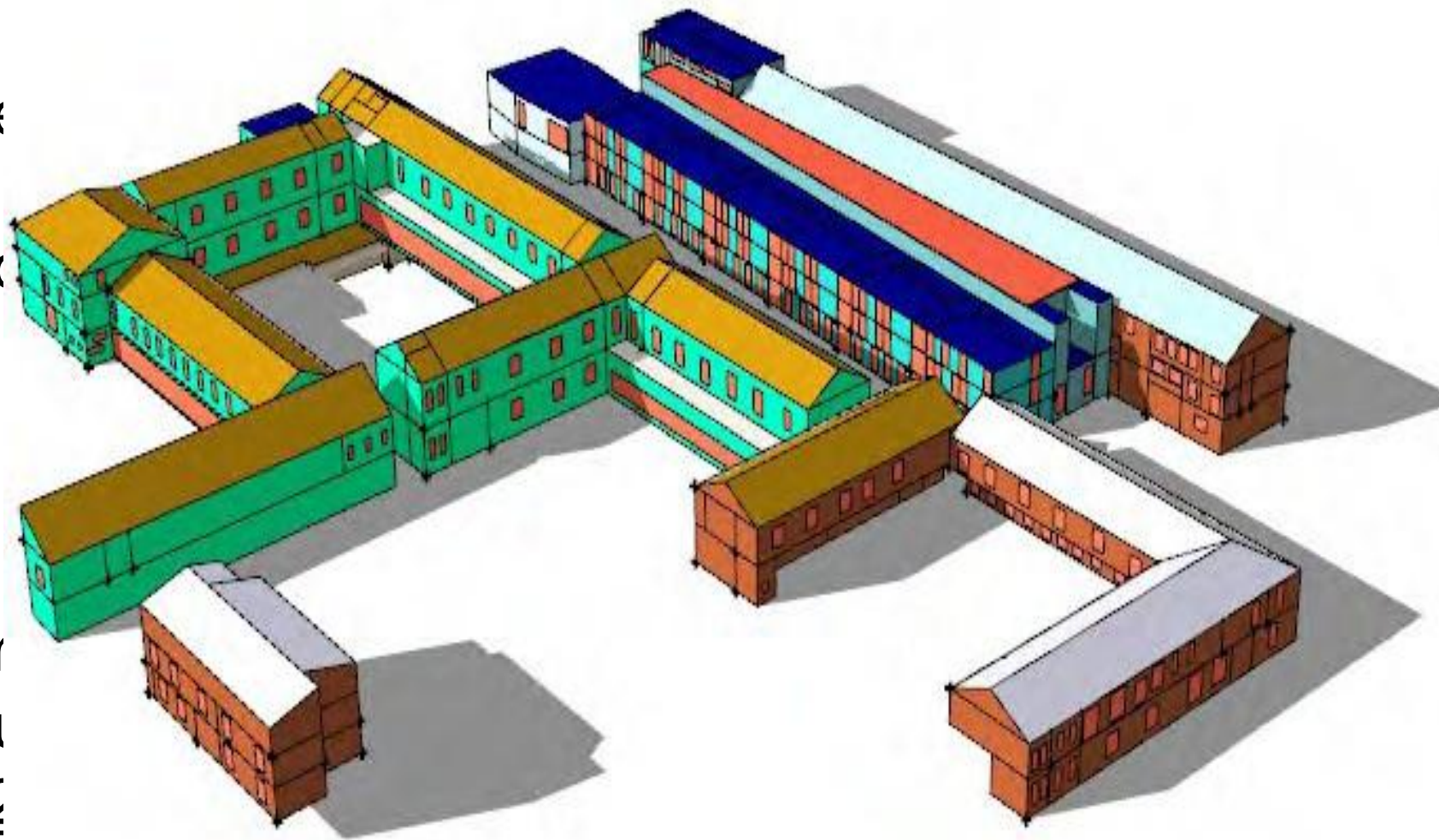




L'impianto è entrato in funzione con
l'inaugurazione
Settembre 2019 e

Esso è composto
geotermiche per
e due chiller
eccezionale.

13 edifici storici r
costruzione, per
Afflusso di circa 2
giorno.





420 kWt (in riscaldamento) da fonte geotermica

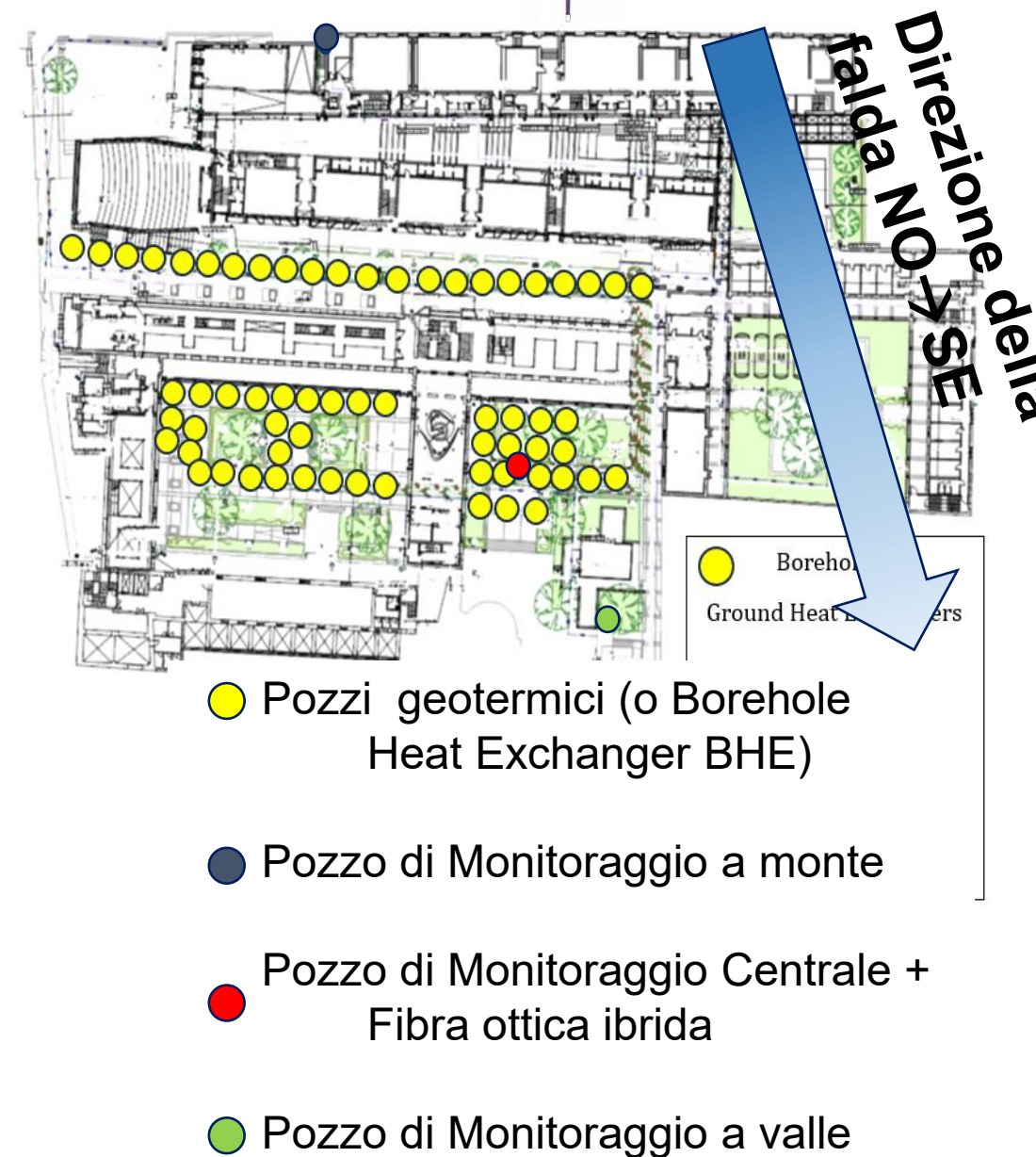
Pompe di calore aria/acqua situate sul tetto dell'edificio e collegate al sistema di ventilazione, ognuna da 318 kWt e 441 kWf



2 Pompe di calore acqua/acqua collegate all'impianto geotermico, ognuna da 210 kWt (in riscaldamento) e 161 kWf (in raffreddamento)



	SONDE GEOTERMICHE (BHE)	MONITORAGGI O MUMS	MONITORAGGI O DTS_FO
N° POZZI	60	3 (NORD- CENTRO-SUD)	1
LUNGHEZZA	120 METRI	130 METRI	124 METRI
TIPOLOGIA	HIGH-DENSITY POLYETHYLENE DOUBLE U	SENSORI DI TEMPERATURA A DIGITALI MUMS	CAVO IN FIBRA OTTICA IBRIDO CON RESISTORI IN RAME



Distributed Thermal Sensing con Fibra Ottica

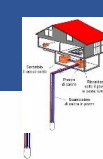
Il cavo ibrido, installato nel pozzo di monitoraggio centrale, è composto da 3 resistori in rame collegati in serie e 1 fibra ottica, installato fino alla profondità di ~130 metri.

Permette la misurazione della temperatura ad ogni 0,50 m di profondità.

La misura viene eseguita periodicamente.

Permette di effettuare un TRT avanzato denominato FO-ETRT.





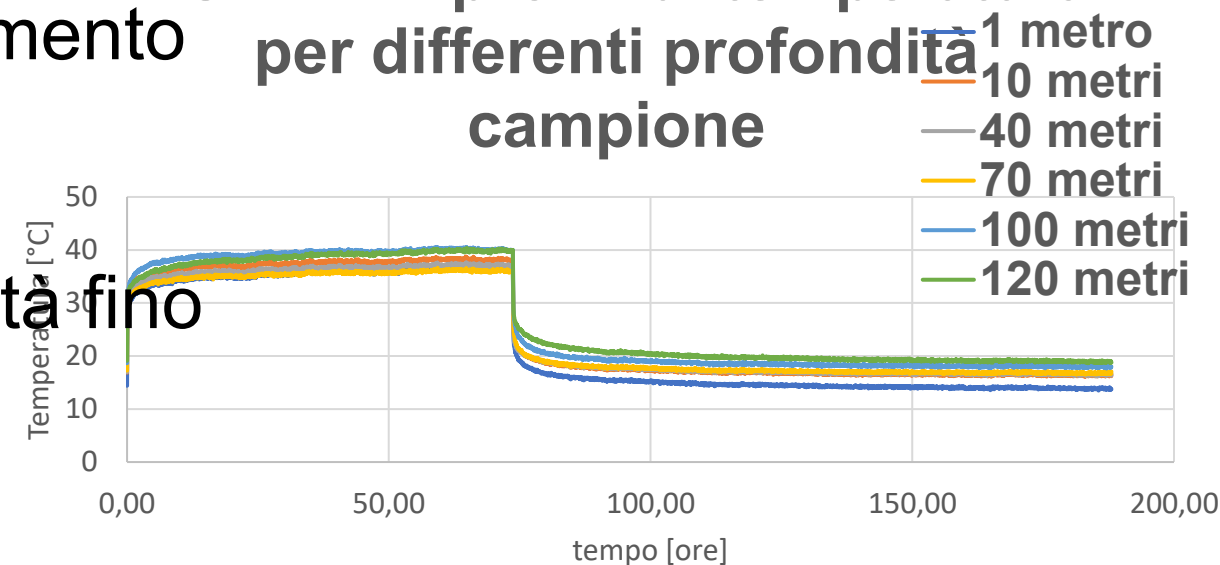
Si riporta un Test di Risposta Termica TRT effettuato prima dell'inizio dei lavori.

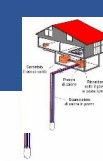
Il TRT è durato per 8 giorni divisi in 3 per la stimolazione termica e 5 per il rilassamento termico.

Profili di temperatura ad ogni profondità fino alla base del pozzo.

Ingente quantità di dati per studiare le dinamiche di conducibilità termica e risposta termica del terreno interessato dal campo sonde.*

FO-ETRT: profili di temperatura per differenti profondità campione

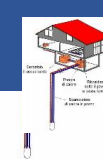




MUMS= Modular Underground Monitoring System

I sensori MUMS installati in ognuno dei tre pozzi di monitoraggio sono due catene di 130 metri equipaggiate da 14 sensori di temperature, collegate ad una unità di controllo e memorizzazione, con passo di campionamento di 15 minuti.





Dati ottenuti da analisi di campioni di carotaggio continuo, supportato da analisi granulometriche e mineralogiche:

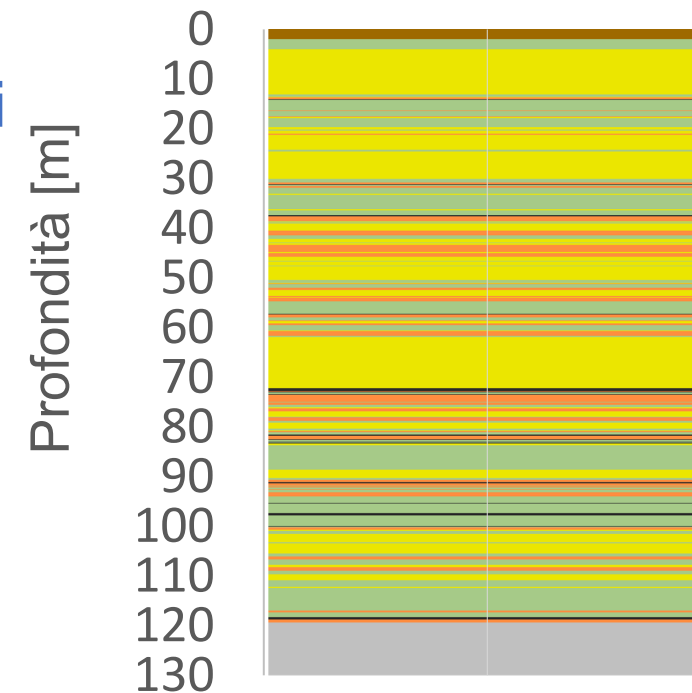
Verticale stratigrafica caratterizzata da da 3 principali livelli di sabbie intervallati da strati fini di sabbie limose, limi e argille.

Falda a 3 m dal p.c.

Sotto i 70 m poi si trovano principalmente materiali fini e a bassa conducibilità termica (Limi, argille e torba).

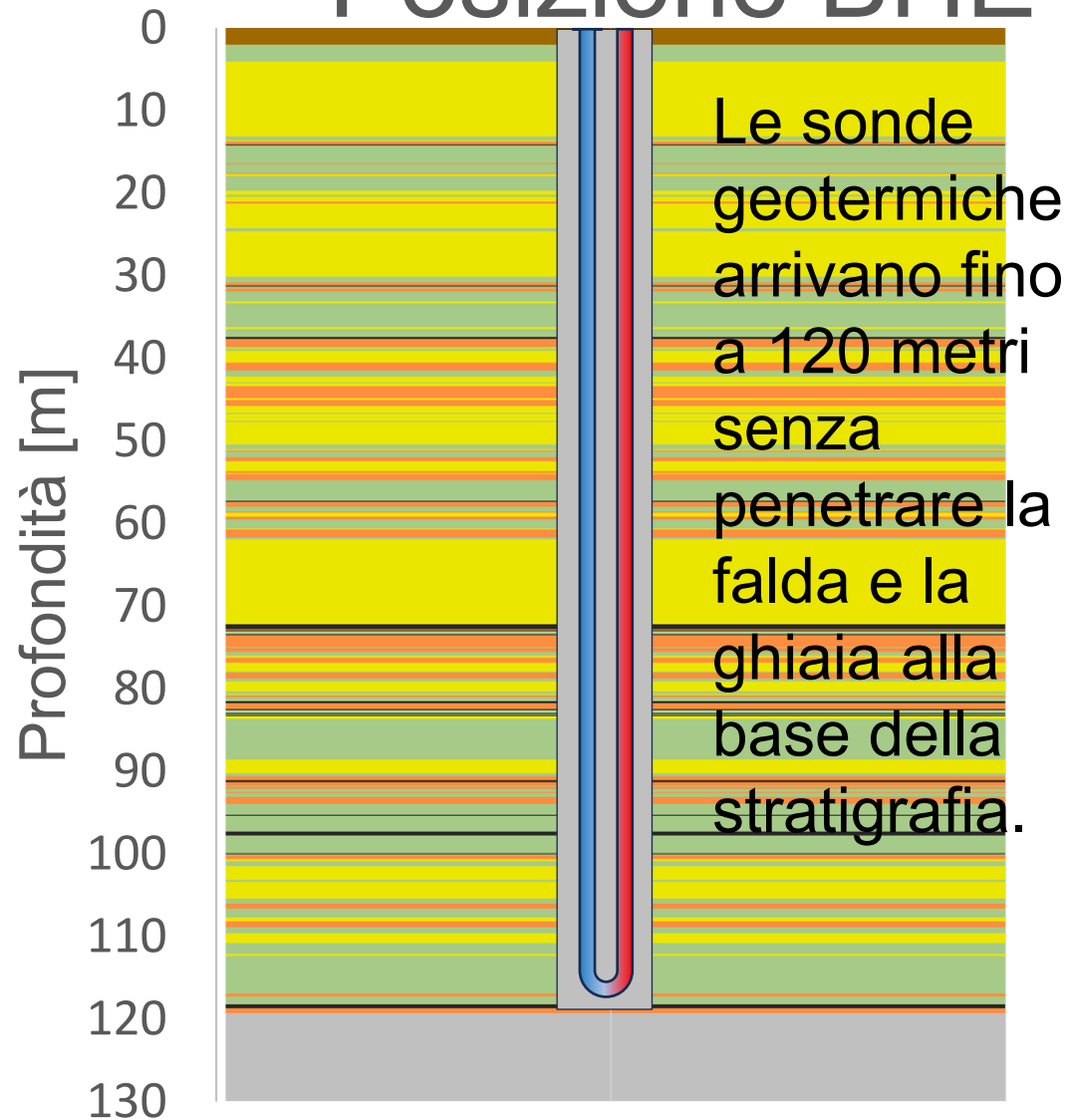
Gli ultimi 10 metri sono composti da ghiaia pulita con attività di falda acquifera in pressione.

Stratigrafia

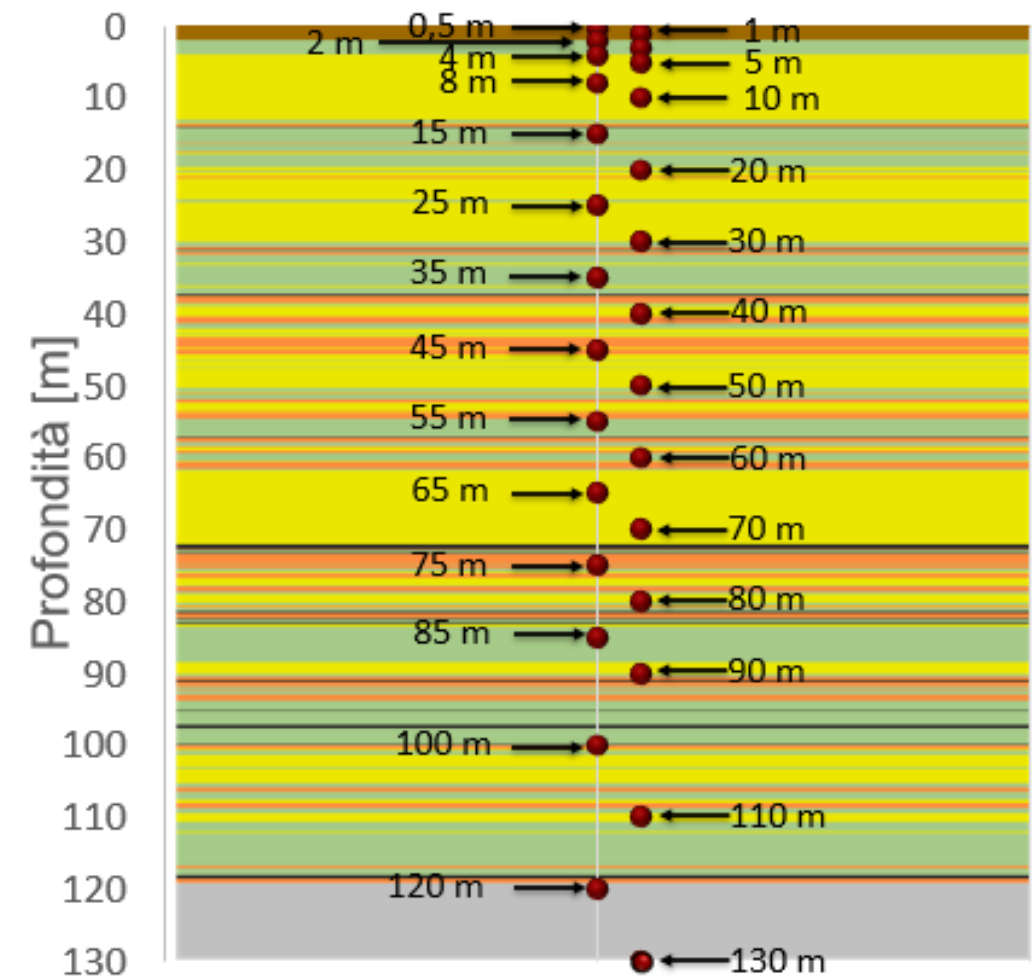




Posizione BHE



Posizione Sensori MUMS



Pozzo Centrale

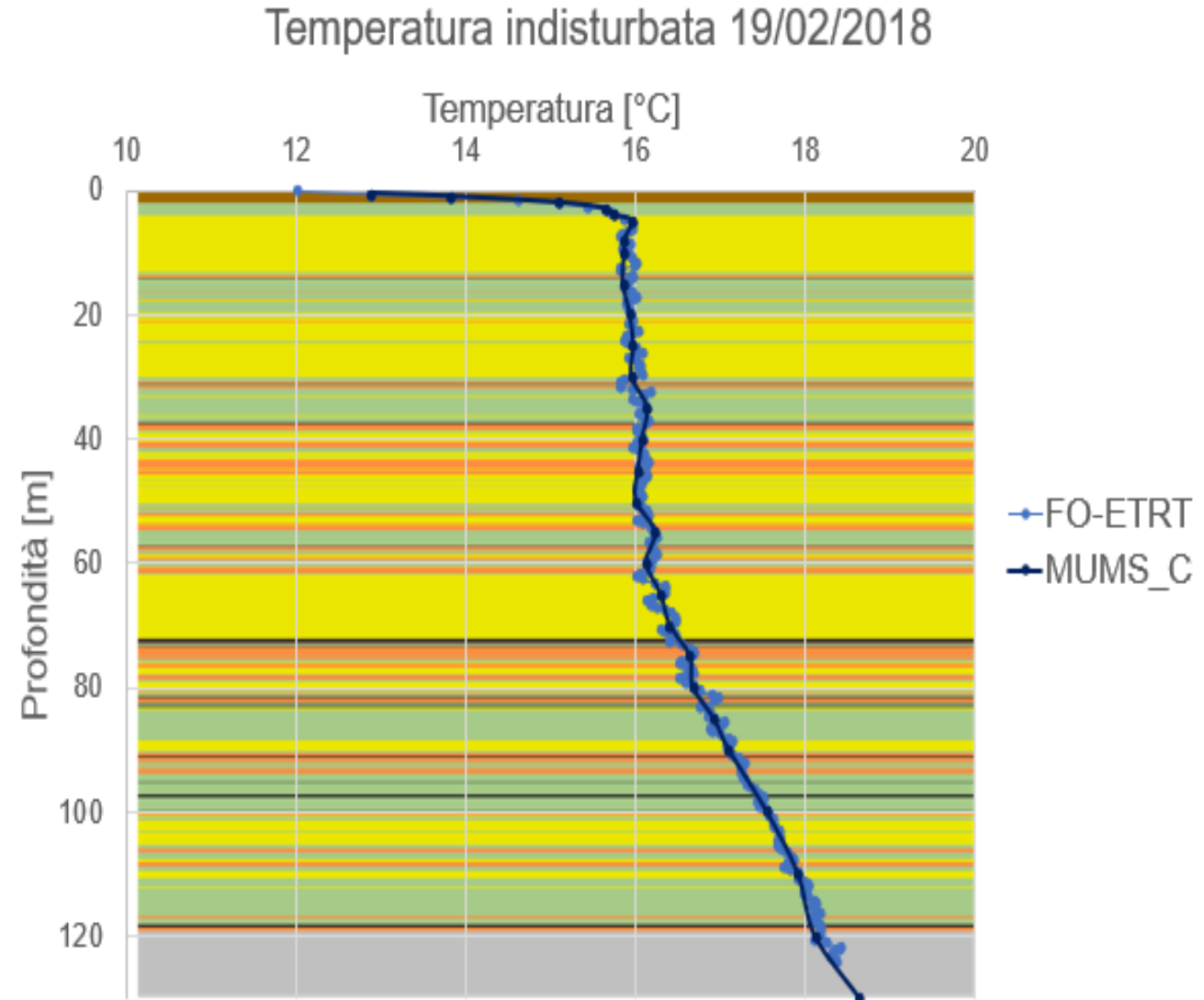
Dai dati MUMS e dal FO-ETRT si è ottenuto un profilo della temperatura indisturbata antecedente al campo geotermico.

-i primi 15-20 metri sono interessati dalla stagionalità.

-fino ai 60 metri la temperatura è leggermente crescente-costante attorno i 16°C (Regime Convettivo)

-dai 60 metri a f.f. entra in gioco il gradiente geotermico (36 mK/m) aumentando la temperatura fino a 18,6°C alla base. (Regime Conduttivo)

Verticale termicamente bi partita





Nelle successive diapositive si mostreranno i dati raccolti dai sensori MUMS nei tre pozzi di monitoraggio disposti a monte (Nord), al centro, e a valle (Sud) rispetto al campo sonde e alla direzione della falda freatica di Padova.

Verrà evidenziato come il pozzo centrale registri l'attività del campo geotermico, il pozzo a monte la temperatura indisturbata del sottosuolo, mentre il pozzo a valle registra il plume termico e la variazione di temperatura causata dall'attività dell'impianto e dall'effetto di advezione della falda acquifera.



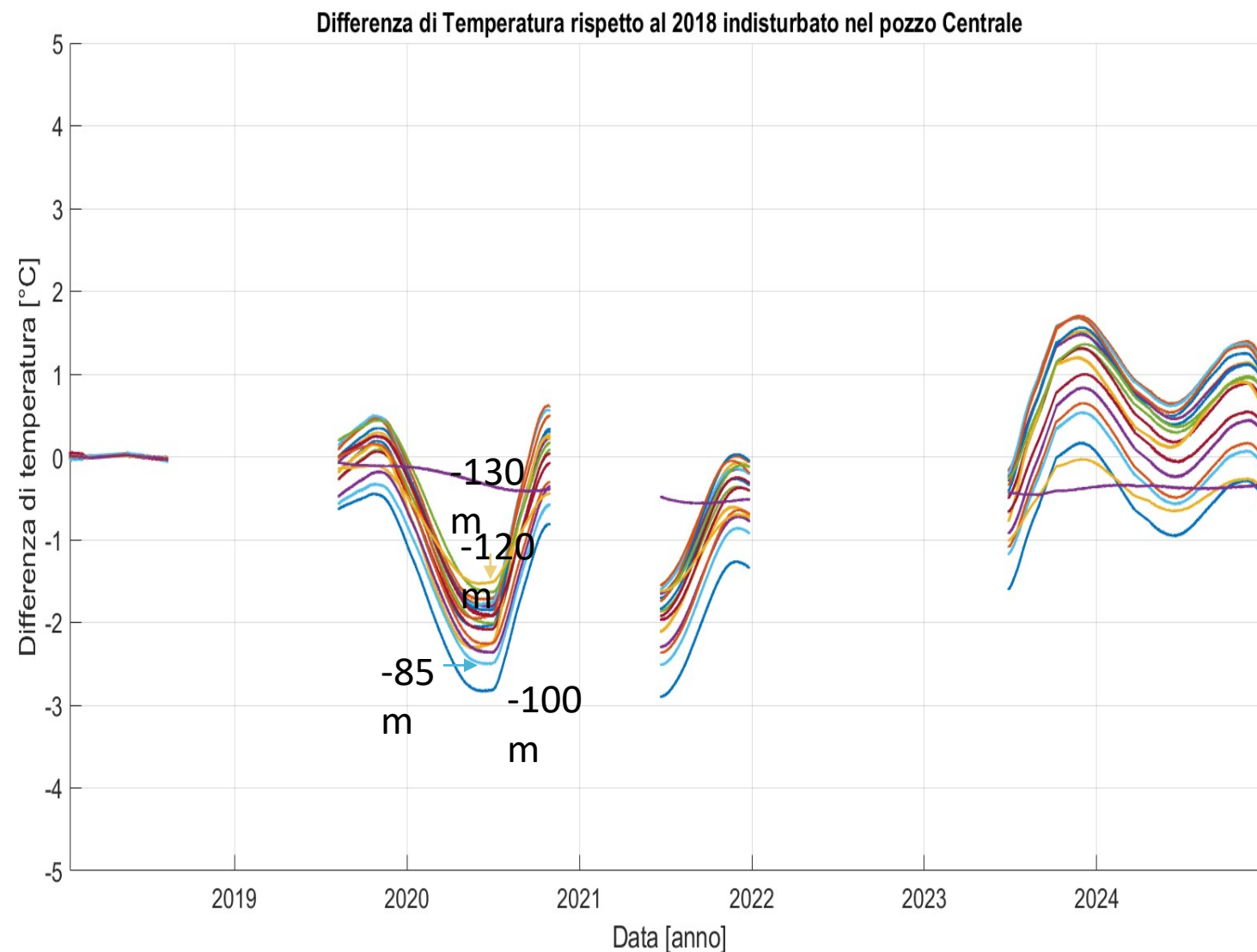
La mancanza di dati in alcuni periodi è dovuta da errori umani/malfunzionamenti.



Valori ottenuti sottraendo alla temperatura registrata durante l'attività dell'impianto (2019-oggi), la temperatura indisturbata del 2018.

Le variazioni di temperatura non superano i -3°C e $+2^{\circ}\text{C}$.

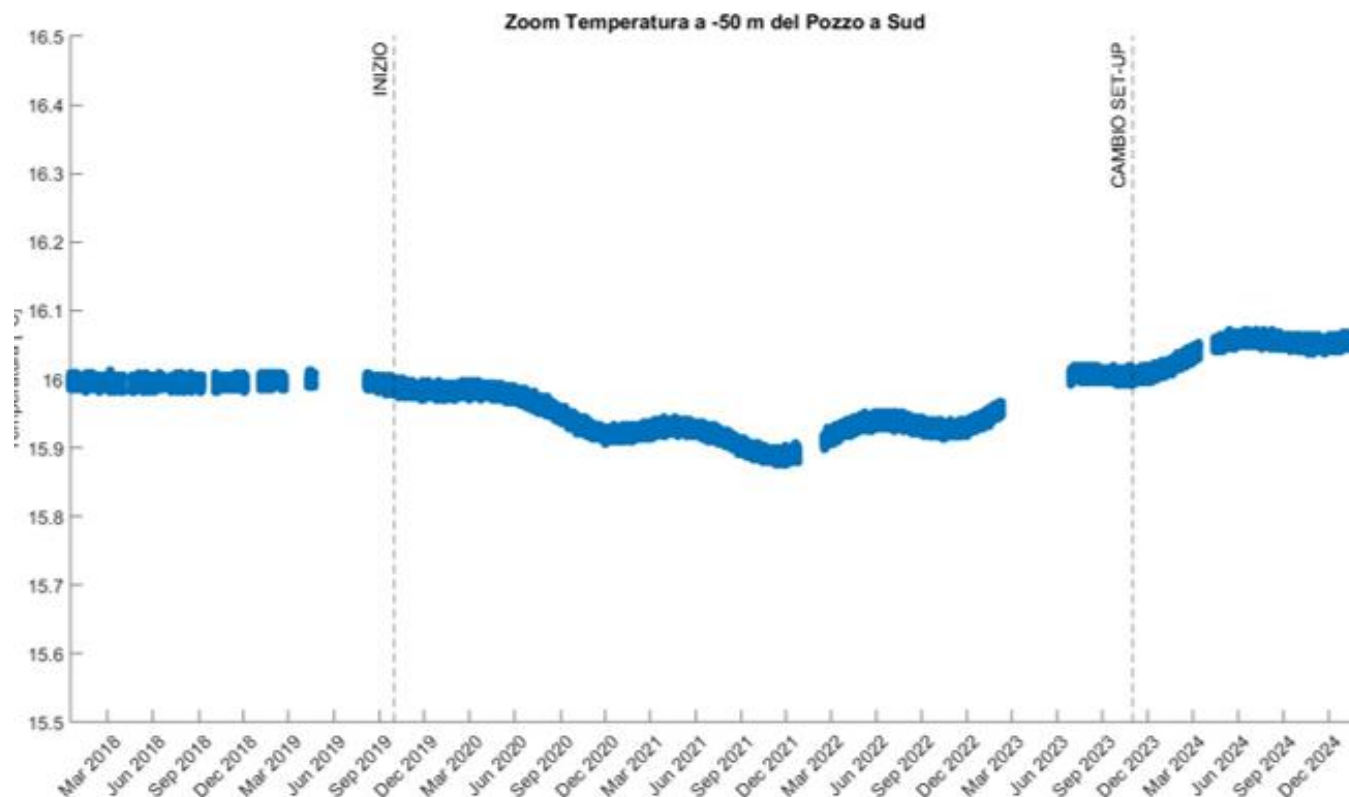
La variazione dopo il 2023 è dovuta al cambio di set-up. Il sensore a 130m non ha registrato quasi nessuna variazione di T.*





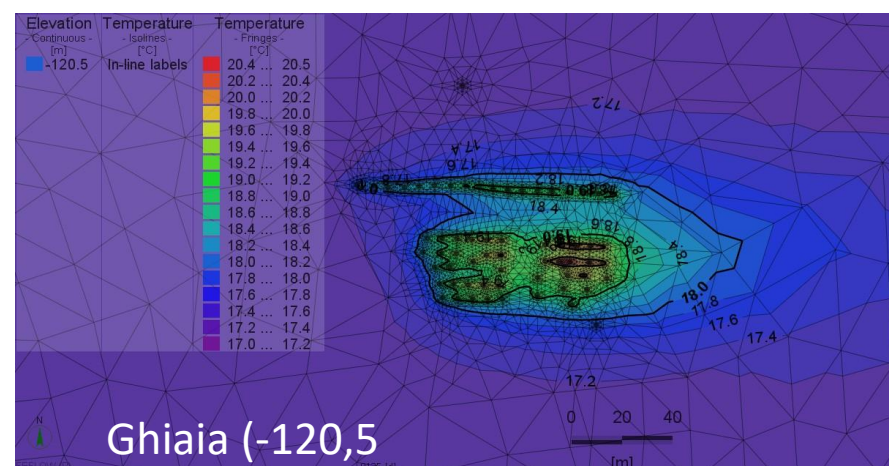
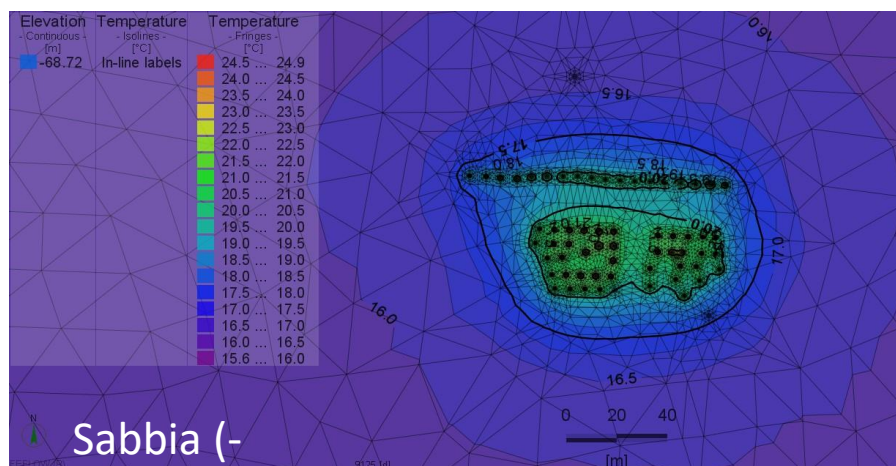
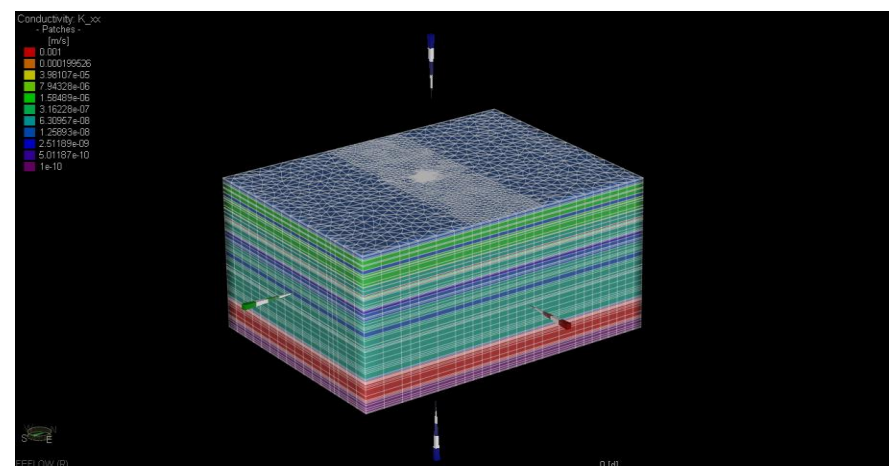
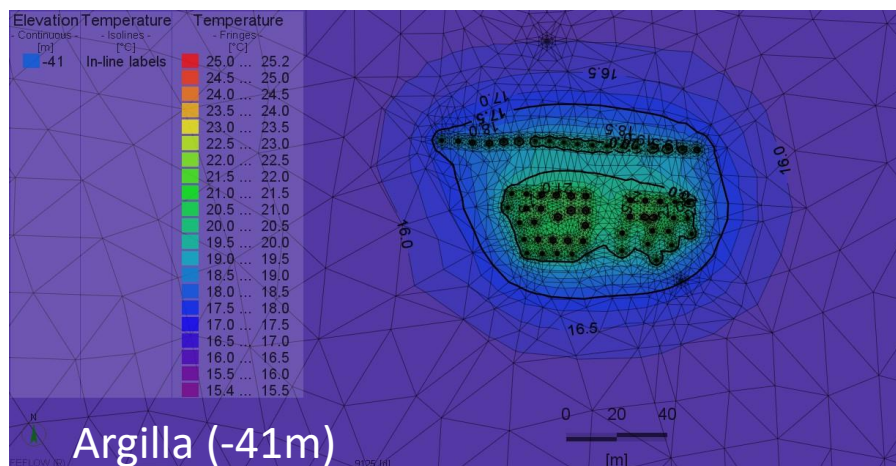
In questo ingrandimento del profilo di temperatura a 50 metri di profondità nel pozzo di monitoraggio a valle (a 16 m dalla sonda più prossima) si può vedere:

- L'andamento di t° prima e durante l'attività geotermica
- La variazione di t° è minima, pari a $\pm 0,1^\circ \text{C}$
- L'andamento iniziale decrescente dovuto all'apertura dell'impianto durante l'inverno





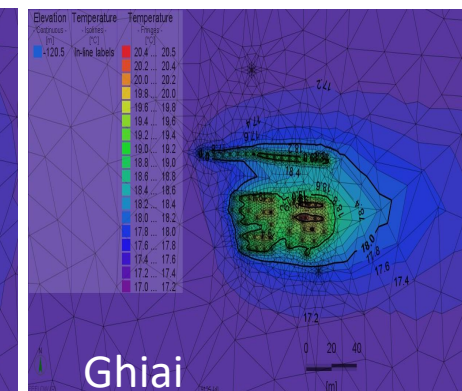
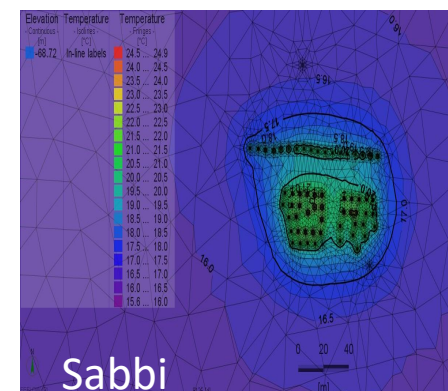
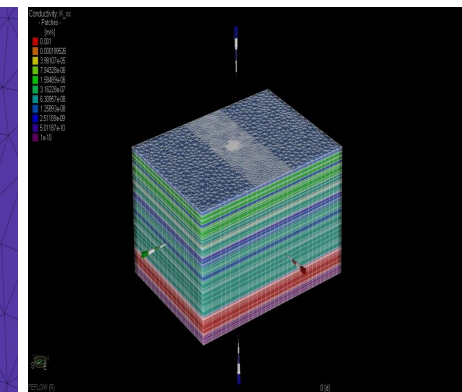
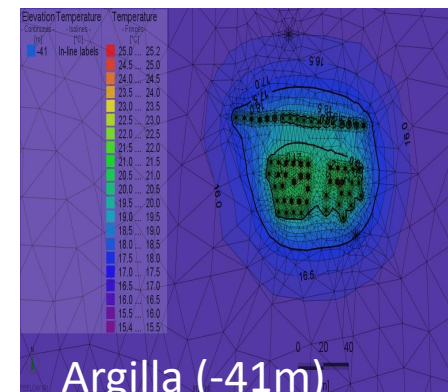
Modello FEFLOW





Modello FEFLOW Conclusioni

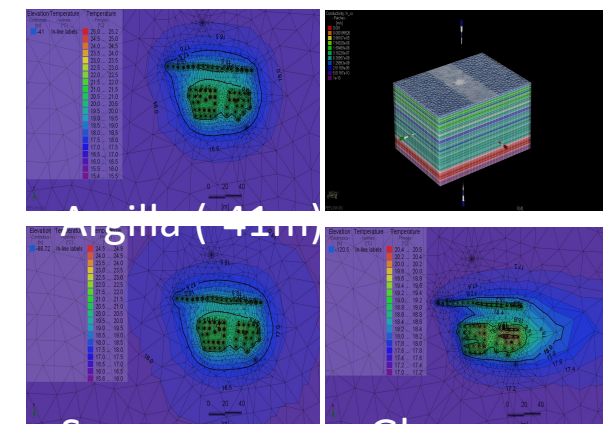
- nella ghiaia il plume termico viene deformato e diluito nella direzione della falda pur con valori bassissimi già a 10 m dal campo sonde (*coerente con le assunzioni progettuali*).
- nell'argilla a bassa conducibilità termica l'anomalia non si propaga (*coerente con le assunzioni progettuali*).
- nella sabbia il plume è intermedio e radiale (*coerente con le assunzioni progettuali*).





Monitoraggio Campus Beato Pellegrino Conclusioni

- Variazioni di temperatura causata dall'impianto geotermico compresa tra +1 e -3°C a centro campo sonde
- Distribuzione calore principalmente radiale,
- non viene modificato l'assetto termico verticale al di sotto delle sonde
- Deformazione termica circoscritta ai gruppi di BHE



Argilla (-41m)

bb
la

lal
a (-

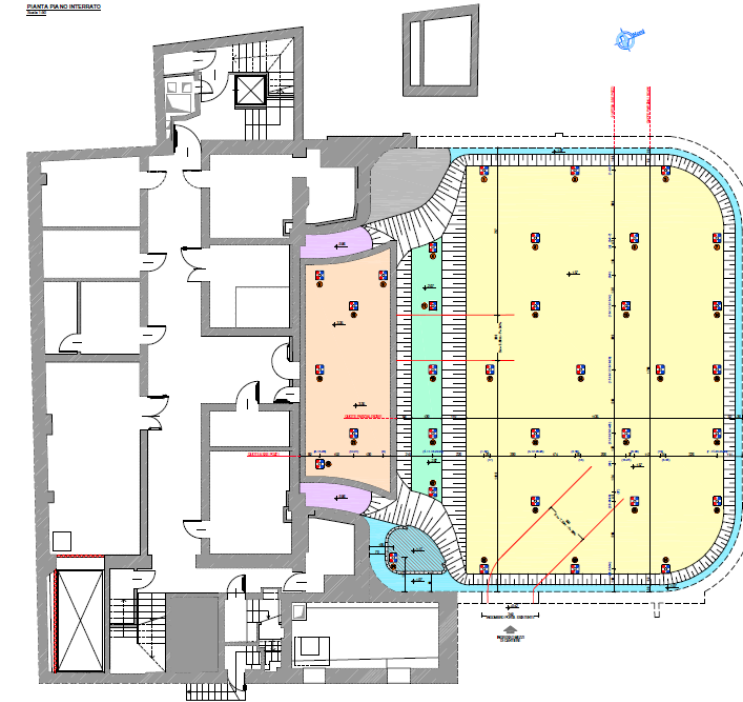
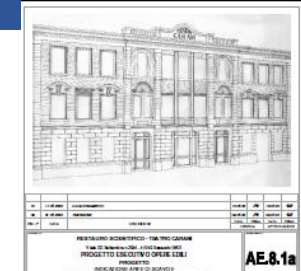
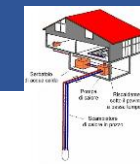
D.M.378/22 – Circuito Chiuso

Proposta di modifica della soglia di potenza legata al percorso autorizzativo della PAS

Date le esperienze e i casi esposti si può valutare che i contenuti progettuali ed i limiti vigenti di normativa e di percorso autorizzativo semplificato PAS possano tranquillamente essere applicati a campi sonde di potenza fino a 1 MW visto il dimostrato ridotto impatto sullo stato termico del sottosuolo degli scambiatori.

PERCORSI AUTORIZZATIVI

Iter amministrativo	Pt	Profondità Sonde Verticali	Profondità Sonde Orizzontali	Edifici esistenti	Edifici nuovi
Edilizia libera	<30 kW	80 m	2 m	SI	NO
PAS (CILAS)	<100 kW <1.000 kW	170 m	3 m	SI	NO



Teatro Carani Sassuolo MO – Campo Sonde Monitoraggio in Atto

Marco Orsi

Geologo

Sonde geotermiche a bassa entalpia: frontiere tecniche e normative



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Prof Antonio Galgaro

antonio.galgaro@unipd.it



Dipartimento di Geoscienze



29 maggio 2025
9.00 - 13.30

*Ministero dell'Ambiente e
della Sicurezza Energetica*
Sala Auditorium

Via Cristoforo Colombo 44, Roma

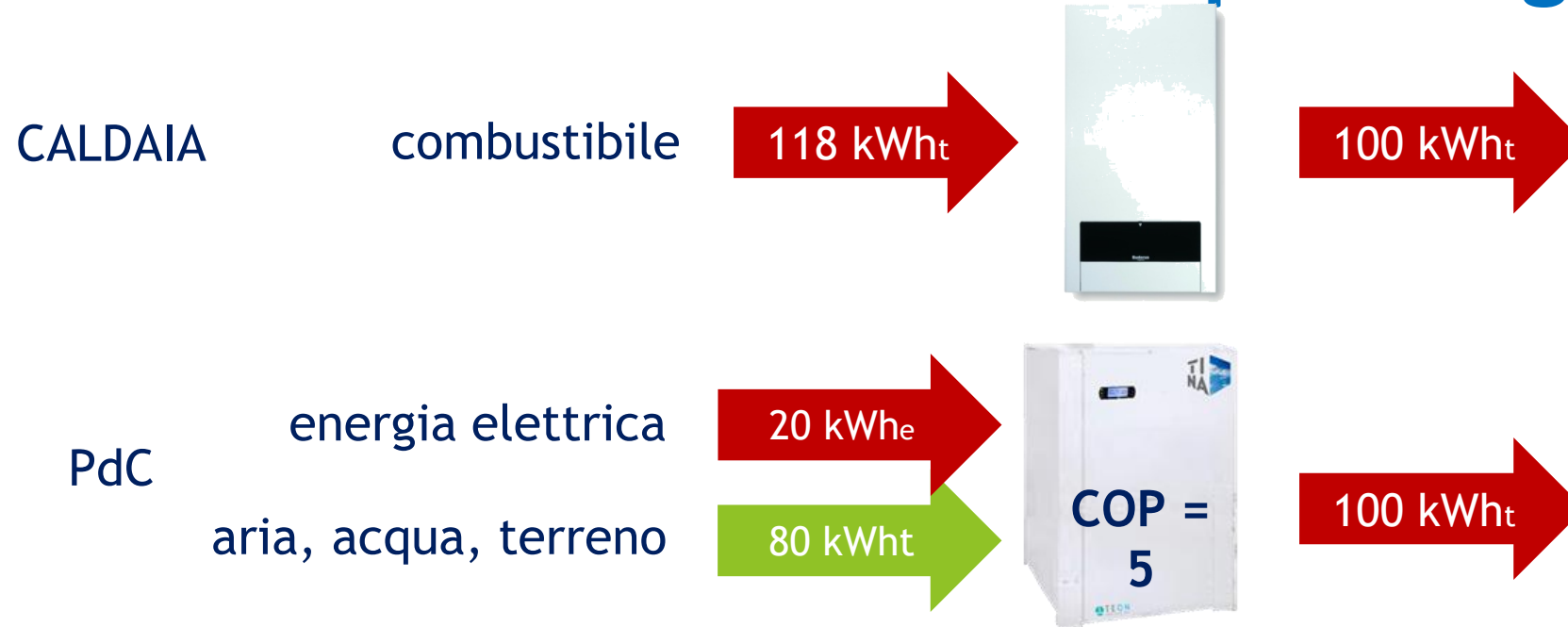


vicepresidente@anighp.it

Progettazione e Risultati di monitoraggio di Campi di Sonde Geotermiche Esperienze Italiane e Internazionali GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Roma, 29 maggio 2025

Perché si abbattano le spese di gestione



Per produrre 100 unità di energia termica con una caldaia ne servono mediamente 118 di energia del combustibile

Per produrre le stesse 100 unità di energia termica **con una pompa di calore** ne servono **SOLO** circa **20 di energia elettrica**. Il resto del calore lo fornisce la natura gratuitamente!

Anche in tutti gli edifici con impianto a radiatori dove le tradizionali pompe di calore non riescono