

DIPARTIMENTO
DI GEOSCIENZE

LA POSSIBILITÀ DI EFFETTUARE CORRELAZIONI STRATIGRAFICHE ANALIZZANDO LE PROPRIETÀ TERMICHE DEL SOTTOSUOLO

LAUREANDO: BONINI LEONARDO

RELATORE: GALGARO ANTONIO

SESSIONE DI LAUREA: 19 SETTEMBRE 2024

Workflow di tesi



Sistemi a pompa di calore geotermica

Principio di funzionamento e configurazioni possibili

Definizione della conducibilità termica

Parametri che la influenzano nelle rocce e sedimenti inconsolidati

Tecnica sperimentale di misura DTS

Per la valutazione della conducibilità termica distribuita

Esempio di caso studio

Ricostruzione paleoambientale e correlazione termostratigrafica

Classi della geotermia

Geotermia a bassa entalpia:

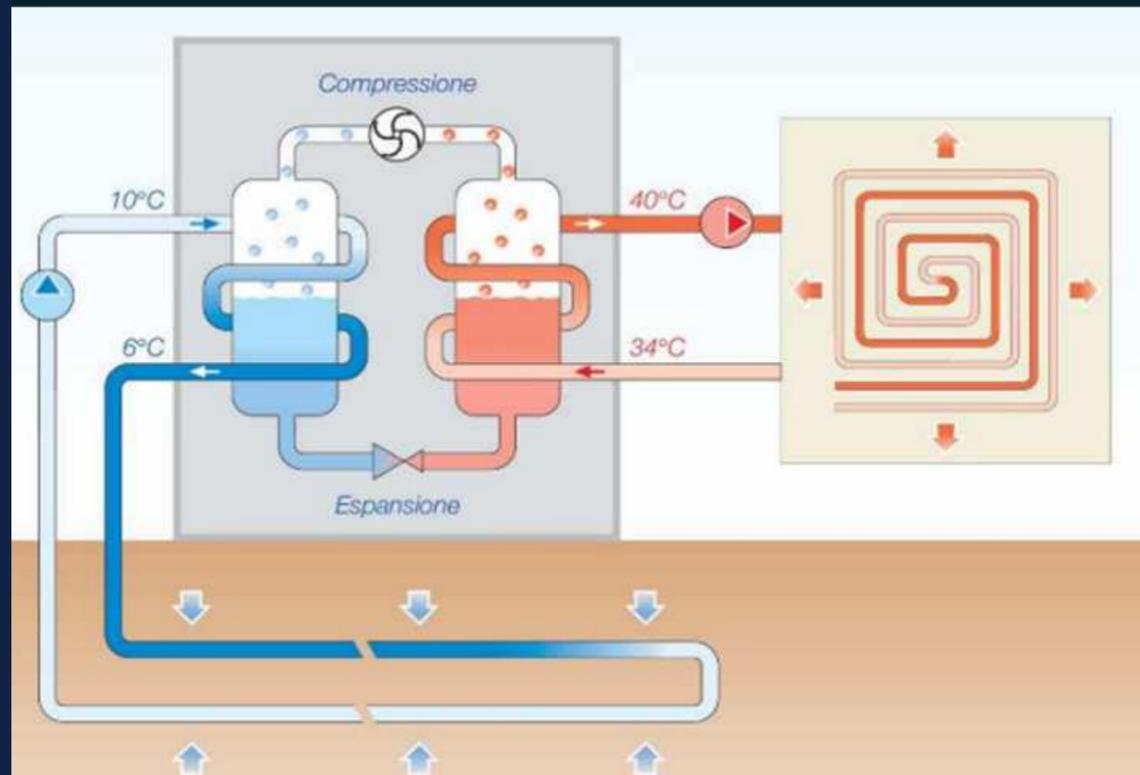
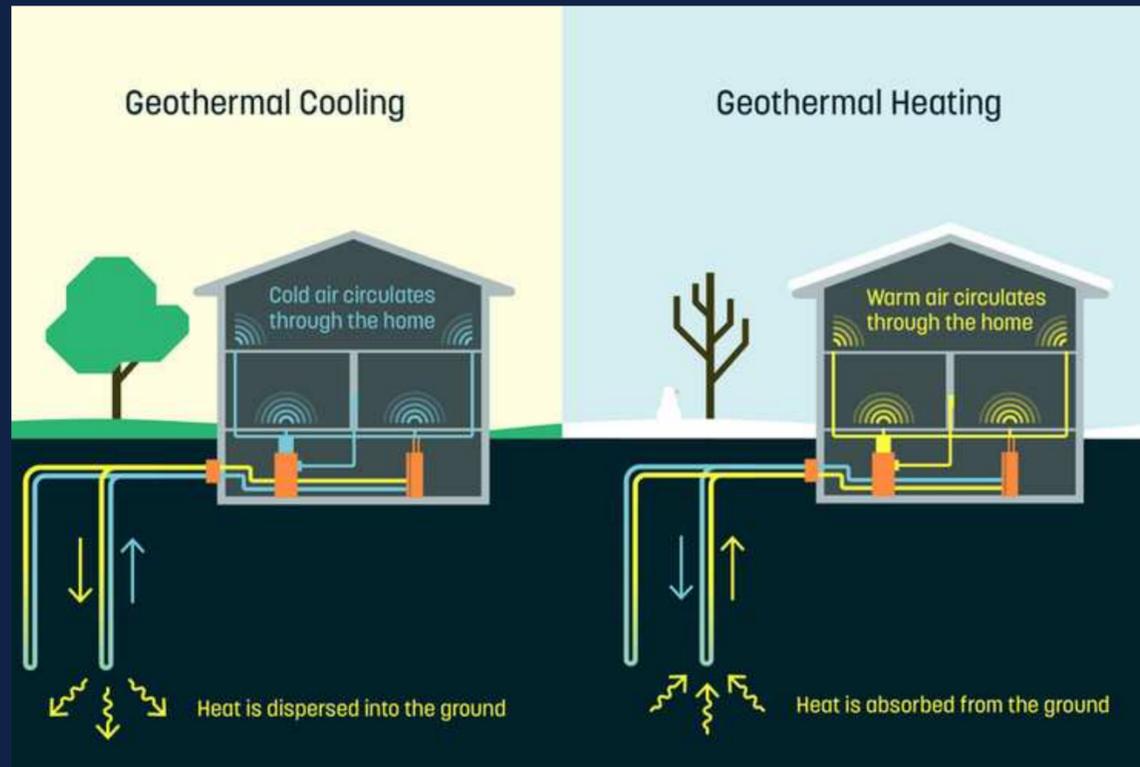
$T < 90$ °C, MA i sistemi GSHP utilizzano le prime decine di °C del sottosuolo (15-20°C)

Geotermia a media entalpia:

$90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$, uso diretto del calore (terme, utilizzo industriale, teleriscaldamenti, ecc...)

Geotermia ad alta entalpia:

$T > 150^{\circ}\text{C}$, sfruttamento di fluidi molto caldi per la produzione di energia elettrica



Sistemi di climatizzazione a pompa di calore geotermica (GSHP)

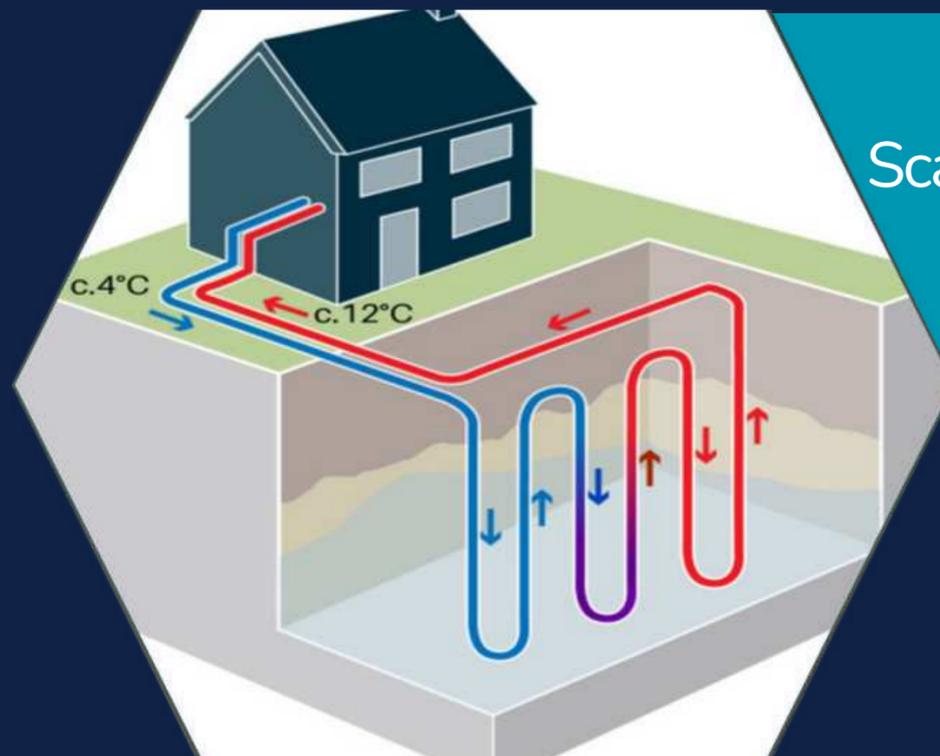
Utilizzo del sottosuolo come sorgente/recettore di calore, molto più conveniente rispetto all'aria per la sua stabilità termica e valori di T prossimi a quelli di comfort dell'edificio da asservire

Configurazione più semplice

- Pompa di calore (evaporatore, compressore, condensatore e valvola di espansione);
- Fluido secondario per il collegamento termico con gli scambiatori di calore;
- Impianto termico per la distribuzione del calore.

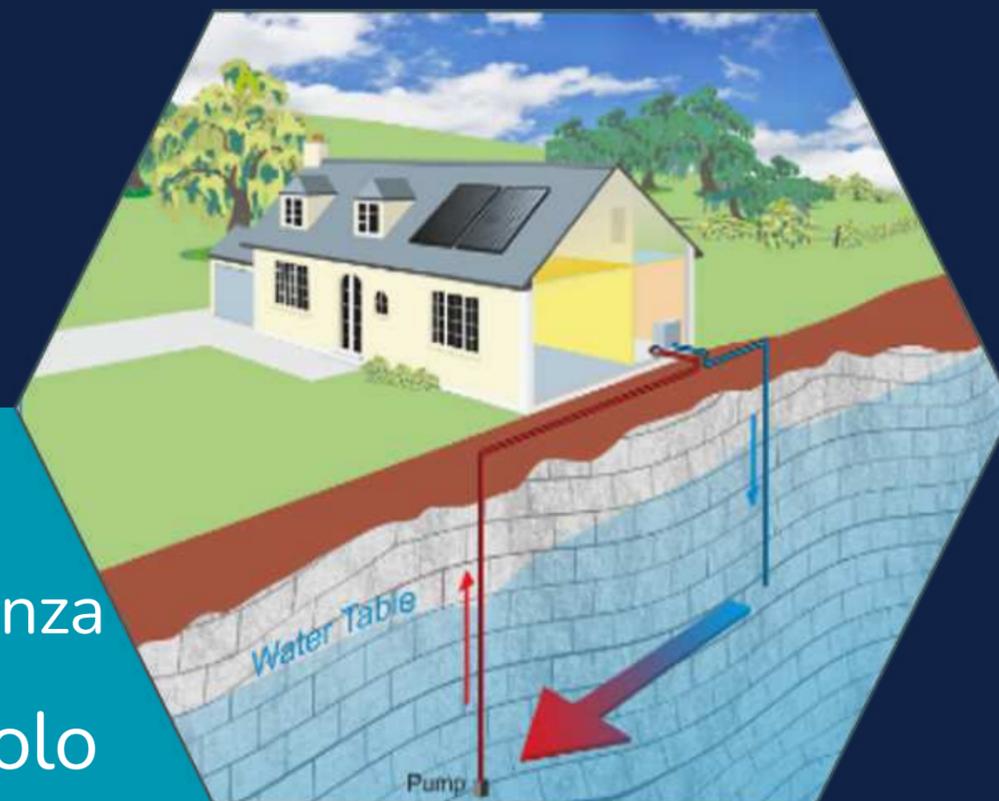
Scambiatori di calore a terreno

Le configurazioni



Sistemi a circuito chiuso:

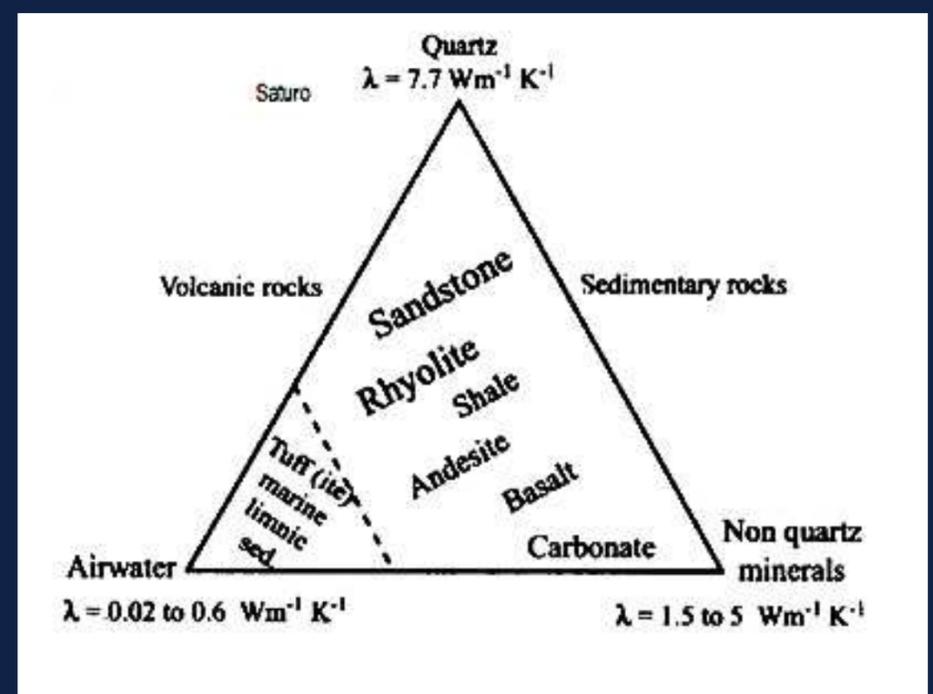
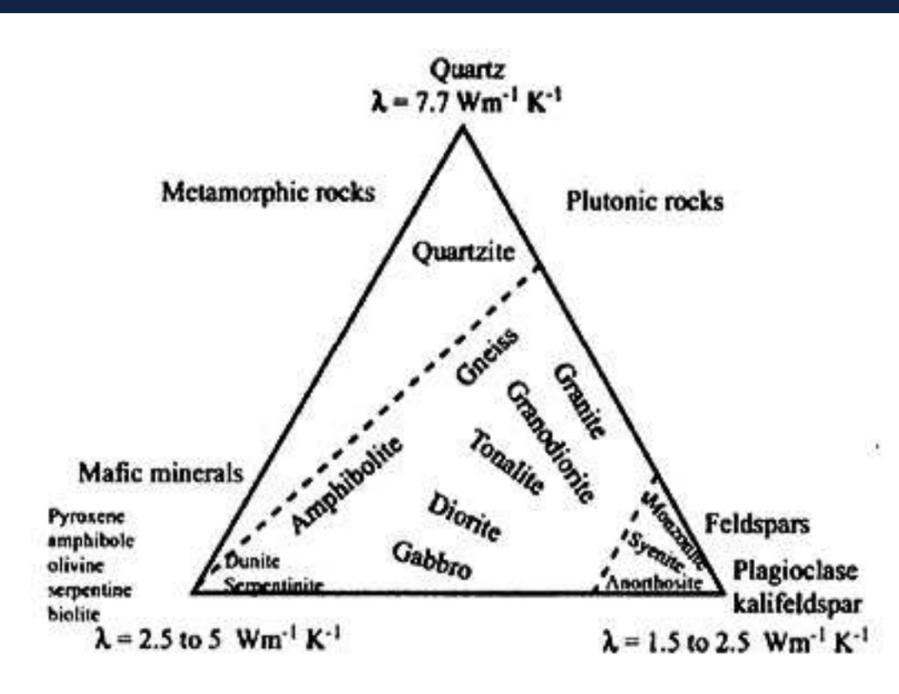
Scambiatori di calore collocati nel sottosuolo
No interazione diretta con il sottosuolo
Possibili vari schemi



Sistemi a circuito aperto:

Meno scambi termici con maggiore efficienza
Interazione diretta con il sottosuolo

Parametri termofisici del sottosuolo: la conducibilità termica (λ)



Categoria sedimenti	Conducibilità termica [W/mK]	
	Valore minimo	Valore massimo
Ghiaia secca	0,4	0,9
Ghiaia satura d'acqua	1,6	2,5
Sabbia secca	0,3	0,9
Sabbia umida	1	1,9
Sabbia satura d'acqua	2	3
Argilla/silt secchi	0,4	1
Argilla/silt saturi d'acqua	1,1	3,1
Torba/Materiale organico	0,2	0,7

Per le rocce λ è principalmente influenzata dalla composizione mineralogica, porosità e dalla presenza e tipologia di liquidi saturanti.

Per i sedimenti inconsolidati λ è principalmente influenzata dalla porosità, dal contenuto idrico, composizione mineralogica, contenuto organico, ecc...

Determinazione della conducibilità termica

Metodi di laboratorio

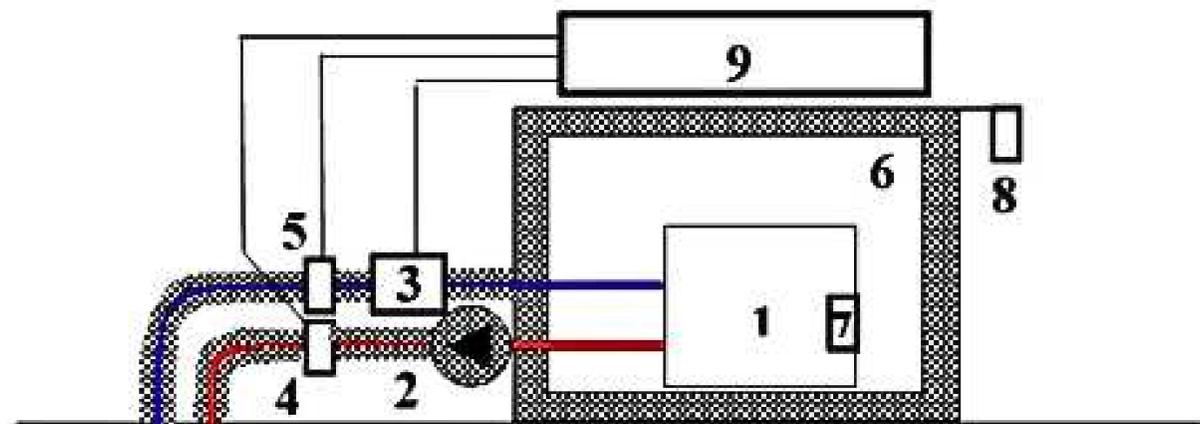
- Thermal Conductivity Analyzer (TCI)
- Thermal Conductivity Scanning (TCS) apparatus
- Transient Line Source
- The guarded hot plate method
- Needle Probe

Metodi in situ

- Thermal Response Test (TRT)
- Distributed Temperature Sensing (DTS)
- Enhanced Thermal Response Test (E-TRT)

TRT (Thermal Response Test)

Valutazione della conducibilità termica mediata sulla lunghezza dello scambiatore e resistenza termica della sonda nel suo complesso



- 1 serbatoio con resistenze elettriche
- 2 pompa di circolazione-inverter
- 3 misuratore di portata
- 4 sonda temperatura (out)
- 5 sonda temperatura (in)
- 6 sonda temperatura (interno box)
- 7 sonda temperatura (serbatoio)
- 8 sonda temperatura (aria esterna)
- 9 unità di acquisizione-telecontrollo

Il fluido termovettore, riscaldato dalle resistenze, circola all'interno della sonda geotermica

Il fluido trasmette energia termica al terreno, rientrando infine nel serbatoio e ripetendo il ciclo

Misurazione della temperatura di mandata e di ritorno, della potenza erogata e della portata

DTS (Distributed Temperature Sensing)

Principio di funzionamento

L'impulso luminoso, generato da una sorgente laser, si propaga nella fibra energizzando il vetro, le molecole e la struttura reticolare

1

Processi spontanei di scattering anelastico con rilevazione della retrodiffusione Raman nella instrument box

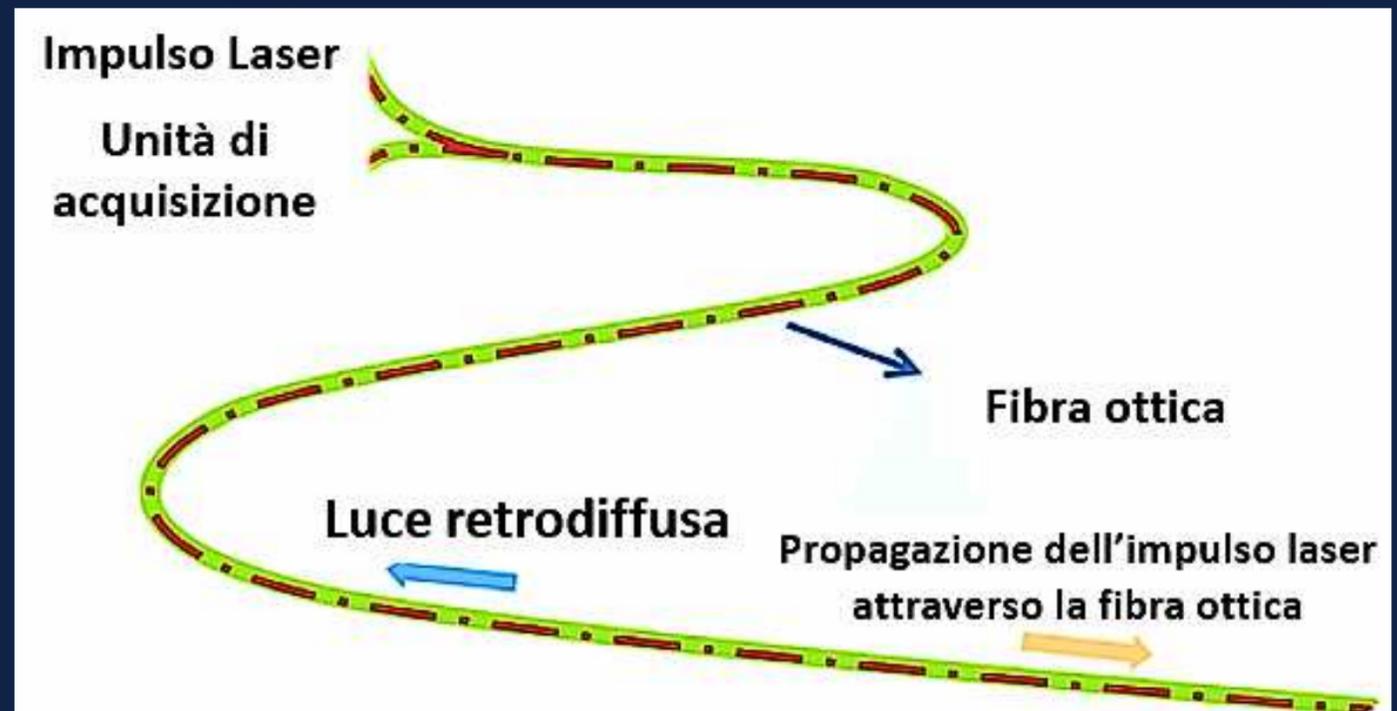
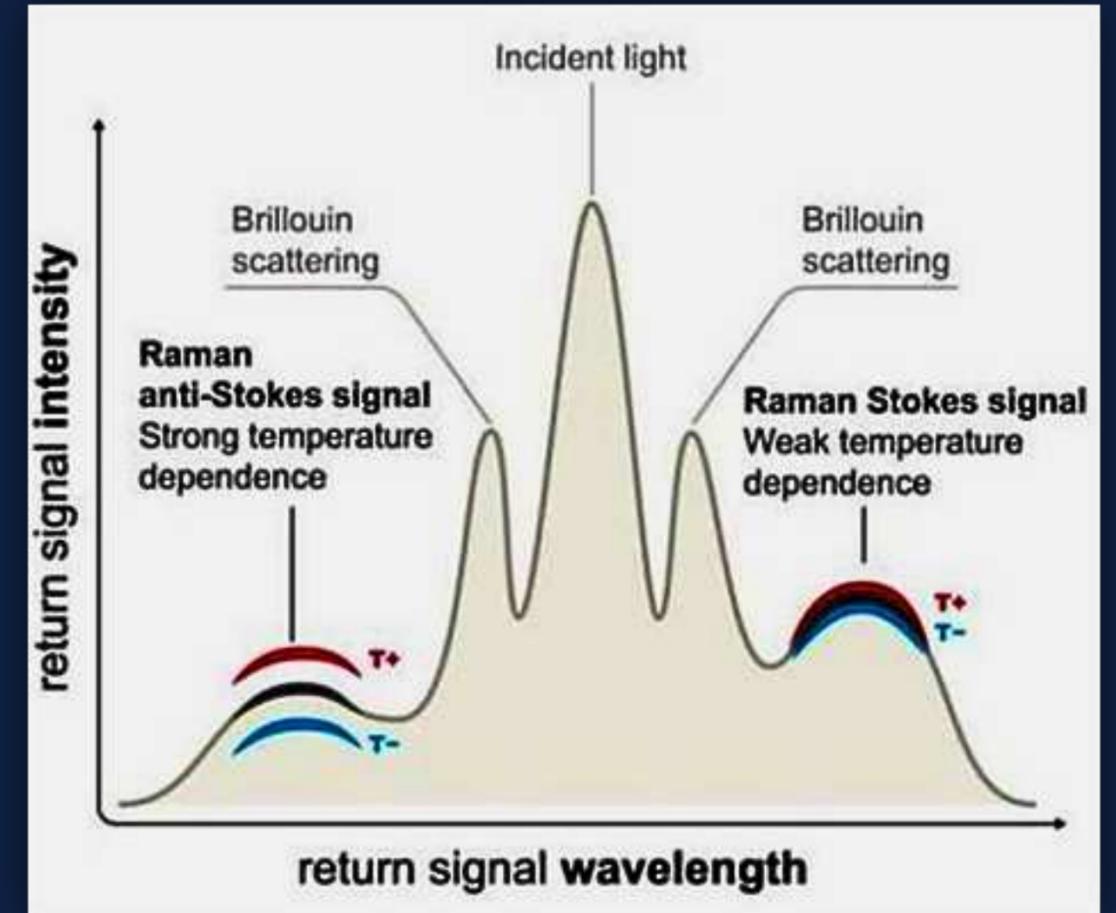
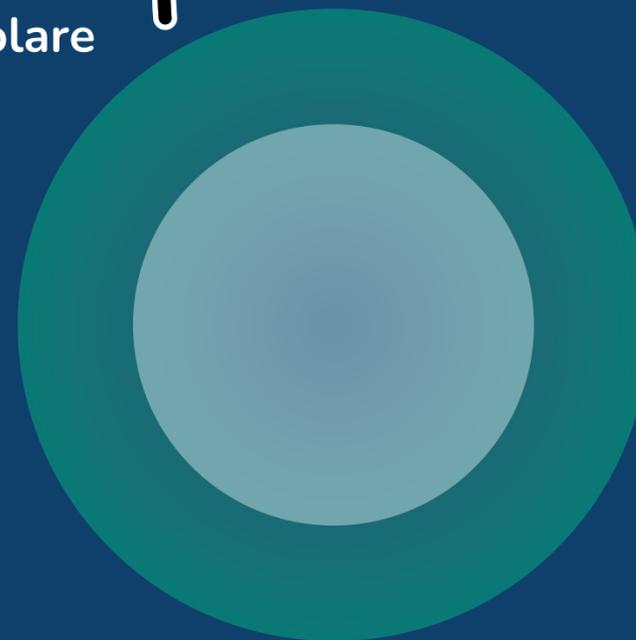
2

Valutazione della T nel punto della retrodiffusione e rappresentazione della sua variazione nel tempo logaritmico

3

Valutazione della conducibilità termica tramite il modello analitico della sorgente lineare infinita o LSM (Line Source Model)

4



Potenzialità e limiti del DTS



Identifica contrasti verticali nella conducibilità termica lungo la profondità del foro



Misurazione della T ad intervalli di tempo definiti con passo di campionamento di 0,5m



Altre applicazioni: identifica sistemi di fratturazione, successioni litostratigrafiche, livelli acquiferi, ecc...



Sensibilità delle componenti elettroniche di superficie alle condizioni climatiche locali



Possibili errori intrinseci nella rilevazione della temperatura distribuita



Necessità di un'alimentazione elettrica importante per generare la stimolazione termo-elettrica

Area studio



- Nuovo Campus umanistico dell'Università di Padova, «ex-Geriatico/Complesso Beato Pellegrino»
- Ex-Casa dello studente Fusinato



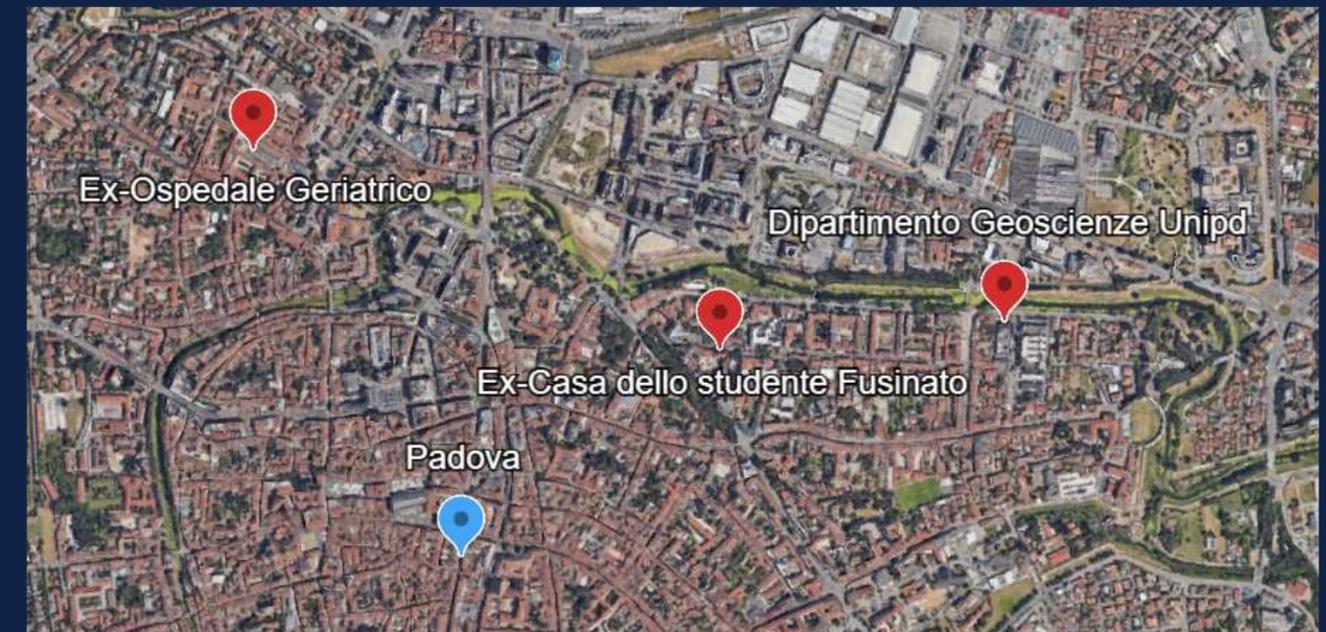
- Contesto geologico: setting di bassa pianura, ambiente alluvionale post-glaciale



- Litologia: depositi fluviali, con granulometria medio-fine, costituita da livelli sabbiosi, siltosi, argillosi e talora ghiaiosi, con possibili livelli organici

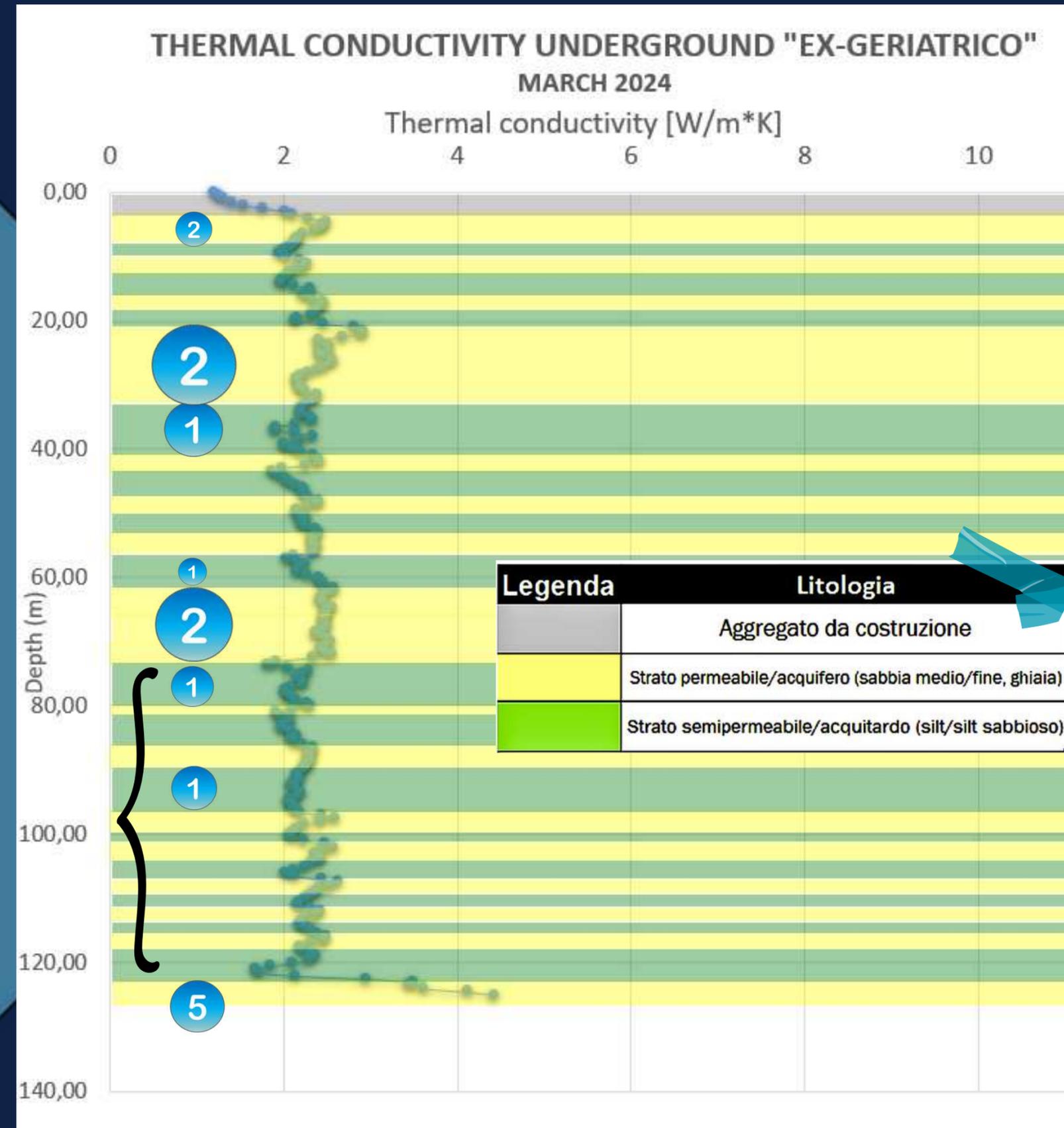


- Frame idrogeologico: sistema multifalde con alternanza di layers permeabili, semipermeabili ed impermeabili



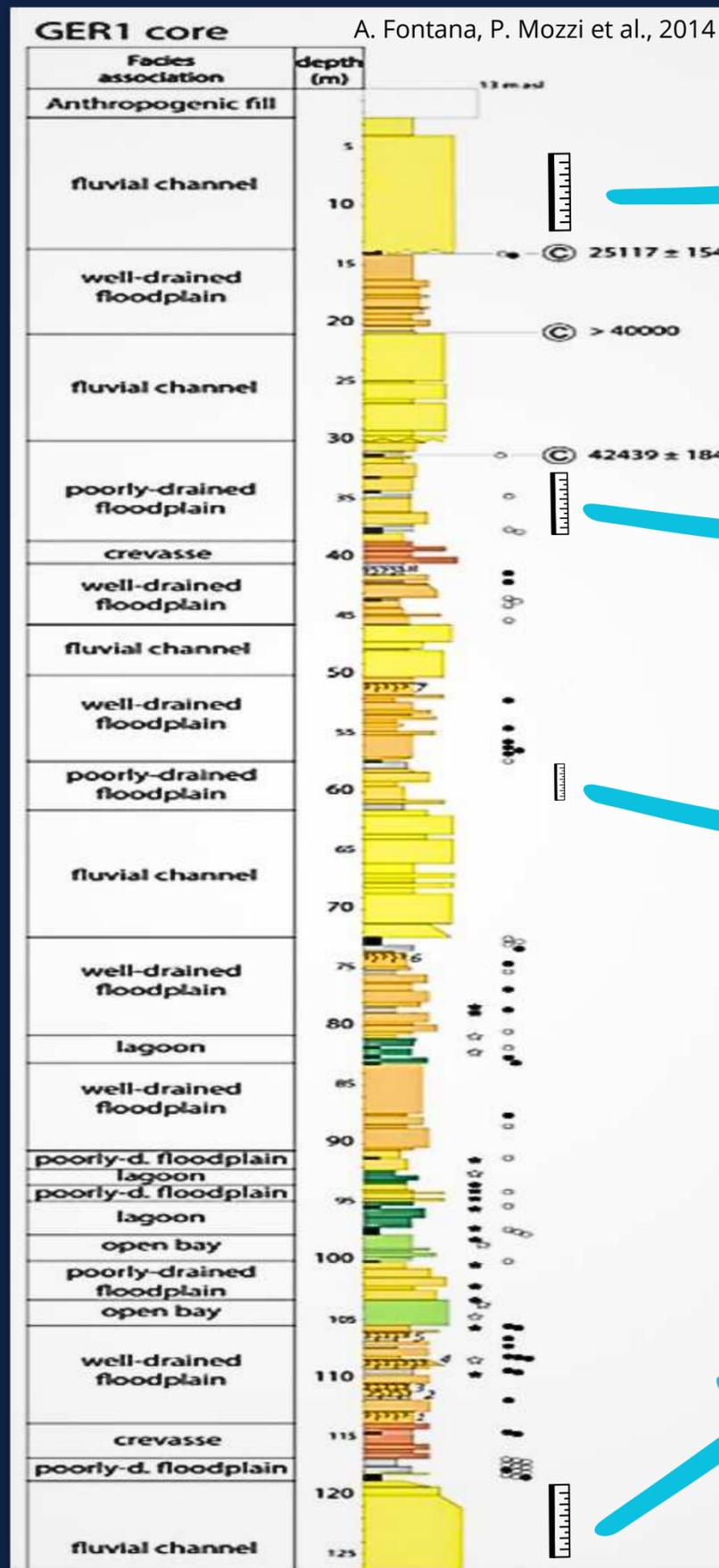
Risultati DTS

- 1 Tra 33-40m, 55-60m, 72-80m e 90-95m di profondità presenza di strati siltosi
- 2 Tra 5-10m, 21-33m e 62-72m di profondità si riconoscono dei livelli sabbiosi
- 3 Tra i 72 e 122m di profondità fitta alternanza di litologie
- 4 Ai valori minori di conducibilità termica spesso corrispondono degli orizzonti con presenza di sostanza organica
- 5 Corpo ghiaioso a 122m di profondità che ospita un acquifero dotato di velocità di flusso significativa



Ricostruzione paleoambientale

A. Fontana, P. Mozzi et al., 2014



Superfici stratigrafiche chiave (superfici erosive fluviali, suoli sepolti, ecc...)

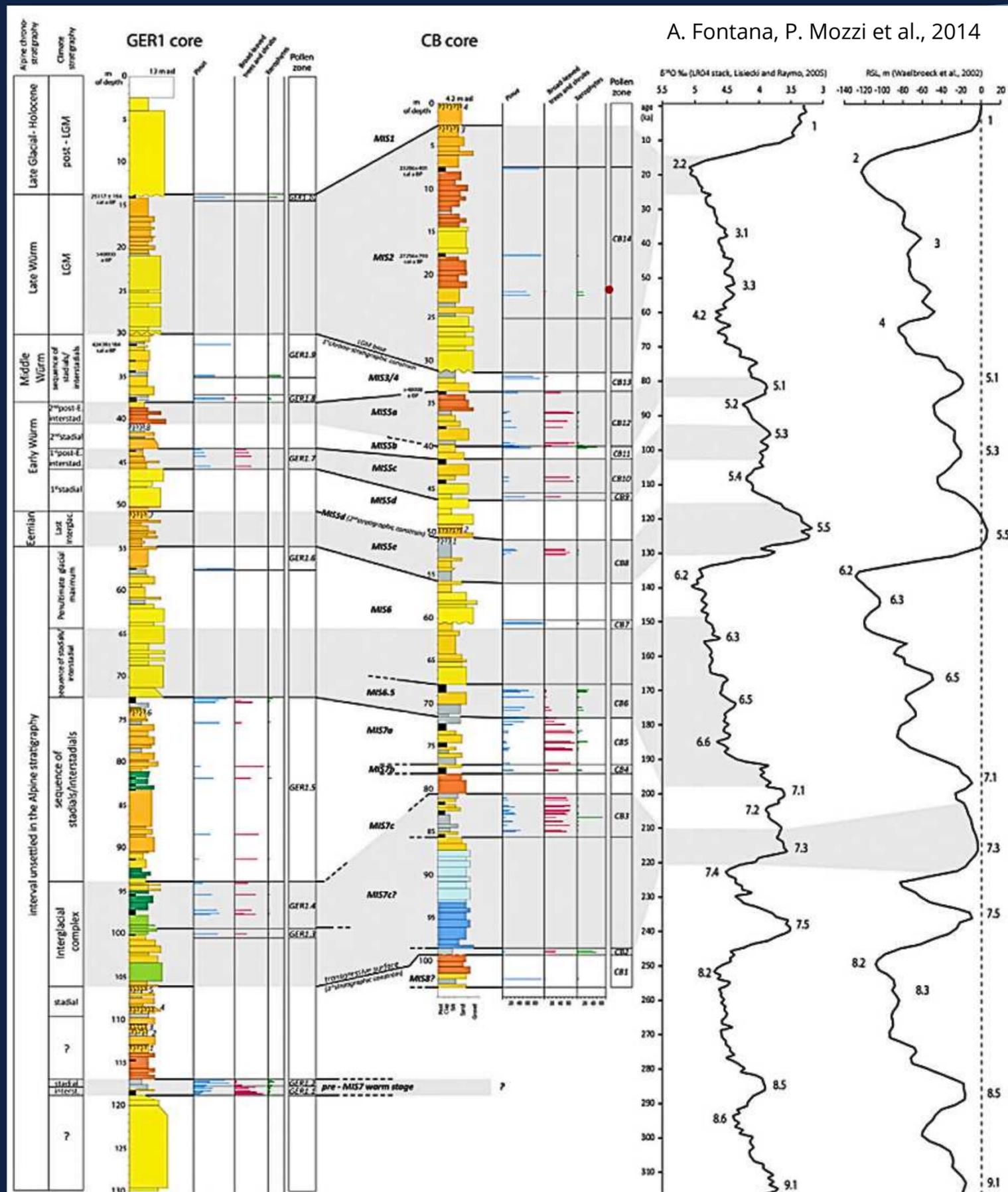
Contenuto in pollini e palinomorfi non pollinici (NPP)

Approccio multidisciplinare

Lithofacies e loro associazioni

Contenuto macro- e micro-paleontologico

Datazione radiocarbonio per fissare la cronologia del core



Associazioni di facies

Depositi di canale fluviale:
sabbia medio-grossolana e ghiaia-sabbiosa

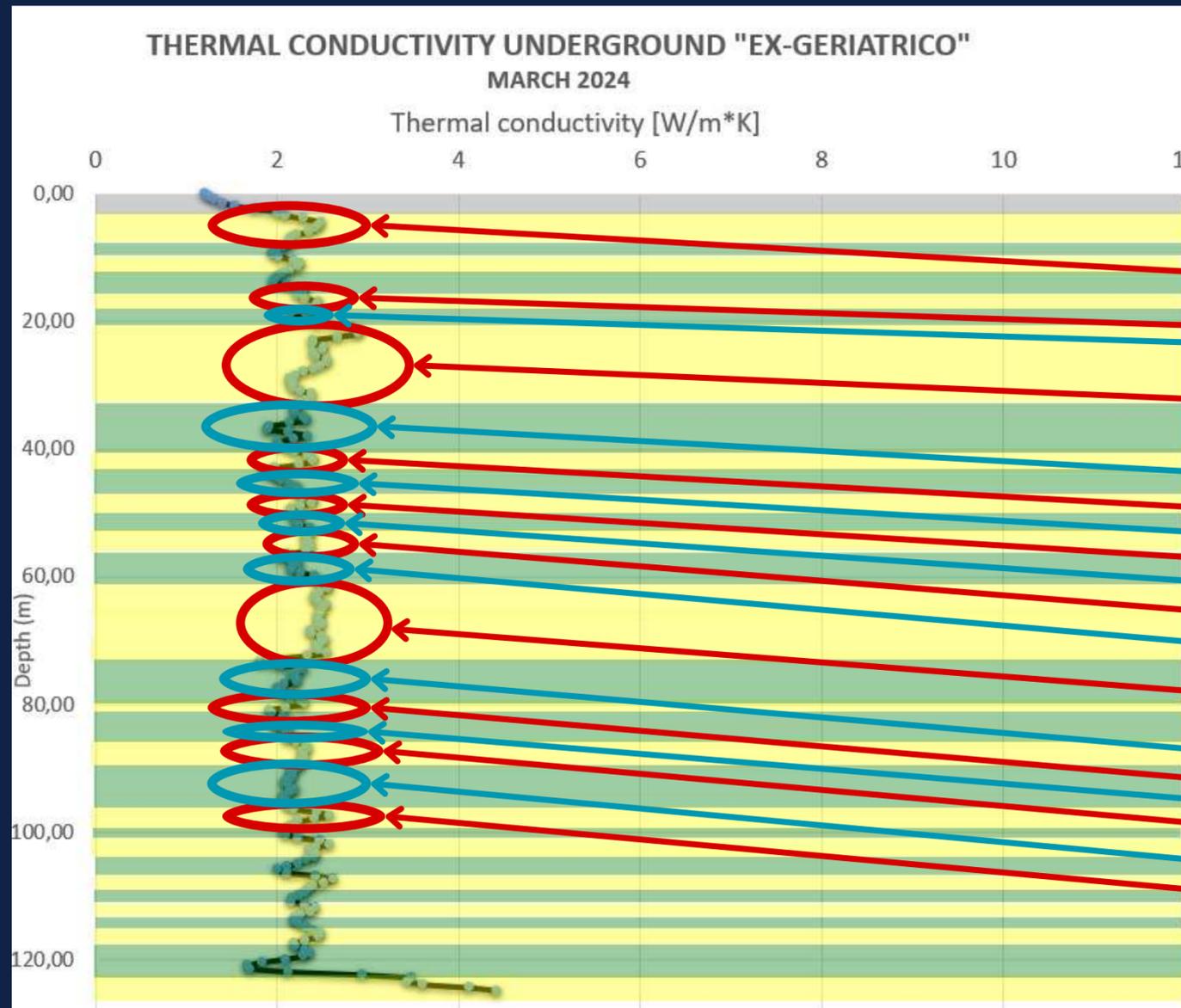
Depositi di crevasse:
da sabbia medio-fine a silt

Depositi di piana alluvionale well drained:
sabbia fine, silt ed argilla

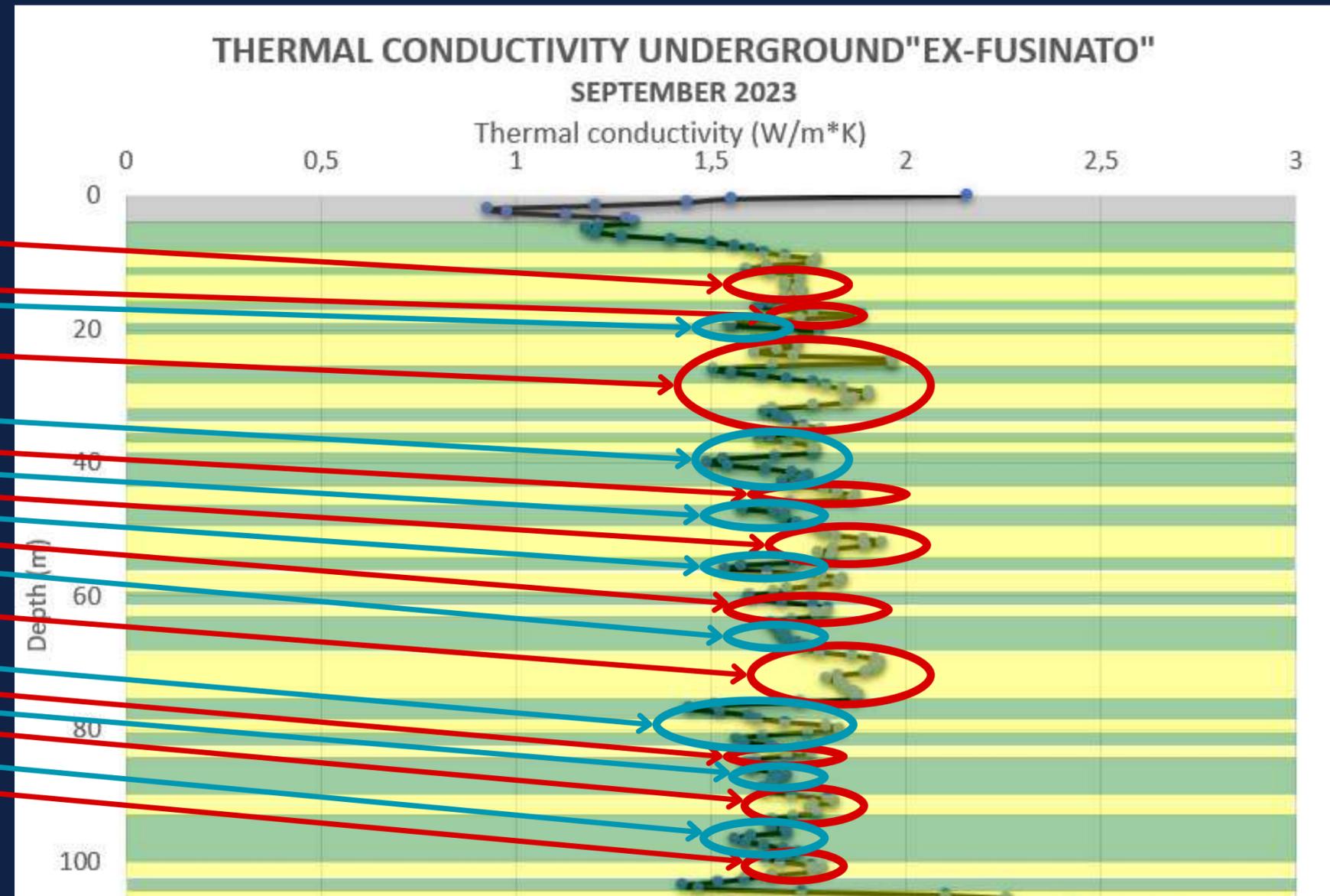
Depositi di piana alluvionale poorly drained:
argilla-argilla siltosa e livelli di torba

Depositi di laguna/baia aperta
argilla/silt ricchi in gusci di molluschi con
intercalazioni sabbiose

Correlazione termostratigrafica



Log conducibilità termica "Ex-Geriatrico"



Log conducibilità termica "Ex-Fusinato"

Conclusioni



In assenza di informazioni dirette derivanti dai carotaggi



Tramite le tecniche di rilevamento distribuito della temperatura è possibile effettuare delle correlazioni termo-stratigrafiche, associando alle proprietà termofisiche valutate le caratteristiche tessiturali, geometriche e composizionali delle litologie indagate



Possibilità di sviluppo future

Espansione significativa della tecnologia DTS in diversi settori



Adozione crescente in ambito geotermico

Espansione in ambito energetico

Industria petrolifera e del gas

Applicazioni ambientali ed idrogeologiche

Infrastrutture civili ed edilizia

Integrazione con altre tecnologie di monitoraggio

Bibliografia

- Galgaro, Antonio, et al. Soil thermal conductivity from early TRT logs using an active hybrid optic fibre system, 2018, <https://doi.org/10.22488/okstate.18.000023>;
- Galgaro A. , Test di risposta termica in sito con fibra ottica attiva (dts-dtrt) e analisi di conduttività termica su campioni incoerenti e litici di sottosuolo, Report tecnico interno, 2021;
- Soldo, Vladimir, et al. “Comparison of Different Methods for Ground Thermal Properties Determination in a Clastic Sedimentary Environment.” Geothermics, vol. 61, 2016, pp. 1–11, <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.12.010>;
- D. Banks. An Introduction to Thermogeology Ground Source Heating and Cooling, 2nd Edition. ISBN 978-0-470-67034-7, 2012;
- Centrale geotermica “Valle Secolo” di Larderello, Italia, <https://www.enelgreenpower.com/it/impianti/operativi/centrale-geotermicalarderello>;
- Alessandro Fontana, Paolo Mozzi, Mauro Marchetti. Alluvial fans and megafans along the southern side of the Alps, Sedimentary Geology, 301, 150- 171. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.09.003>, 2014;
- Liuzzo, Alberto. Heat transfer in borehole heat exchangers and the contribution of groundwater flow. 2013;
- Antenucci, Antonio Marco. Ground and grout thermal properties assessment for borehole heat exchangers. 2018;
- Visentin, Alessandro. Confronto tra metodi DTS e E-TRT per la caratterizzazione termofisica del sottosuolo. 2022;
- Da Re, Riccardo. Dynamic monitoring of thermophysical properties for the subsoils in a geothermal heat pump plant. 2023.



**Grazie per
l'attenzione**