

Barbero D.¹, Bucci A.¹, Chiozzi P.², De Luca D. A.¹, Forno M. G.¹, Gattiglio M.¹, Lasagna M.¹, Verdoya M.²

¹ Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino

² Dipartimento di Scienze della Terra, Ambiente e Vita, Università di Genova

1. INTRODUZIONE

Logs termici di precisione in fori di sonda, associati a indagini geologico-strutturali e idrogeologiche, si rivelano un valido strumento diagnostico sia per il riconoscimento di zone fratturate o interessate da importanti discontinuità tettoniche sepolte, in quanto la circolazione di fluidi in mezzi porosi può significativamente alterarne il regime termico, sia per dedurre la velocità di circolazione dell'acqua nel sottosuolo in differenti ambienti geologici.

A scala metrica e chilometrica, sono spesso utilizzati due modelli teorici di trasporto convettivo del calore: (i) flusso di calore convettivo verticale in strati semiconfinati, come proposto da Bredehoeft & Papadopoulos (1965), (ii) flusso di calore convettivo orizzontale in un acquifero, sviluppato da Bodvarsson (1973) e Ziagos & Blackwell (1986). Questi modelli ben descrivono i meccanismi di trasferimento di massa e di calore rispettivamente nel caso di scorrimento orizzontale di un fluido in un acquifero semiconfinato e confinato. In ammassi rocciosi fratturati, il profilo di temperatura misurata in fori di sonda può mostrare repentine variazioni causate dalla circolazione di fluidi all'interno di zone di frattura localizzate, le cui dimensioni possono variare da pochi metri ad alcune centinaia di metri. Sebbene siano stati osservati in molti pozzi, fino a oggi pochi lavori hanno studiato queste anomalie di temperatura a causa della loro valenza molto locale ed anche perché, per la loro valutazione è richiesto l'utilizzo di strumenti ad alta risoluzione e un passo di campionamento molto ravvicinato.

In questo lavoro vengono presentate le misure di temperatura eseguite in un piezometro (S20) ubicato entro (perforato presso) la cava di gesso di Moncucco Torinese, in corrispondenza al tratto (nella parte) più settentrionale di un'importante fascia di discontinuità tettonica, la Zona di Deformazione del Torrente Traversola (ZDTT). Questa struttura, collocata nel settore centrale dell'area collinare piemontese, (che) è responsabile della traslazione (sollevamento) differenziale dell'Altopiano di Poirino (240-325 m) rispetto ai Rilievi dell'Astigiano (rilievi collinari) (130-330 m) (Fig. 1A) (Gattiglio et al., 2015). Lo studio ha consentito di elaborare un modello geologico-strutturale e idrogeologico concettuale (Fig. 1B) e di trasporto di calore per avvezione, oltre che ricavare utili informazioni quantitative sulla velocità del flusso di fluidi nell'area interessata da questa dislocazione tettonica (Barbero, 2017).

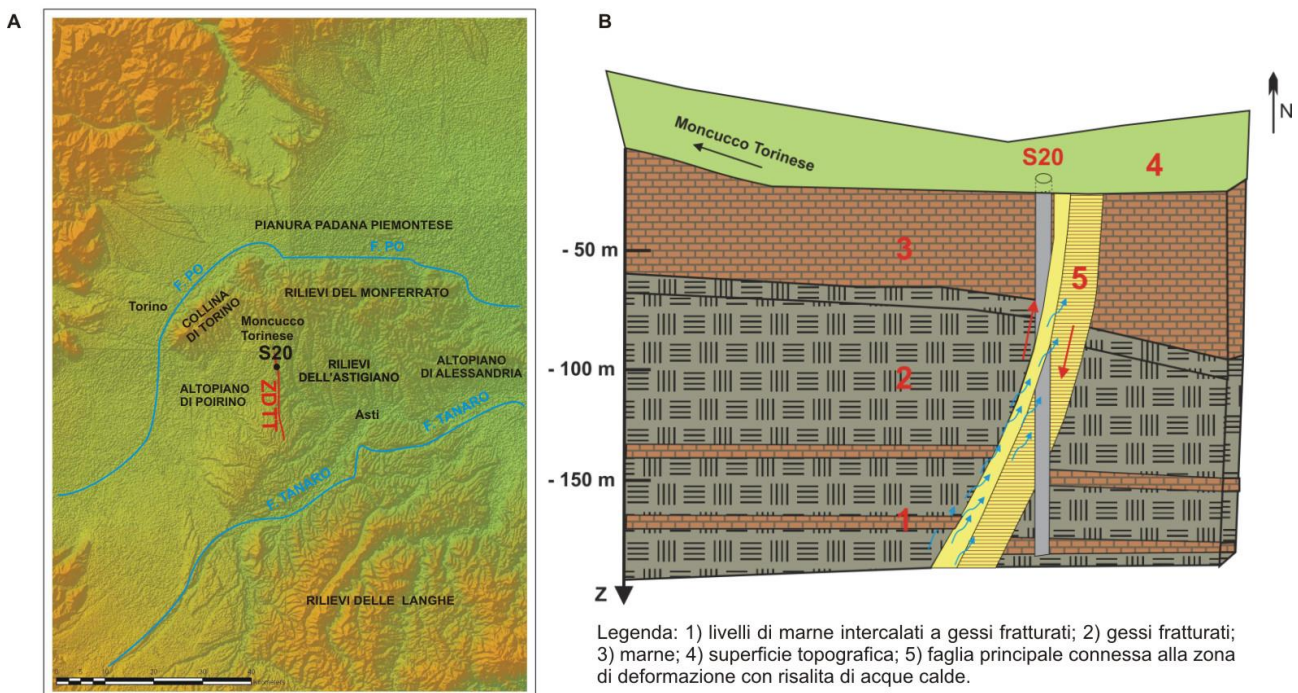
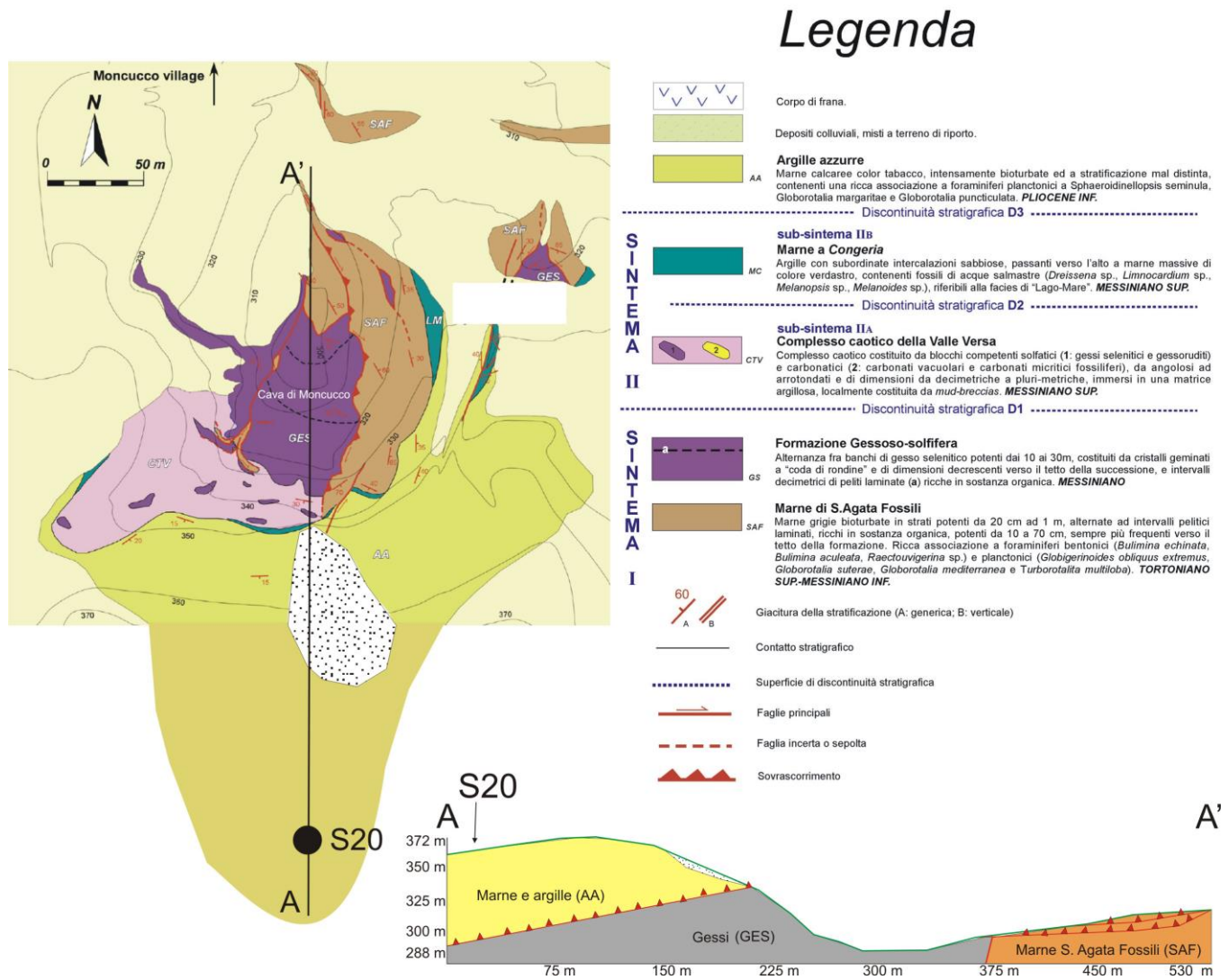


Fig. 1 (A) Localizzazione della Zona di Deformazione del Torrente Traversola (ZDTT) entro i rilievi collinari piemontesi, al limite tra Altopiano di Poirino e Rilievi dell'Astigiano, e del piezometro (foro di sonda) S20 utilizzato per le misure termometriche. (A). (B) modello geologico-strutturale e idrogeologico concettuale del sottosuolo al margine (N) settentrionale della ZDTT (B): 1) livelli di marne... nella legenda eviterei di parlare di acque calde!!

2. ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

Nell'area in cui è stato perforato il pozzo, la successione stratigrafica è rappresentata dal basso verso l'alto da sedimenti evaporitici con una copertura rappresentata da gessi risedimentati passati a sedimenti argilloso-marnosi continentali riferibili alle facies di "lago-mare" (Irace, 2004), sui quali poggiano sedimenti argillosi (prevalentemente incoerenti),

connessi a un ambiente marino (in genere indicati come Argille Azzurre), riferibili allo Zancleano. In tale contesto si sviluppa la Zona di Deformazione del T. Traversola (Gattiglio et al., 2015) con associate strutture fragili minori, che sarebbe responsabile della deformazione dell'intera successione (Fig. 2A, B). Morfologicamente la ZDTT corrisponde a un'evidente scarpata, con un'altezza di un centinaio di metri, ad andamento rettilineo e lunghezza di circa 30 km, che coinvolge prevalentemente la successione villafranchiana (Forno et al., 2015). Recenti studi morfologici, stratigrafici, micro-paleontologici, strutturali e geofisici hanno meglio evidenziato come la ZDTT sia strutturalmente organizzata in numerose faglie (sub-verticali) subverticali ad andamento N-S, caratterizzate essenzialmente da trascorrenza destra. L'estremità settentrionale della struttura, dove è ubicata la cava di Moncucco Torinese (Fig. 1) coinvolge i sedimenti Messiniani (Fig. 2).



Toglierei la carta geologica dove non è rappresentata la ZDTT e realizzerei un profilo E-W

Fig. 2 – Carta geologica della cava di gesso di Moncucco Torinese (la Trace, 2004, modificata) con la localizzazione del pozzo S20 e sezione geologica raffigurante i principali corpi geologici A-A'. - Profilo geologico con andamento E-W realizzato in corrispondenza al piezometro S20 utilizzato per le misure termometriche.

3. INTERPRETAZIONE DEL PROFILO TERMICO

Il piezometro (pozzo) attraversa 66 m di marne e limi argillosi posti al sopra uno strato di gessi fratturati di spessore di circa 100 m per svilupparsi poi fino alla profondità di 178 m. Le misure di temperatura sono state eseguite ogni 2 m a partire dalla profondità di 50 m, dove si colloca il livello della falda, fino a raggiungere i 100 m, profondità massima raggiungibile dalla sonda dotata di una termoresistenza al platino (Pt100) con una sensibilità di 0.01 °C (Pasquale et al., 2017).

Il profilo di temperatura mostra un gradiente termico quasi nullo nella parte più superficiale, fino al contatto tra le marne e i gessi, poi il gradiente assume un andamento lineare con un valore di circa 16 mK m⁻¹ fino alla profondità di

circa 80 m (Fig. 3A). Sotto questa profondità, fino a circa 100 m il profilo di temperatura mostra un'evidente concavità allontanandosi dall'andamento lineare, indicativa di una circolazione d'acqua più calda in risalita lungo la zona di frattura. Questa anomalia termica è stata interpretata come indicativa di una circolazione d'acqua con maggiore temperatura (specificherei la temperatura) (più calda) in risalita lungo una frattura riferibile alla ZDTT (Fig. 1B). Si può ipotizzare che il sistema di faglie, estendendosi in profondità, entri in contatto con un acquifero profondo contenente acque sotterranee leggermente più calde. Per ricavare informazioni quantitative sulla velocità del flusso d'acqua all'interno della zona fratturata, è stata utilizzata la soluzione analitica proposta da Ge (1998) (Fig. 3C e D):

$$\frac{T - T_t}{T_b - T_t} = \frac{z}{L} + \frac{\delta}{2} \left(\frac{z}{L} - 1 \right) \frac{z}{L} \quad (1)$$

dove z è la profondità, L è lo spessore della zona fratturata lungo la direzione verticale, T_t e T_b sono le temperature alla superficie e alla base della zona fratturata, rispettivamente. La quantità δ è data dal prodotto tra $\sin(\omega)$ e α , dove ω è l'inclinazione media della zona di frattura rispetto al piano orizzontale e $\alpha = (\rho c \nu L) / k$ è il numero di Peclet, con ν velocità media del fluido lungo la direzione di frattura, ρ la densità dell'acqua e c il calore specifico. Questo modello si basa su un certo numero di assunzioni, tra cui le più importanti sono: (i) conducibilità termica uniforme; (ii) propagazione del calore conduttivo e convettivo in regime stazionario; (iii) rocce idraulicamente e termicamente omogenee e isotrope, eccetto nella zona di frattura dove la permeabilità della frattura può significativamente incrementare; (iv), il trasferimento di calore convettivo sia lungo la direzione principale della zona di frattura; (v) il calore convettivo che si propaga lungo la zona di frattura è localizzato nello spazio e non altera significativamente il campo di temperatura al di fuori della zona di frattura.

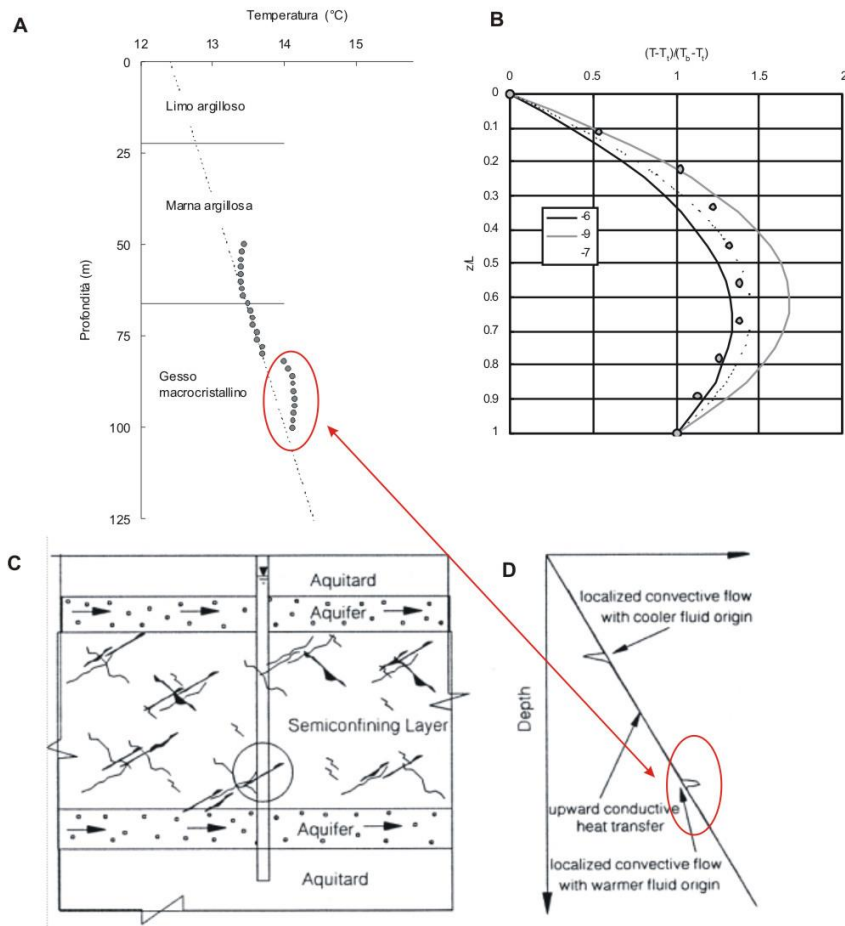


Fig. 3 - Profilo di temperatura nel (pozzo) piezometro S20 con relativa stratigrafia (A); confronto tra le curve predette dal modello di Ge (1998) e i valori di temperatura osservati (cerchi grigi) nel pozzo P1 per differenti valori di δ (vedere testo) (B); Modello idrogeologico (C) (da Ge, 1998) e profilo di temperatura in profondità influenzato da circolazione di acqua di origine più calda (ellisse in colore rosso) in zone di frattura (D) (da Ge, 1998).

Il profilo di temperatura teorico, calcolato mediante l'eq. (1), è stato confrontato con i dati di temperatura osservata nel piezometro (foro di sonda) (Fig. 3B). I parametri assunti per il modello sono: $\omega = 70^\circ$, $T_t = 14.0^\circ\text{C}$, $T_b = 14.10^\circ\text{C}$, $L = 18\text{ m}$, $k = 1.54\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$, $\rho = 1000\text{ kg m}^{-3}$ e $c = 4186\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$. Il modello teorico che meglio approssima i dati osservati si ha per valori di δ compresi tra -9 e -6. Assumendo un'inclinazione della frattura pari a 70° , come suggerito

da dati geologici di superficie, si ha che il numero di Peclet varia tra -7 e -10. Il valore negativo di α suggerisce un flusso di acqua diretto verso l'alto, quindi più caldo, e la velocità lungo la zona di frattura risulta di $1-2 \times 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi di profili di temperatura ad alta precisione registrati in fori di sonda può essere un valido strumento per l'individuazione di zone fratturate o interessate da discontinuità tettoniche sepolte, che possono essere sede di flussi d'acqua sotterranea localizzata. L'anomalia dei dati di temperatura registrata nel **piezometro (foro di sonda)**, ubicato in corrispondenza all'area di cava di Moncucco Torinese, alla profondità compresa tra 80 e 100 m, è ben modellata considerando una zona di frattura attraverso la quale fluidi **a maggiore temperatura (caldi)** possono risalire verso la superficie.

(La presenza di acque calde potrebbe essere geneticamente connessa alla ricarica di un acquifero profondo che si localizzerebbe nei gessi per apporto diretto di acque superficiali e/o meteoriche.) Questa evidenza è in accordo con i risultati dei più recenti studi geologici che dimostrano come proprio a Moncucco la ZDTT sia caratterizzata da significative deformazioni che interessano la successione sedimentaria affiorante (**Gattiglio et al., 20115**). La risalita di fluidi più caldi e la conseguente circolazione idrica profonda conferma, come già ipotizzato, che questa discontinuità tettonica abbia notevole continuità verticale e rappresenti la manifestazione superficiale di strutture profonde (**Forno et al., 2015**). L'applicazione di una soluzione analitica dell'equazione di trasporto di fluidi e calore ha consentito di ricavare che la velocità dei fluidi all'interno dei sedimenti messiniani, interessati dalla dislocazione tettonica, è dell'ordine di 10^{-7} m s^{-1} . Questo valore, è circa tre ordini di grandezza più alto rispetto a quello che si può raggiungere in terreni permeabili per porosità primaria.

BIBLIOGRAFIA

- Bodvarsson, G.; 1973: Temperature inversions in geothermal systems. *Geoexploration*, 11, 141-149.
- Bredehoeft J., Papadopulos I.S. (1965) Rates of vertical groundwater movement estimated from the Earth's thermal profile. *Water Resour. Res.* 1(2), 325-328.
- Forno M.G., Gattiglio M., Comina C., Barbero D., Bertini A., Doglione A., Irace A., Gianotti F., Martinetto E., Mottura A., Sala B.; 2015: Stratigraphic and tectonic notes on the Villafranca d'Asti succession in type-area and Castelnuovo Don Bosco sector (Asti reliefs, Piedmont). *Alpine and Mediterranean Quaternary*, 28(1), 5-27.
- Gattiglio M., Forno, M.G., Comina, C., Doglione A., Violanti, D. and Barbero, D.; 2015: The involving of the Pliocene-Pleistocene succession in the T. Traversola Deformation Zone (NW Italy). *Alpine and Mediterranean Quaternary*, 28(1), 59-70.
- Ge S.; 1998: Estimation of groundwater velocity in localized fracture zones from well temperature profiles. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 84, 93-101.
- Irace A.; 2004: Il Messiniano piemontese: nuovi dati da due aree campione. Tesi di Laurea, Università di Torino, 167 pp.
- Pasquale V., Verdoya M., Chiozzi P.; 2017: *Geothermics Heat Flow in the Lithosphere*. Springer Briefs in Earth Sciences, Second Edition, 144 pp.
- Ziagos J.P., Blackwell D.D.; 1986: A model for the transient temperature effects of horizontal fluid flow in geothermal systems. *J. Volcanol. Geothermal Res.*, 27, 371-397.