

Lirer L., Petrosino P., Armiero V, 2010. *Ital. J. Geosci. (Boll.Soc.Geol.It.)*, Vol. 129, No. 2.
 Lyell C. (1830-33) - *Principles of Geology, Being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface, by Reference to Causes Now in Operation.* John Murray, London.
 Morhange C., Bourcier M., Laborel J., Gialanella C., Goiran J.P., Crimaco L. (1999) - New data on historical relative sea level movements in Pozzuoli, Phlaegrean Fields, Southern Italy. *Phys. Chem. Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 24.
 Parascandola A. 1983. *I fenomeni bradisismici del Serapeo di Pozzuoli*; *Acta Neapolitana* Guida editore.
 M. Vitruvio Pollione 1990. *De Architectura*. Edizione studio Tesi.

MISURE TERMICHE DI PRECISIONE: UNO STRUMENTO PER LA VALUTAZIONE DEL FLUSSO D'ACQUA SOTTERRANEA

D. Barbero¹, P. Chiozzi², D.A. De Luca¹, M.G. Forno¹, M. Lasagna¹, L. Magnea³, M. Verdoya²

¹ *Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino*

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

³ *Dipartimento di Fisica, Università di Torino*

Introduzione. La conoscenza della distribuzione della temperatura nel sottosuolo attraverso misure termiche di precisione rappresenta un'informazione essenziale per la caratterizzazione geotermica di un'area, anche nell'ottica della pianificazione di impianti geotermici che sfruttino risorse sia ad alta che a bassa entalpia. Queste misure, in genere basate sull'assunzione di un regime termico puramente conduttivo, vanno ad integrare eventuali conoscenze delle proprietà termo-fisiche del sottosuolo spesso determinate attraverso prove di laboratorio.

L'analisi delle temperature sotterranee consente di ricavare importanti parametri come il flusso di calore e il gradiente geotermico. Tuttavia, in presenza di flusso idraulico, il regime termico delle formazioni permeabili presenta caratteristiche ben distinguibili (Drury and Jessop 1982; Haenel *et al.*, 1988; Jessop 1990; Reiter, 2001; Pasquale *et al.*, 2014). I movimenti dell'acqua sotterranea, che possono avvenire in sistemi di frattura o in mezzi porosi, influenzano in maniera più o meno marcata i profili di temperatura registrati, sulla base delle caratteristiche termo-idrauliche del sottosuolo [per una descrizione più ampia si veda Anderson (2005)].

In questo lavoro viene presentata una metodologia geotermica per lo studio delle caratteristiche del flusso d'acqua sotterranea. Questa metodologia si basa sullo studio della temperatura registrata in foro e utilizza modelli analitici interpretativi di trasporto di calore per avvezione in orizzonti permeabili. Viene messo in evidenza come lo studio dei profili termici risulti uno strumento per la stima quali-quantitativa della velocità di flusso della falda, parametro di notevole interesse per studi idrogeologici e per la valutazione di risorse geotermiche a bassa entalpia. Come esempio di applicazione si è scelta la Valle Maggiore, nell'area collinare Piemontese (Rilievi dell'Astigiano), caratterizzata dalla presenza di numerosi pozzi che costituiscono l'unica fonte di approvvigionamento idropotabile di questo settore (Figg. 1a e 1b).

Metodologia di analisi. L'analisi di tipo quantitativo dei processi di trasporto di calore per avvezione può essere effettuata attraverso soluzioni analitiche dell'equazione del trasporto di acqua e di calore. Fatta eccezione per le aree di ricarica o di scarica, nelle soluzioni analitiche occorre tenere in considerazione sia la componente verticale che orizzontale del flusso di falda. In condizioni di regime termico stazionario, in formazioni permeabili con proprietà termiche e idrauliche omogenee, la variazione della temperatura T con la profondità z può essere espressa da (Verdoya *et al.*, 2008)

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \rho_w c_w v_z \frac{\partial T}{\partial z} + \rho_w c_w v_x \Gamma_x \quad (1)$$

dove v_x e v_z rispettivamente le componenti orizzontali (positivo per un flusso freddo) e verticali (positivo per flusso discendente) della velocità di Darcy, ρ_w e c_w la densità e il calore specifico dell'acqua, λ la conducibilità termica e Γ_x il gradiente orizzontale di temperatura.

In aree di fondovalle alluvionale, distanti da aree di ricarica e di scarica degli acquiferi, e in condizioni stazionarie, si può considerare trascurabile la componente verticale della velocità.

Pertanto, integrando due volte Eq. (1) con condizioni al contorno $\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)_{z=0} = \Gamma_{z_0}$ e $T = T_L$ per $z = L$ si ottiene

$$T = T_L - \frac{L}{2} (\alpha \Gamma_x + 2\Gamma_{z_0}) + \Gamma_{z_0} z + \frac{\alpha}{2L} \Gamma_x z^2 \tag{2}$$

dove $\alpha = \rho_w c_w v_x L / \lambda$, L è lo spessore di acquifero investigato, T_L è la temperatura alla base del tratto di acquifero studiato e Γ_{z_0} è il gradiente verticale di temperatura alla profondità $z=0$. Questa soluzione considera Γ_x uniforme, mentre le osservazioni sperimentali evidenziano che il gradiente orizzontale di temperatura può dipendere dalla profondità. Pertanto, assumendo in prima approssimazione che Γ_x cresca linearmente con la profondità, la soluzione è del tipo

$$T = \left[T_L - L\Gamma_{z_0} - \alpha\Gamma_{x_0} \left(\frac{L}{2} + \frac{L^2 D}{6} \right) \right] + \Gamma_{z_0} z + \frac{\alpha}{2L} \Gamma_{x_0} z^2 + \frac{\alpha}{6L} \Gamma_{x_0} D z^3 \tag{3}$$

dove Γ_{x_0} è il gradiente orizzontale di temperatura in corrispondenza del limite superiore dell'acquifero e D (m^{-1}) la variazione Γ_x con la profondità.

In alternativa, Reiter (2001) ha suggerito che l'analisi dei gradienti di temperatura verticale Γ_z osservati in funzione della temperatura e profondità permette di valutare l'effetto termico delle acque sotterranee. Quando prevale la componente orizzontale del flusso, il gradiente diviene funzione lineare della profondità nella forma

$$\Gamma_z = \frac{\alpha \Gamma_x z}{L} + \delta \tag{4}$$

dove δ è la costante di integrazione.

La procedura di analisi dei profili termici è descritta in dettaglio da Verdoya *et al.* (2008) e consiste nell'applicare i modelli analitici di trasferimento di calore per avvezione descritti nelle Eqq. (2-4), valutando, tra le varie soluzioni ottenute, quelle in grado di offrire il miglior accordo con le misure sperimentali di temperatura e di gradiente termico. Dal punto di vista statistico, diversi modelli possono offrire buoni risultati, ma possono dare indicazioni discordanti in termini di direzione di flusso e temperatura dell'acquifero, che si riflettono nel segno delle componenti della velocità di Darcy.

La Tab. 1 riporta i modelli in forma semplificata in modo da rendere più agevole la procedura di ottimizzazione. I coefficienti dei singoli modelli possono essere ottenuti con il metodo dei minimi quadrati. I coefficienti contengono informazioni sulle caratteristiche termiche e idrauliche delle formazioni attraversate dai pozzi. Il calcolo della componente orizzontale della velocità di Darcy richiede la stima del gradiente di temperatura orizzontale.

Tab. 1 - Modelli ed equazioni in forma semplificata di distribuzione verticale della temperatura in regime avvertivo con flusso orizzontale. Le equazioni sorgenti, A- Eq. (2), B- Eq. (3) e C- Eq. (4), rispettivamente, sono contenute nel testo.

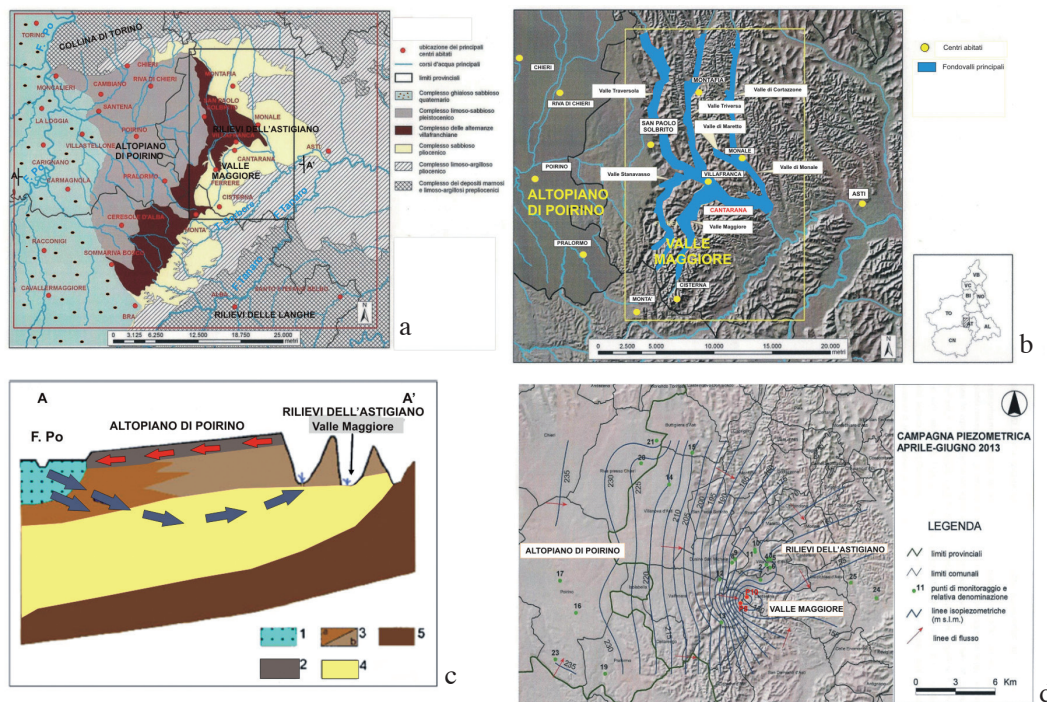
Modello	Equazione	Coefficienti	Componente orizzontale v_x
A	$T = a_1 z^2 + b_1 z + c_1$	$a_1 = \rho_w c_w v_x \Gamma_x / 2\lambda$	$2\lambda a_1 / \Gamma_x c_w \rho_w$
B	$T = a_2 z^3 + b_2 z^2 + c_2 z + d_2$	$b_2 = \rho_w c_w v_x \Gamma_x / 2\lambda$	$2\lambda b_2 / \Gamma_x c_w \rho_w$
C	$\Gamma = a_3 z + b_3$	$a_3 = \rho_w c_w v_x \Gamma_x / \lambda$	$\lambda a_3 / \rho c \Gamma_x$

Il coefficienti a_1 , b_2 e a_3 sono esplicitati.

Esempio di applicazione. Area di indagine. Il sito oggetto delle indagini si colloca nel settore centrale dell'area collinare Piemontese, lungo la Valle Maggiore, in Provincia di Asti (Fig. 1a). La Valle Maggiore si sviluppa in prossimità del limite morfologico tra un'area collinare a Est (Rilievi dell'Astigiano, con sviluppo altimetrico compreso tra 130 e 320 m) e un settore di pianura a Ovest (Altopiano di Poirino, con elevazione tra 240 e 325 m). Il sottosuolo dei Rilievi dell'Astigiano appare costituito da una potente successione di sedimenti prevalentemente incoerenti, connessi ad un ambiente deposizionale marino, deltizio e fluviale. L'intera successione sedimentaria è interessata dalla sinclinale di Asti, un'ampia piega che si sviluppa su scala regionale con prevalente orientazione assiale E-W (Carraro, 1996; Boano e Forno, 1999).

Recenti indagini (Doglione *et al.*, 2011; Forno *et al.*, 2014) hanno messo in evidenza la presenza di una struttura di tipo fragile a carattere regionale, denominata Zona di deformazione del T. Traversola, che ha come espressione morfologica una evidente scarpata, con altezza fino a un centinaio di metri e lunghezza di circa 30 km, che separa nettamente l'Altopiano di Poirino dai Rilievi dell'Astigiano. Tale struttura ha un andamento rettilineo in pianta e appare costituita da più superfici subverticali con direzione N-S, caratterizzate da trascorrenza destra.

La Valle Maggiore è modellata nelle "Sabbie di Asti", corrispondenti a sabbie fini di colore giallastro con stratificazione piano-parallela, deposte in ambiente marino litorale e riferibili al Pliocene inferiore (Boni e Casnedi, 1970; Dela Pierre *et al.*, 2003). Al di sopra si sviluppa la successione villafranchiana siltoso-sabbiosa dell'area-tipo, di ambiente deltizio e fluviale, costituita da due complessi sedimentari sovrapposti tra loro discordanti, con spessore complessivo di circa 100 m (Carraro, 1996; Boano e Forno, 1999) (Fig. 1a). Il Complesso Inferiore, di ambiente deltizio ed età pliocenica media, è formato nella parte basale da sabbie grossolane



(Unità di Ferrere), caratterizzate da stratificazione incrociata concava e locali intercalazioni siltose. Nella parte media e superiore, questo complesso è invece formato da ripetute alternanze di silt, con laminazione piano-parallela, e sabbie fini, con stratificazione incrociata concava (Unità di San Martino). Il Complesso Superiore, di ambiente fluviale ed età pleistocenica inferiore, è formato nella parte basale da sabbie e sabbie ghiaiose con stratificazione incrociata concava (Unità di Cascina Gherba) e nella parte superiore da silt argillosi privi di stratificazione, estremamente pedogenizzati (Unità di Maretto). Al di sopra della successione villafranchiana si sviluppa una copertura continua di depositi fluviali rappresentati da silt, con subordinate sabbie e ghiaie, con spessore di alcune decine di metri, riferibili al Pleistocene medio e superiore. Tali depositi sono connessi ad antichi tracciati dei fiumi Po e Tanaro e costituiscono nell'Altopiano di Poirino una successione continua e nei Rilievi dell'Astigiano una successione terrazzata che si sviluppa a quote variabili alla sommità delle dorsali collinari (Forno, 1982).

L'area è drenata da corsi d'acqua a carattere per lo più torrentizio tributari del F. Tanaro, e in particolare dal Rio Maggiore e R. Stanavasso, drenanti verso NNE, e dal T. Traversola e T. Triversa, drenanti verso SSE (Fig. 1b).

Nell'area di Cantarana si rinviene unicamente un acquifero multifalda a permeabilità media, ospitato nel "Complesso sabbioso pliocenico", rappresentato dalle Sabbie di Asti e dai sovrastanti depositi dell'Unità di Ferrere, e nel "Complesso delle alternanze villafranchiane", corrispondenti ai sedimenti villafranchiani dell'Unità di San Martino.

Tale acquifero, prevalentemente alimentato dalla pianura del F. Po e drenante verso E (Beretta *et al.*, 1999; De Luca *et al.*, 2011), possiede localmente caratteristiche artesiane raggiungendo nell'area di Cantarana un livello piezometrico di circa 6 metri al di sopra del piano campagna (Fig. 1c).

Nell'Altopiano di Poirino invece, al di sopra dell'acquifero multifalda sopra descritto, si sviluppa inoltre un acquifero superficiale a permeabilità media ospitato nei depositi fluviali siltoso-ghiaiosi terrazzati (Bortolami *et al.*, 1989; De Luca *et al.*, 2011; Lasagna *et al.*, 2011) (Fig. 1c). Quest'ultimo, alimentato da acque meteoriche e superficiali e drenante verso W, appare fortemente influenzato dalla topografia.

Una recente campagna piezometrica (aprile-giugno 2013) svolta nell'area di Cantarana ha evidenziato che il flusso della falda, diretto da ovest verso est, mostra un pronunciato cono di depressione a causa del sensibile prelievo (Fig. 1d). Nell'area d'indagine il gradiente idraulico della falda raggiunge un valore medio di circa 2.5% a causa della sensibile depressione della falda connessa allo sfruttamento idropotabile.

Registrazioni termometriche. Nell'area in esame sono presenti 41 pozzi acquedottistici (di cui 37 attivi), concentrati su una superficie di circa 3 km². Le misure termometriche sono state eseguite nel luglio 2014 in 2 pozzi non attivi (P8 e P10) che si collocano proprio all'interno del cono di depressione (Fig. 1d). I pozzi, con diametro medio di circa 300 mm e una profondità di 110 metri, sono dotati di un sensore per la registrazione del livello piezometrico che consente il monitoraggio in continuo della falda. Il pozzo P8 si colloca a 171 m s.l.m. e ha soggiacenza di circa 38 m dal p.c. mentre il pozzo P10 è ubicato a 180 m s.l.m. e mostra una soggiacenza di 24 m dal p.c. La distanza tra i pozzi è di 500 m. Essi captano prevalentemente le falde artesiane presenti nei livelli sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi della formazione delle Sabbie di Asti che, in corrispondenza del campo pozzi della Valle Maggiore, mostra uno spessore complessivo di circa 200 m.

L'assetto litostratigrafico è stato dedotto da dati disponibili per un pozzo limitrofo, considerato rappresentativo del contesto geologico locale. Il sottosuolo è caratterizzato da un'alternanza regolare di livelli sabbioso-ghiaiosi intercalati a livelli da limoso-argillosi che costituiscono un tipico acquifero multistrato. Nell'analisi è stato assunto che questo acquifero si comporti come un unico strato dal punto di vista termo-idraulico.

Le misure di temperatura sono state eseguite a intervalli di profondità di 2.5 m, mediante un sensore di temperatura di alta precisione, costituito da una resistenza al platino con una sensibilità di 0.01 °C. La Fig. 2 riporta i valori di temperatura registrati nei pozzi e i gradienti

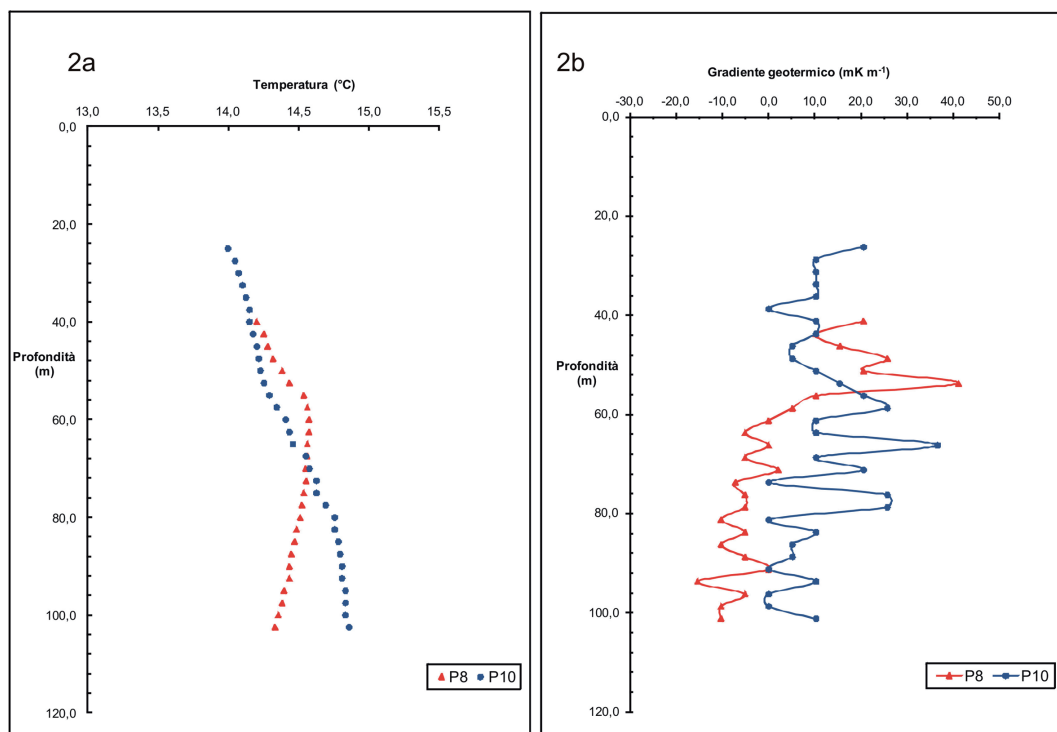


Fig. 2 – Dati termici osservati nei pozzi P8 e P10: valori di temperatura (a) e di gradiente geotermico (b) in funzione della profondità z.

termici. L’analisi qualitativa delle misure consente di evidenziare nei profili di temperatura e di gradiente termico andamenti riconducibili a movimenti di acqua di falda. Infatti, il trasporto di calore per avvezione connesso alla presenza di flusso di acqua sotterranea, provoca delle deviazioni dall’andamento lineare del profilo termico che si avrebbe in regime puramente conduttivo. Un profilo termico concavo è da mettere in relazione a un flusso d’acqua verso l’alto o con prevalente componente orizzontale, in un acquifero relativamente più caldo, mentre un profilo termico convesso è associabile a un movimento d’acqua verso il basso o con prevalente componente verticale, in un acquifero relativamente più freddo (Pasquale *et al.*, 2010). Sulla base del contesto idrogeologico dell’area, la distribuzione delle temperature nei pozzi investigati è consistente con la generale presenza di un flusso d’acqua orizzontale in un acquifero relativamente più caldo, più evidente in P8 (Fig. 2a). Il pozzo P10 è caratterizzato nel complesso da un gradiente termico positivo, anche se esso tende a diminuire verso il basso. L’andamento è simile in P8, ma il gradiente diviene negativo a partire da 60 m di profondità (Fig. 2b). In entrambi i profili termici le deviazioni dall’andamento lineare riconducibili a un flusso di acqua orizzontale corrispondono agli orizzonti permeabili sabbiosi.

Risultati. Per la determinazione della componente orizzontale della velocità di Darcy, è stato necessario stimare il gradiente termico orizzontale Γ_x e il valore della conducibilità termica. Le misure termiche effettuate mostrano che Γ_x varia tra $2.5 \cdot 10^{-4}$ e $9.5 \cdot 10^{-4} \text{ mK m}^{-1}$, con un valore medio rappresentativo di $4.8 \cdot 10^{-4} \text{ mK m}^{-1}$. Tale valore è in accordo con quello proposto in precedenti studi in aree alluvionali da Reiter (2001). Poiché non sono disponibili campioni dei materiali attraversati dalle perforazioni, la conducibilità termica è stata assunta pari $1.8 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, sulla base di determinazioni di laboratorio per rocce del bacino Padano riportate da Pasquale *et al.* (2014). Inoltre sono stati assunti $\rho_w = 1000 \text{ kg m}^{-3}$ e $c_w = 4187 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

La Tab. 2 presenta i valori della componente orizzontale di velocità di Darcy ricavati

dai coefficienti delle equazioni e i parametri statistici, con livello di confidenza pari al 95%, ottenuti nel processo di ottimizzazione. Il modello B fornisce il miglior accordo statistico tra i dati sperimentali e le curve calcolate, mentre per i modelli A e C la correlazione appare inferiore. La componente orizzontale della velocità v_x calcolata nel pozzo P8 con il modello B è pari a $-2.73 \cdot 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$, (cioè 0.23 m/d) mentre per i modelli A e C si ha un incremento di un ordine di grandezza. Per quest'ultimo modello, la correlazione tra i dati osservati e calcolati risulta più bassa. Benché il gradiente di temperatura sia in principio un valido strumento per l'individuazione e la valutazione quantitativa dei movimenti d'acqua, potrebbe essere affetto da disturbi ascrivibili sia a variazioni di conducibilità termica sia a movimenti convettivi causati dal diametro relativamente grande dei fori.

I risultati per il pozzo P10 indicherebbero velocità di due ordini di grandezza più basse. Ciò appare in contrasto con i risultati del pozzo P8 e con le caratteristiche idrauliche previste per gli acquiferi intercettati. Una possibile spiegazione potrebbe risiedere nel fatto che l'analisi dei dati di temperatura è stata estesa a tutta la sezione del pozzo P10, al disotto del livello dell'acqua, mentre il tratto effettivamente interessato da flusso orizzontale potrebbe essere posto ad una profondità al disotto di 60-70 m. Occorre infatti ricordare che la quota dei due pozzi differisce di una decina di metri e che gli acquiferi investigati sono di tipo artesiani, con salienza al di sopra del p.c. in assenza di pompaggio. Nel pozzo P10 la parte superiore dell'acquifero si potrebbe trovare a partire da una profondità di circa 60 m, che corrisponde all'inizio del tratto di profilo termico maggiormente perturbato da movimenti avvertiti (Fig. 2a). Applicando i modelli A e B a questa sezione di pozzo, si ottengono valori della componente orizzontale della velocità di Darcy di $-4.81 \cdot 10^{-7}$ e $-2.09 \cdot 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$, con coefficienti di correlazione uguali e pari a 0.994.

Occorre infine ricordare che il valore di Γ_x incide sensibilmente sulla determinazione di v_x . Una diminuzione di un ordine di grandezza di Γ_x comporta un pari aumento di v_x . Tuttavia, per questa analisi, il gradiente termico orizzontale è stato dedotto da dati sperimentali osservati nei pozzi investigati. Ciò riduce l'incertezza su tale parametro.

Tab. 2 - Componente orizzontale della velocità di Darcy calcolata dai coefficienti dei modelli analitici (vedere Tab. 1). I parametri statistici SSE (somma dei quadrati residui) e RMSE (scarto quadratico medio) sono dati in °C nei modelli A e B e in mK·m-1 nel modello C. R è il coefficiente di correlazione.

Pozzo	Modello	Coefficienti	SSE	R	RMSE	$v_x \text{ (m·s}^{-1}\text{)}$
P8	A	$a_1 = -3.19 \cdot 10^{-6}$	0.011	0.981	0.022	$-5.71 \cdot 10^{-7}$
	B	$b_2 = -1.52 \cdot 10^{-4}$	0.006	0.989	0.016	$-2.73 \cdot 10^{-6}$
	C	$a_3 = -5.83 \cdot 10^{-6}$	0.0004	0.936	0.004	$-5.22 \cdot 10^{-7}$
P10	A	$a_1 = -1.14 \cdot 10^{-5}$	0.076	0.985	0.051	$-2.04 \cdot 10^{-8}$
	B	$b_2 = 7.29 \cdot 10^{-6}$	0.018	0.997	0.025	$-7.04 \cdot 10^{-9}$
	C	$a_3 = -7.15 \cdot 10^{-5}$	0.0009	0.276	0.005	$-6.40 \cdot 10^{-8}$

Conclusioni. L'analisi di dati termici registrati in foro di sonda rappresenta un valido strumento per il riconoscimento dei flussi di acqua sotterranea. Inoltre, attraverso l'applicazione di soluzioni analitiche, che descrivono il valore atteso di temperatura al variare della profondità in terreni interessati da processi di trasporto di calore per avvezione, è possibile ricavare informazioni quantitative sulla velocità della falda. Questo tipo di informazioni sono essenziali per lo sviluppo di modelli idrogeologici concettuali, in cui si vuole ricostruire la circolazione idrica all'interno di potenziali *reservoirs* geotermici, in una fase preliminare di caratterizzazione. L'applicazione delle tecniche proposte ai dati di temperatura registrati con strumenti ad alta precisione in pozzi per acqua nella Valle Maggiore (Asti), indica la presenza di un acquifero relativamente più caldo, a prevalente scorrimento orizzontale. Il flusso maggiore sembra essere

localizzato a profondità superiori a 60 m, all'interno delle formazioni sabbiose con valori di velocità orizzontali dell'ordine di 10^{-6} - 10^{-7} m s⁻¹.

Bibliografia

- Anderson M.P.; 2005: Heat as a ground water tracer. *Ground Water*, 43 (6), 951–968.
- Beretta G.P., De Luca D.A., Masciocco L., Novo M.; 1999: Conoscenza e protezione dell'acquifero plio-pleistocenico di interesse strategico dell'Astigiano occidentale e tutela del campo acquifero della Valle Maggiore di Cantarana. Atti del 3 Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il millennio. Quaderni di geologia applicata, Pitagora Ed. Bologna.
- Boano P., Forno M.G.; 1999: La successione "villafanchiana" nell'area di Castelnuovo Don Bosco (Asti). *Il Quaternario*, 12 (2), 161-194.
- Boni A. and Casnedi R.; 1970: Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Fogli 69 e 70 "Asti e Alessandria", II^a ed., Serv. Geol. It., Roma.
- Bortolami G., Cavallero E., Forno M.G., Mosso E.; 1989: Studio idrogeologico del bacino di Asti. Caratteristiche e potenzialità degli acquiferi. Atti del Congresso SuoloSottosuolo, Congresso Internazionale di Geoingegneria, Torino, 27-30 settembre 1989, Vol. 1, 431- 440, Lit. Geda, Torino.
- Carraro F. (Ed.); 1996: Revisione del Villafranchiano nell'area-tipo di Villafranca d'Asti. *Il Quaternario (It. Journ. Quatern. Sc.)*, 9 (1): 5–119.
- Dela Pierre F., Piana F., Fioraso G., Boano P., Bicchi E., Forno M. G., Violanti D., Clari P., Polino R., Balestro G. and D'atri A.; 2003: Foglio 157 "Trino" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. APAT, Dipartimento Difesa del Suolo, Roma.
- De Luca D.A., Masciocco L., Ajassa R., Bove A., Castellaro M., Caviglia C., Destefanis E., Forno M.G., Gregorio L., Lasagna M.; 2011: Convenzione tra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli studi di Torino e l'Autorità d'Ambito n° 5 Astigiano Monferrato "Aggiornamento ed approfondimento dello studio delle falde idriche sotterranee di Valle Maggiore (di Cantarana) e di Valle Traversola (San Paolo Solbrito) per la razionalizzazione dei prelievi idropotabili e per la definizione delle aree di salvaguardia". Rapporto finale.
- Doglione A., Forno M.G., Gattiglio M.; 2011: *New morphological, stratigraphic, structural and pedological data on the T. Traversola deformation zone recent evolution (Asti, Piedmont)*. *Il Quaternario*, 24, 101-103.
- Drury MJ, Jessop AM (1982) The effect of fluid filled fractures on the temperature profiles in a borehole. *Geothermics* 11:145–152.
- Forno M.G., Gattiglio M., Comina C., Barbero D., Boano P., Doglione A.; 2014: La franosità lungo la zona di deformazione del T. Traversola. **GEAM, in corso di stampa.**
- Haenel R., Rybach L., Stegena L.; 1988: Fundamentals of geothermics. In: Haenel R., Rybach L., Stegena L. (eds) *Handbook of terrestrial heat-flow density determination*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 9–57.
- Lasagna M., Caviglia C., De Luca D.A., Destefanis E., Forno M.G., Giuliano G., Masciocco L.; 2011: Hydrogeological setting and groundwater safety in an overexploitation situation: the Valle Maggiore context (Piedmont, Italy). In: *Proceeding of VIII Forum Italiano di Scienze della Terra - GEOITALIA 2011, Torino 21-23 Settembre 2011, Epitome Volume 4, 2011*, p 16.
- Pasquale V., Verdoya M., Chiozzi P.; 2010: Darcy velocity and Péclet number analysis from underground thermal data. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, 51, 361-371.
- Pasquale V., Verdoya M., Chiozzi P.; 2014: *Geothermics, heat flow in the lithosphere*. Springer, Heidelberg, 119 pp.
- Reiter M.; 2001: Using precision temperature logs to estimate horizontal and vertical groundwater flow components. *Water Resour. Res.*, 37, 663–674.
- Verdoya M., Pasquale V., Chiozzi P.; 2008: Inferring hydro-geothermal parameters from advectively perturbed thermal logs. *International Journal Earth Sciences*, 97, 333-344.