

Interventi di conservazione e controllo delle falde nel medio corso del Fiume Brenta (Regione Veneto, Italia Settentrionale): primi risultati conseguiti in materia di ricarica dell'acquifero

Groundwater conservation and monitoring activities in the middle Brenta River plain (Veneto Region, Northern Italy): preliminary results about aquifer recharge

Andrea Sottani, Alberto Vielmo

Riassunto: Nel sottosuolo del territorio in cui insiste il medio corso del F. Brenta ha sede un potente acquifero freatico di rilevanza strategica in relazione al fabbisogno idropotabile della regione veneta. Esso è alimentato prevalentemente dalle dispersioni fluviali che, in modo variabile, caratterizzano il tratto d'alveo pedemontano, dallo sbocco in pianura fino a poco oltre l'allineamento Nove di Bassano – Cartigliano (Provincia di Vicenza). Per mitigare gli effetti attesi a seguito di nuovi importanti prelievi acquedottistici, previsti più a sud nell'ambito degli strumenti di programmazione per lo sfruttamento della risorsa idrica di interesse pubblico, è stata avviata una iniziativa di ricarica della falda, tramite l'esecuzione di alcune rampe trasversali stabilizzatrici dell'alveo. I lavori costruttivi, in parte completati, sono sta-

ti preceduti da azioni specifiche di monitoraggio idrogeologico, dedicate alla valutazione dell'efficacia degli interventi di MAR (*Managed Aquifer Recharge*), tramite confronto delle condizioni ante- e post-operam. Grazie allo sviluppo di una metodologia sito-specifica, dedicata alla quantificazione delle portate infiltrate, e dopo i primi anni di controllo del regime geoidrologico in adiacenza all'asta, ad oggi è possibile valutare in modo oggettivo l'entità e l'andamento temporale degli effetti di ricarica connessi con la messa in posa dei manufatti antropici in alveo. Gli esiti preliminari conseguiti con il piano di monitoraggio, da protrarsi sul medio-lungo termine, potranno trovare ulteriore validazione a mezzo di approcci di misura innovativi, basati sull'impiego del parametro temperatura delle acque sotterranee.

Parole chiave: flusso delle acque sotterranee, ricarica della falda, ricarica delle falde in condizioni controllate, monitoraggio.

Keywords: *groundwater flow, groundwater recharge, Managed Aquifer Recharge (MAR), monitoring.*

Abstract: *In the middle Brenta River plain there is a unconfined aquifer that represents an important groundwater resource in Veneto region. In this area the main groundwater recharge factor is related to the stream seepage: the water dispersion from the Brenta river is active with variable intensity from the foothill to the alignment Nove di Bassano - Cartigliano (Province of Vicenza). In order to mitigate the expected groundwater effects, due to future important waterworks withdrawals provided by the regional water resources management plans, an experimental project of Managed Aquifer Recharge has started, by means of the realization of some river transversal ramps. The construction of pilot works, partially completed, were preceded by a specific hydrogeological monitoring program, aimed to the evaluation of the effectiveness of the MAR actions in terms of comparison between pre-and post-operam conditions. Thanks to the development of a site-specific methodology, aimed to the quantification of the artificial infiltration rate, and after some years of monitoring controls of the hydrological and hydrogeological regimes, it is now possible to evaluate the extent and the rate of the recharge effects in groundwater due to ramps realization. The monitoring plan will be continued in the medium-long term. Some innovative approaches, based for example on the use of groundwater temperature measurements as recharge tracer, will help to validate the preliminary results.*

Andrea SOTTANI 
Sinergeo Srl
Contrà del Pozzetto, 4 - 36100, Vicenza
Tel: +39-0444321168, Fax: +39-0444543641
asottani@sinergeo.it

Alberto VIELMO
Veneto Acque Spa
Via Torino, 180 - 30172 Mestre – Venezia
Tel: +39-0415322960 Fax: +39-0415329162

Ricevuto: 09 luglio 2014 / Accettato: 30 luglio 2014
Pubblicato online: 30 settembre 2014

© Associazione Acque Sotterranee 2014

Introduzione

Le previsioni di attingimento idropotabile formulate entro lo Schema del Veneto Centrale (SAVEC) del Modello Strutturale degli Acquedotti del Veneto (MOSAV) prevedono interconnessioni delle reti pubbliche alimentate dalle acque di falda del Medio Brenta con quelle che ad oggi continuano a derivare acque superficiali dai sistemi idrografici dell'Adige e dal Po. L'obiettivo strategico perseguito per fruire di risorse alternative, di migliore qualità rispetto all'attuale ed a costi di produzione inferiori, consiste nel massimizzare gli emungimenti di acque sotterranee pregiate nell'area pedemontana del F. Brenta. In ordine alle verifiche di sostenibilità ambientale, che consentano la conservazione quali-quantitativa della risorsa (Passadore et al., 2012), la Giunta Regionale del Veneto ha dato attuazione a studi idrogeologici inediti, monitoraggi ed interventi per la compensazione dei prelievi di progetto, stimabili in almeno $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$. I controlli sperimentali sono iniziati a partire dai primi mesi del 2007 mentre negli anni successivi (set 2008-apr 2009) sono stati realizzati presso Cartigliano – Nove di Bassano (VI) i lavori di primo stralcio di 2 delle 7 rampe stabilizzatrici del fondo inizialmente previste. Queste opere sono state costruite trasversalmente all'alveo del Brenta, alcuni chilometri a monte rispetto al settore dei prelievi, individuato a Carmignano di Brenta (Fig. 1): tra le altre funzioni, riferibili ad esigenze di sicurezza idraulica del territorio, le rampe rivestono lo scopo di favorire l'innalzamento del letto del fiume per sedimentazione indotta e, se

pur localmente, mitigano lo stato di degrado conseguente a cause antropiche pregresse (Zunica, 1981; Surian e Cisotto, 2007). Tali manufatti dovrebbero concorrere ad un ripristino delle caratteristiche naturali di dispersione idrica nel sottosuolo che, proprio tramite il subalveo ghiaioso (Dal Prà et al., 1976), si manifestano in una consistente alimentazione dell'acquifero non confinato. E' il caso di sottolineare fin d'ora che in questa porzione di alta pianura veneta il sottosuolo è costituito da potenti accumuli di materiali sciolti di origine alluvionale, caratterizzati da una pezzatura prevalentemente grossolana. Le dispersioni fluviali massime sono state stimate anche intorno a $4.0\text{-}5.0 \text{ m}^3/\text{s}$ per km, rappresentando uno dei fattori più importanti per il rimpinguamento delle riserve idriche sotterranee (Dal Prà e Veronese, 1972). Quest'ultime, come è noto, sono ampiamente sfruttate tramite pozzi pubblici e privati per soddisfare il fabbisogno di una popolazione molto numerosa (Rinaldo et al., 2010). In questa memoria si descrivono alcuni dei risultati tecnici principali conseguiti nel primo periodo della sperimentazione pilota, con specifico riferimento agli effetti idrogeologici di ricarica delle falde in condizioni controllate (MAR) attribuibili alla realizzazione ed alla gestione delle rampe di iniziativa regionale. Vengono discussi gli esiti del monitoraggio intrapreso per quantificare la positiva efficacia delle costruzioni idrauliche in argomento nei riguardi del bilancio idrogeologico, indicando al contempo alcune prospettive operative per la continuazione delle azioni di salvaguardia del medio Brenta anche con metodiche innovative.

Materiali e metodi

Gli studi si sono inizialmente articolati in attività geognostiche di campo ed in indagini geotecniche di laboratorio, per la parametrizzazione geologica del sottosuolo e per la posa di piezometri spia in fregio all'alveo del F. Brenta. Nel sito delle ricerche è gestita da oltre 7 anni una rete di sensori ad acquisizione automatica e continua, preposti alla misura di livello e temperatura delle acque superficiali e sotterranee. Il quadro conoscitivo è stato inoltre integrato con rilevazioni dirette di tipo topografico e con rilievi della portata differenziale fluente in alveo in differenti sezioni distribuite da monte verso valle (ARPAV, 2011), oltre che tramite altri approfondimenti della situazione chimico-fisica del comparto saturo. Il set di dati acquisito è stato elaborato nell'ambito di molteplici strumenti di tipo numerico: un primo modello agli elementi finiti (FEM) è stato implementato per simulare gli andamenti piezometrici sperimentali in corrispondenza alla zona di imposta della rampa più settentrionale (S1), presidiata dai piezometri Pz1 e Pz2 e da una stazione idrometrica (Fig. 2). Il codice, basato sulla equazione di Richards, ha consentito di analizzare in regime transitorio i rapporti funzionali intercorrenti tra idrogramma fluviale e piezometria. L'analisi è stata condotta lungo una sezione verticale, ortogonale al flusso del Brenta e di fatto corrispondente al manufatto S1, in condizioni di saturazione variabile dei sedimenti. Gli eventi idraulici considerati sono rispettivamente significativi di condizioni di deflusso e ricarica ante- e post-operam, del tutto commensurabili tra

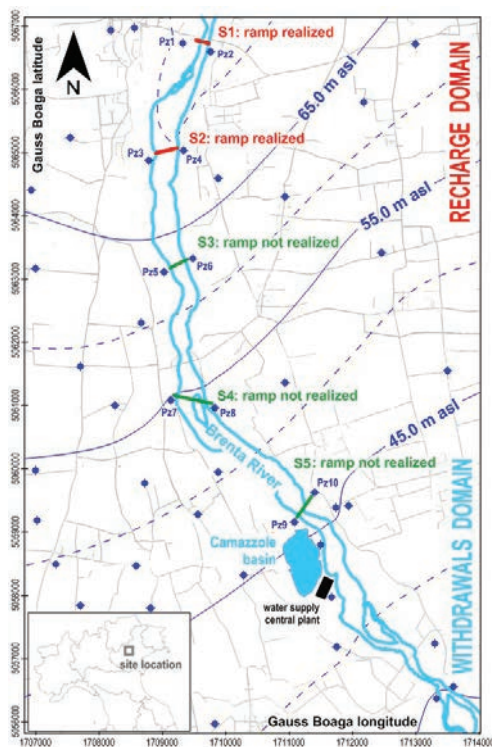


Fig. 1 - Area di studio con campo di flusso regionale della falda (11 mag 2010) e localizzazione dei piezometri, delle rampe realizzate (S1 e S2) e di progetto.

Fig. 1 - Study area with groundwater regional flow (11.05.2010), location of monitoring wells and position of planned and constructed (S1 and S2) ramps.

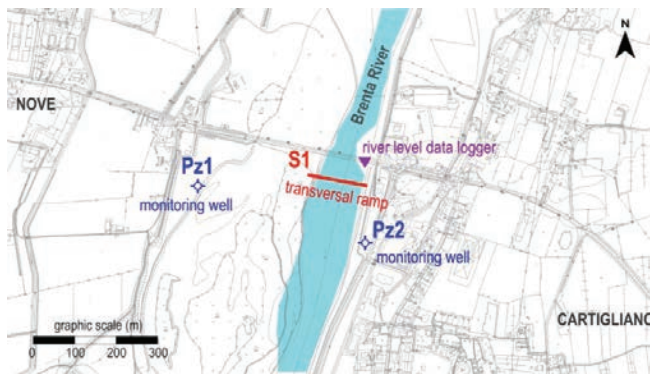


Fig. 2 - Ubicazione dei presidi di monitoraggio attivi presso la rampa trasversale S1.

Fig. 2 - Monitoring wells position near the transverse ramp S1.

di essi dal punto di vista idrologico. A seguire è stata sviluppata una modellazione tridimensionale, impiegando il codice di calcolo Modflow2000. Tale disamina, derivata assumendo condizioni al contorno differenti, in quanto significative di un'area geografica più vasta, ha condotto a risultati del tutto verosimili e convergenti con quelli del FEM. In questo secondo caso la calibrazione del processo si è articolata tramite un'analisi di sensitività, che ha consentito di investigare l'influenza dei parametri idrologici ed idrogeologici nell'ambito del loro naturale intervallo di variabilità. In epoca ancora più recente anche il parametro temperatura è stato utilmente impiegato come tracciante delle fenomenologie di dispersione e di mixing di subalveo (Anderson, 2005; USGS, 2003), in ragione degli elevati gradienti di temperatura che, con periodicità stagionale, marcano proprio quella parte del deflusso fluviale che alimenta la circolazione di falda. Le simulazioni del campo di trasporto termico, ancora riferite alla situazione sito-specifica della soglia settentrionale, hanno messo in evidenza l'importanza e la versatilità di queste misure, assai semplici da realizzare in campo, per la quantificazione degli scambi idrici di ricarica a partire dagli alvei fluviali (Berti et al., 2012).

Discussione dei risultati

L'incremento di portata dispersa a tergo dell'opera trasversale è correlato con l'aumento dell'area bagnata per il deconcentramento della corrente liquida: il fenomeno è visibile soprattutto nelle fasi di magra e, in subordine, di morbida. Gli scenari relativi alle simulazioni idrogeologiche effettuate in transitorio presso la sezione S1 hanno portato a stimare un valore medio equivalente della conducibilità idraulica centrato intorno a $K=1.0-2.0 \cdot 10^{-3}$ m/s. Il dato si pone in buon accordo con le determinazioni svolte in cantiere durante le prove in foro nei sondaggi meccanici. Considerata l'estensione dell'area bagnata a monte del manufatto, l'aumento locale della portata ceduta alla falda per la presenza di S1 è risultato compreso nell'intervallo $0.5-1.0 \text{ m}^3/\text{s}$. Al fenomeno descritto compete giocoforza un allargamento del raggio di influenza associato all'alimentazione fluviale, così come i dati del monitoraggio piezometrico (Fig. 3) e termico (Fig. 4) convalidano. In par-

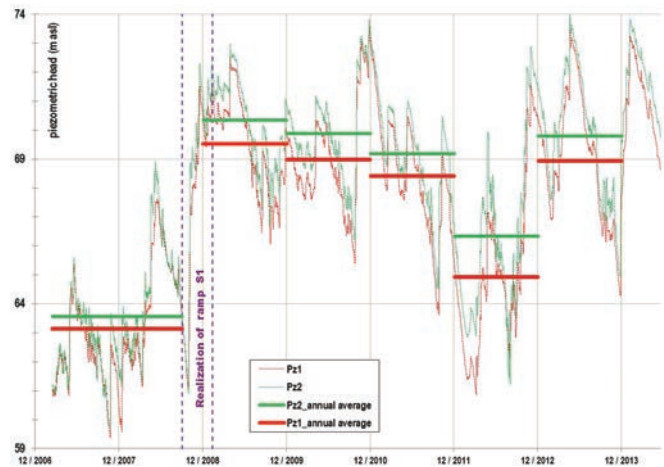


Fig. 3 - Andamento piezometrico pre- e post-operam in corrispondenza ai piezometri della rampa S1.

Fig. 3 - Pre and post-operam groundwater level near the transverse ramp S1.

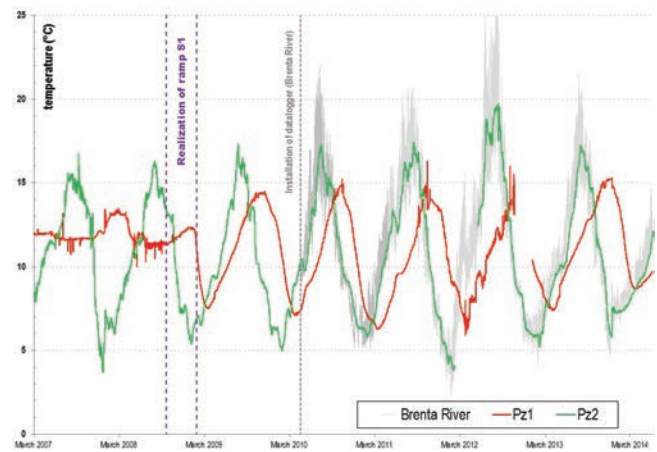


Fig. 4 - Andamento termico pre- e post-operam in corrispondenza ai piezometri della rampa S1.

Fig. 4 - Pre and post-operam groundwater temperature near the transverse ramp S1.

icolare, sotto il profilo termico, è interessante osservare l'andamento del Pz1, che si pone ad una distanza maggiore (oltre 300 m) dall'asse fluviale rispetto a Pz2 (40 m ca.): prima della costruzione della rampa le acque in Pz1 paiono marginalmente interessate dagli scambi di subalveo, cosicché gli effetti si esauriscono entro la distanza che separa il punto d'acqua dalla corrente liquida. Dopo i lavori, la temperatura dell'acqua in Pz1 assume un andamento nuovo, assimilabile a quanto avviene negli altri piezometri più prossimi al fiume. Ciò significa che, se pur modulati in intensità (rispetto a Pz2) e ritardati per la maggiore distanza, i flussi di subalveo risultano attivi a oltre 300 m dall'asse di dispersione.

Alle medesime conclusioni si è pervenuti tramite la modellazione di tipo tridimensionale: circa 1 anno dopo i lavori sul Brenta, si è stimato che la ricarica artificiale indotta dalle rampe S1 e S2 sia infatti da valutarsi complessivamente nel range $1.0-2.0 \text{ m}^3/\text{s}$.



La figura 5 esemplifica le variazioni piezometriche (ante e post-operam) registrate nei piezometri delle 2 rampe realizzate (Pz1 e Pz2 in S1; Pz3 e Pz4 in S2) per confronto con quelli asserviti al controllo del sito S3 (Pz5 e Pz6), posto a valle di S2 e dove i lavori idraulici non sono stati eseguiti.

Fatta eccezione per l'anno 2012, in cui le differenze piezometriche con il quadro prima dei lavori si attenuano per un calo regionalizzato dei livelli conseguente ad una stagione particolarmente secca, mediamente presso i punti di controllo si registrano innalzamenti permanenti della tavola d'acqua di 4.0-6.0 metri, a testimonianza delle mutate condizioni idrostrutturali presso le rampe.

I dati collezionati indicano che solo nel corso del primo anno di esercizio le rampe S1 e S2 hanno reintegrato nei serbatoi sotterranei almeno 30-35 milioni di metri cubi d'acqua, aggiuntivi ai volumi naturalmente dispersi dal fiume (Dal Prà e Veronese, 1972). Negli anni seguenti i volumi incrementali dispersi decrescono leggermente in relazione a fattori di regime e, con ogni probabilità, anche a fenomenologie di intasamento (*clogging*), che a lungo andare possono occludere gli interstizi riducendo la porosità dello strato di corazzamento (*bed armouring*). Al netto dei volumi che l'asta del fiume torna a drenare più a valle (Rinaldo et al, 2010) si deve concludere che i quantitativi idrici dispersi a seguito della realizzazione delle rampe stabilizzatrici rimangono assai rilevanti alla scala di bilancio del bacino.

La calibrazione conclusiva delle stime quantitative è stata perfezionata simulando in regime transitorio gli andamenti termici ai piezometri di controllo (Fig. 6): anche nel corso di tali analisi, riferibile a meccanismi integrati di flusso e trasporto, si sono confermate le risultanze quantitative sopra descritte. La situazione idrogeotermica in cui i dati di temperatura calcolati ai piezometri della rampa S1 aderiscono a quelli effettivamente misurati in campo corrisponde ad uno scenario di calcolo in cui le portate scambiate tra fiume e falda rientrano compiutamente nell'intervallo prima descritto.

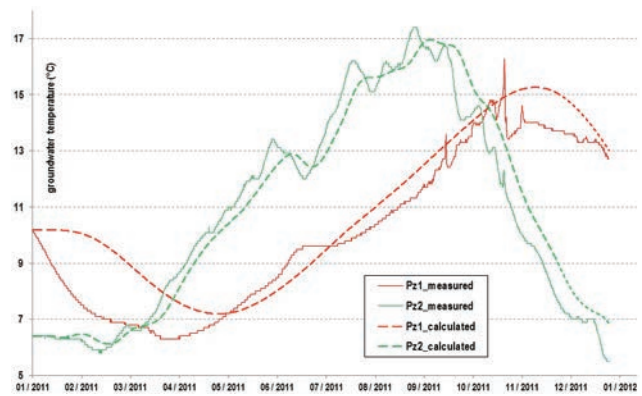


Fig. 6 - Esiti della calibrazione in regime transitorio del modello numerico di flusso e trasporto della temperatura (rampa S1).

Fig. 6 - Calibration results of unsteady state temperature transport and flow model (S1 ramp).

Conclusioni

A fronte del contesto in esame, caratterizzato da peculiarità geomorfologiche vincolanti (*braided system*) e dalla presenza di numerosi fattori che complicano il quadro dei deflussi a pelo libero (i.e. derivazioni e scarichi), è emerso che difficilmente l'applicazione di metodi di quantificazione diretta della portata (i.e. correntometro doppler su sezioni seriate) consente di pervenire ad una stima attendibile del flusso idrico incrementale, disperso a seguito di iniziative di ricarica. Al contrario i calcoli condotti a partire da misure di livello e temperatura delle acque superficiali e sotterranee con l'ausilio di modelli numerici interpretativi, sembrano produrre risultati affetti da minore incertezza sperimentale e quindi sono da considerarsi preferibili rispetto ad approcci tradizionali.

Lo sviluppo delle attività di controllo, da conseguirsi a medio-lungo termine mediante il prosieguo dei monitoraggi idrogeologici di dettaglio, si configura come presidio ambientale fondamentale per assicurare la salvaguardia delle risorse

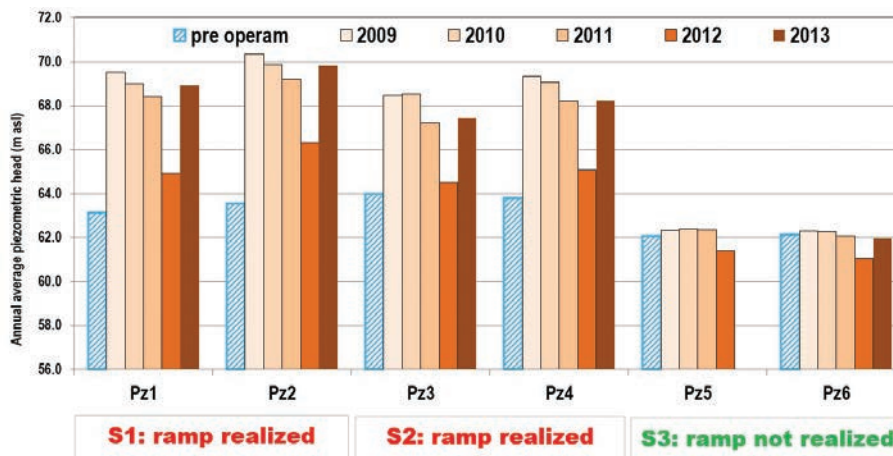


Fig. 5 - Sintesi del quadro piezometrico (valori medi annui) presso S1, S2 e S3.

Fig. 5 - Water levels schematic summary (average annual value) at S1, S2 and S3 monitoring wells.

sotterranee nel distretto acquedottistico del medio Brenta. L'obiettivo finale della iniziativa di MAR è di garantire la tutela della risorsa pregiata a partire dalla stazionarietà delle azioni di infiltrazione, assunte come compensazione preventiva ai nuovi emungimenti. Oltre al piano di monitoraggio in essere, si prevedono prosiegui inediti dello studio, finalizzati alla messa a punto di metodiche interpretative innovative dei fenomeni citati. Nel 2014 è stato istituito un campo pilota in destra Brenta nei pressi di S1, ove sono stati realizzati nuovi sondaggi meccanici e piezometrici per eseguire misure sperimentali e prove di dettaglio, oltre a monitoraggi e log geofisici verticali per approfondire l'evoluzione tridimensionale delle fenomenologie in discussione. Il programma di ricerca, sviluppato in collaborazione con il DICEA dell'Università di Padova, è di fondamentale importanza per studiare il ruolo del parametro "temperatura" nella quantificazione degli scambi di subalveo di alvei disperdenti (Berti et al., 2012).

Peraltro quanto sopra descritto risulta di indubbio supporto non solo nella individuazione puntuale dei trend idrogeologici in atto, ma anche per rilevare le esigenze di manutenzione, da doversi attuare sul fondo alveo per ottimizzare nel tempo gli indici di dispersione a tergo delle rampe.

Ringraziamenti: Gli autori intendono ringraziare la Regione del Veneto, Etra spa ed il Dipartimento ICEA dell'Università di Padova per il supporto e l'interesse scientifico nell'ambito del progetto.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson M. P. (2005). Heat as a Ground Water Tracer; *Ground Water*, Volume 43, Issue 6, pages 951-968.
- ARPAV (2011). I monitoraggi nel medio corso del F. Brenta: approfondimenti sulle dispersioni in alveo http://www.arpa.veneto.it/acqua/docs/interne/Monitoraggi_Brenta_%202009_Approfondimenti_dispersioni_%20in_alveo.pdf
- Berti M., Pedron R., Vettorello L., Sottani A (2012). Groundwater field measurements for stream seepage estimation. *Flowpath 2012, Percorsi di Idrogeologia*, Università di Bologna.
- Dal Prà A., Veronese F. (1972). Gli acquiferi dell'alta pianura alluvionale del Brenta e i loro rapporti col corso d'acqua. *Atti Istituto Veneto Sc. Lett. ed Arti*, v. 5, pp. 189-222, Venezia.
- Dal Prà A., Bellati R., Costacurta R., Sbettega, G. (1976) Distribuzione delle ghiaie nel sottosuolo della pianura veneta. *Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque*, 28/12.
- Passadore G., Monego M., Altissimo L., Sottani A., Putti M., Rinaldo R. (2012). Alternative conceptual models and the robustness management scenarios in the multi-aquifer system of the Central Veneto Basin, Italy. *Hydrogeology Journal*, DOI 10.1007/s10040-011-0818-y.
- Rinaldo A., Altissimo L., Putti M., Passadore G., Monego M., Sottani A. (2010). Modello matematico di flusso nei sistemi acquiferi dei territori dell'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "ATO Brenta". Relazione finale. http://www.atobrenta.it/public/file/file_1311003615_i2u7z0.pdf
- Surian N., Cisotto A. (2007). Channel adjustments, bedload transport and sediment sources in a gravel-bed river, Brenta River, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*. 32, 1641-1656, Wiley Inter-Science.
- USGS (2003). Heat as a tool for studying the movement of groundwater near streams. Circular 1260. U.S. Dep. of the Interior, U.S. Geological Survey.
- Zunica M. (1981). *Il territorio della Brenta*. Cleup. Padova