

Esperienze di MAR con sistemi disperdenti a largo diametro: primo bilancio di attività sperimentali nell'alta pianura vicentina (Italia Settentrionale)

Managed aquifer recharge experiences with shallow wells: first analysis of the experimental activities in the high Vicenza plain (Northern Italy)

Lorenzo Altissimo, Silvia Bertoldo, Francesca Campagnolo, Giancarlo Gusmaroli, Teresa Muraro, Andrea Sottani

Riassunto: Negli ultimi decenni anche nell'alto vicentino la risorsa idrica sotterranea è risultata oggetto di un crescente utilizzo e, contemporaneamente, di un minore quantitativo di reintegro. Ne deriva una conseguente perdita delle portate di sfioro alle risorgive ed una marcata riduzione delle quote piezometriche nei sistemi acquiferi.

Al fine di ristabilire l'equilibrio idrogeologico sono state promosse dall'Amministrazione Provinciale di Vicenza azioni sperimentali, volte alla ricarica in condizioni controllate della falda mediante l'utilizzo di vari sistemi pilota come pozzi disperdenti, aree forestali di infiltrazione, trincee superficiali, campi di subirrigazione etc., realizzati nell'acquifero alluvionale dell'alta pianura vicentina ed in quello infravallivo del Torrente Agno. Tutti gli impianti di ricarica sono alimentati dalle acque irrigue gestite dai consorzi di bonifica: gli esercizi corrispondono pertanto unicamente ai periodi di surplus idrico (riposo irriguo).

Parole chiave: gestione delle acque sotterranee, ricarica delle falde in condizioni controllate, monitoraggio, alta pianura alluvionale vicentina.

Keywords: groundwater management, Managed Aquifer Recharge (MAR), monitoring, high alluvial Vicenza plain.

Silvia BERTOLDO 
 Francesca CAMPAGNOLO
 Andrea SOTTANI
 Sinergeo srl
 Contrà del Pozzetto, 4 - 36100 Vicenza
 Tel: +39-0444321168 - Fax: +39-0444543641
 sbertoldo@sinergeo.it

Lorenzo ALTISSIMO
 Via Palladio, 128 - 36030 Villaverla (VI)

Giancarlo GUSMAROLI
 Sestiere Cannaregio, 909 -30121 Venezia

Teresa MURARO
 Provincia di Vicenza - Settore tutela e valorizzazione risorse naturali -
 Protezione Civile / U.C. Risorse Idriche
 Contrà Gazzolle, 1 - 36100 Vicenza

Ricevuto: 09 luglio 2014 / Accettato: 25 agosto 2014
 Pubblicato online: 30 settembre 2014

© Associazione Acque Sotterranee 2014

I lavori costruttivi sono stati preceduti da investigazioni geologiche e idrogeologiche, per verificare l'effettiva idoneità della ricarica di progetto e con lo scopo di ottimizzare le risorse economiche disponibili per la progettazione e la realizzazione dei lavori. Ai fini della protezione del sistema acquifero, è stato valutato il quadro idrochimico delle iniziative per mezzo di un piano di controllo chimico-fisico e microbiologico delle acque di infiltrazione. Fin dalla attivazione degli impianti i controlli qualitativi sono proseguiti con cadenza mensile sia per le acque superficiali che per quelle di falda: quest'ultime sono state prelevate da piezometri spia posti nei pressi degli impianti ed in posizione di valle idrogeologica.

Il controllo delle portate in ingresso ai vari sistemi, attuato per mezzo di misuratori automatici installati sia sui collettori superficiali di adduzione che presso gli acquiferi, ha fornito risultanze interessanti circa i volumi e le caratteristiche dell'acqua reintegrata entro le idrostrutture geologiche: l'esperienza condotta pare utile per orientare uno sviluppo ponderato di altri siti di ricarica, da potersi impiegare in occasione di periodi critici in senso idrologico.

Abstract: *In recent decades, groundwater resources of the high Vicenza plain were subjected to an increasing extraction rate and, at the same time, to a lower quantity of groundwater recharge. The result is a decreasing flow from the plain springs and a high reduction in piezometric levels of the middle and lower Venetian aquifers.*

In order to restore the balance of groundwater resources in the Vicenza area, the Vicenza Province has promoted experimental activities aimed to increase the recharge of the aquifer in the high Vicenza plain and in the River Agno valley, using infiltration wells, forested infiltration areas, infiltration trenches, subsurface fields and infiltration canals. All recharge plants are fed by irrigation water, managed by agricultural consortia only during periods of water surplus.

Construction works were preceded by specific geological and hydrogeological investigations to verify the suitability for recharge, with the purpose of optimizing the available economic resources. For the protection of the aquifer system, a chemical background of infiltration water was assessed with periodical chemical-physical and microbiological surveys. After the activation date, a monthly monitoring program started to verify the quality of both surface and groundwater, collecting samples in monitoring wells downstream the infiltration structures. The input flow rate entering the various systems, monitored by automatic instruments either in the superficial structure and in groundwater, have provided interesting information about the volumes and the quality of water. These scientific experiences appear to be very helpful in case of future applications for other sites, especially during critical hydrologic period.

Introduzione

Negli ultimi decenni il sistema acquifero vicentino è stato interessato da un crescente utilizzo della risorsa idrica sotterranea sia per gli usi civili, che per quelli agricoli ed industriali (Sottani et al., 1982; Rinaldo et al., 2009). In aggiunta, altri fattori quali le variazioni climatiche globali dei regimi di precipitazione, l'urbanizzazione ed il consumo del territorio nelle zone di ricarica, le modifiche degli alvei fluviali, le trasformazioni dei sistemi irrigui dalle tradizionali configurazioni a scorrimento verso quelle a pioggia, hanno contribuito a ridurre i quantitativi idrici di ricarica dei sistemi idrogeologici.

Da anni si assiste pertanto ad un progressivo abbassamento dei livelli della falda freatica pedemontana (Passadore et al., 2010), con conseguente perdita delle portate di sfioro alle risorgive e marcata riduzione anche delle quote piezometriche della media e bassa pianura veneta, osservate attraverso una fitta rete di pozzi profondi intercettanti gli acquiferi confinati multifalda.

Per studiare la fattibilità di interventi atti a ripristinare l'equilibrio idrico delle falde, oltre a promuovere politiche per il contenimento dei prelievi, sono adottabili azioni per ricarica delle falde in condizioni controllate (AA.VV., 2005; AA.VV. 2006; Rinaldo et al., 2006), atte a favorire l'infiltrazione controllata di surplus idrologici in siti specificatamente deputati a questa iniziativa.

Con queste finalità sono state sperimentate a partire dal 2009 diverse proposte tecniche di ricarica della falda nella provincia di Vicenza: si è dato avvio a ricerche e sperimentazioni che prevedono di utilizzare cave di ghiaia dismesse come bacini di infiltrazione (Rinaldo et al., 2009) oppure superfici agricole e forestali (AFI) per infiltrare acqua nel sottosuolo nei periodi non irrigui (Dal Prà et al., 2010). In aggiunta ai metodi estensivi, sono state intraprese anche iniziative pilota di Managed Aquifer Recharge (MAR) tramite sistemi puntuali, basati sostanzialmente sulla realizzazione di pozzi superficiali disperdenti (Scott e Aron, 1967; AA.VV., 2005-2007).

In questa memoria si presentano alcuni dati inerenti varie iniziative di ricarica, in atto nel vicentino a partire dal 2009 con varie tecnologie ed impianti: l'attenzione è focalizzata sui

risultati associati ai siti con pozzi disperdenti a largo diametro che, in ragione del periodo di gestione, offrono risultati quantitativi rappresentativi.

Materiali e metodi

Le aree prescelte per valutare l'installazione di siti pilota, ove realizzare impianti di dispersione mediante strutture verticali superficiali a largo diametro, risultano essere l'alta pianura alluvionale a nord di Vicenza e la piana infravalliva del Torrente Agno. Nella fascia pedemontana della pianura vicentina il sottosuolo è costituito da una coltre di materiali sciolti appartenenti alle conoidi del Torrente Astico e del Fiume Brenta. Questi depositi, di tipo ghiaioso-sabbioso prevalente, presentano alta permeabilità e spessori ingenti: si contano accumuli di materiali sciolti di circa 200 m di potenza a nord di Vicenza fino a oltre 400 m spostandosi verso est in direzione della provincia di Padova (Rinaldo et al., 2009). In figura 1 si riporta una sezione geologica "tipo" della pianura vicentina, il cui profilo è stato tracciato in figura 2. L'area è caratterizzata dalla presenza di un'unica falda a superficie libera, che si estende omogeneamente dai rilievi fino alla linea delle risorgive; a partire da qui la presenza di strati argillosi tipici della bassa pianura delimita un sistema di tipo confinato, strutturato in falde artesiane.

Per quanto concerne la valle del Torrente Agno, il sottosuolo appare ancora costituito da sequenze di terreni quaternari sciolti, poggianti sul substrato roccioso (vulcaniti e calcari), che affiora sui fianchi della piana dando origine alle dorsali dei Monti Lessini. Presso le aree di studio, realizzate nel Comune di Cornedo Vic.no, i sedimenti delle coperture quaternarie risultano caratterizzati da un grado di cementazione variabile e sono rappresentati in prevalenza da ghiaie sabbiose con ciottoli: la componente fine, a matrice limoso-argillosa, risulta essere scarsa. Anche in questo settore è presente una idrostruttura sotterranea unitaria, di tipo freatico, idraulicamente connessa con il subalveo del torrente.

A seguito di una disamina preventiva di fattibilità, cui han-

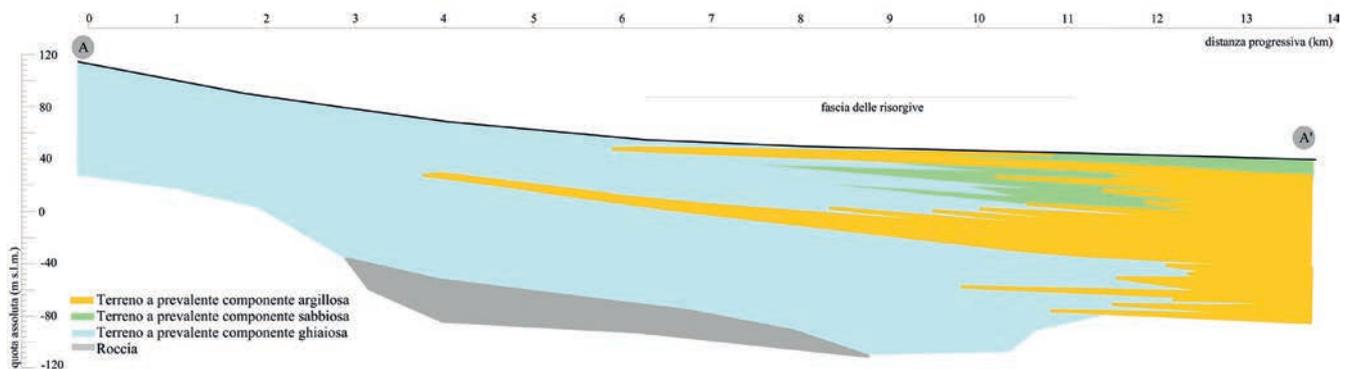


Fig. 1 - Sezione geologica.

Fig. 1 - Geological profile.

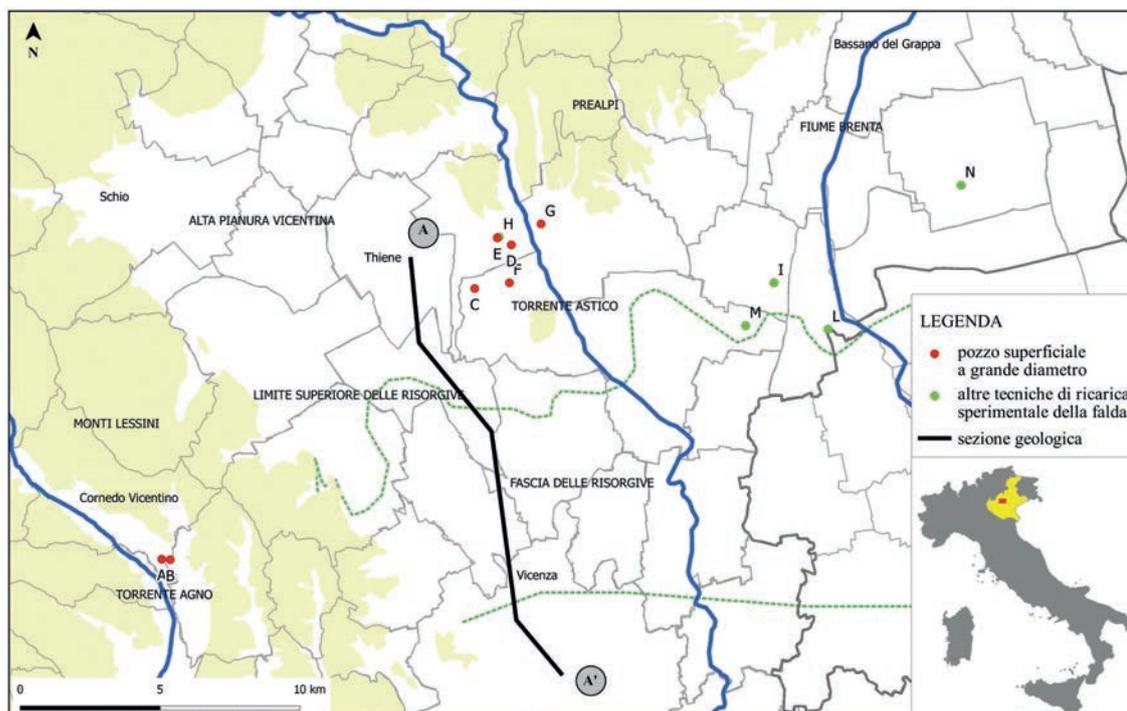


Fig. 2 - Ubicazione dei siti di ricarica sperimentale della falda.

Fig. 2 - Location of recharge experimental sites.

no fatto seguito verifiche dirette in campo ed accertamenti inediti, sono stati identificati n.12 siti, nei quali realizzare le opere di ricarica: la scelta delle ubicazioni è dipesa non solo dalle peculiarità geografiche, geoidrologiche del territorio, ma anche da elementi logistici quali la presenza di aste superficiali naturali o antropiche derivabili, la disponibilità di lotti per costruire i manufatti, la loro accessibilità e la presenza di sottoservizi interrati (Fig. 2).

Presso ognuna delle aree vocate agli interventi di MAR sono state condotte indagini sito-specifiche, per appurare l'effettiva idoneità geostrutturale alla ricarica: in ordine alla parametrizzazione del sottosuolo sono stati organizzati sondaggi esplorativi a carotaggio continuo con posa di piezometri, campionature ed analisi geotecniche di laboratorio per la classificazione dei sedimenti e prove idrogeologiche in foro di tipo Lefranc a carico variabile. I risultati osservati sono riassunti in tabella 1. Le attività hanno consentito di perfezionare il modello geologico di riferimento, anche in ordine al dimensionamento dei manufatti di derivazione, alla stabilità degli scavi, alla gestione delle terre di risulta ed alle problematiche sulla sicurezza, permettendo in tal senso di ottimizzare le risorse economiche disponibili per la progettazione e la realizzazione delle opere. Le tecnologie messe in campo hanno previsto l'implementazione, anche in simultanea nello stesso sito, di diverse soluzioni mutuata dalla pratica della ingegneria idraulica e agraria, con lo scopo di verificare, per confronto, i vantaggi ed limiti di ognuna di esse nell'ambito della realtà territoriale vicentina (Tab. 2):

I. i pozzi disperdenti a largo diametro (diametro massimo 2 m) sono costituiti da anelli prefabbricati in calcestruzzo

vibrocompressi a parete laterale forata; sono posati l'uno sopra l'altro senza sigillatura dei giunti per uno sviluppo complessivo della struttura verticale generalmente pari a 5.0 m; i pozzettoni sono completati in assetto interrato, con sistemi di ispezione alla sommità protetti da sigilli di sicurezza; essi risultano immersi entro un materasso di pietrisco lavato di adeguata pezzatura, che funge da drenaggio basale e laterale, in continuità con i terreni naturali incassanti; nelle diverse aree pilota sono stati costruiti impianti a pozzo singolo, doppio e quadruplo, con relative infrastrutture di derivazione e regolazione, collettamento e scarico, misura e campionamento delle acque. A titolo di esempio, in figura 3 si mostra in pianta e in sezione il sistema disperdente realizzato presso il sito F a Montecchio Precalcino;

- II. la trincea di infiltrazione consiste in uno scavo nel terreno della lunghezza di 60 m a sezione trapezoidale all'interno della quale, a circa 2.5 m di profondità da p.c. sono stati adagiati su un letto di ghiaia due tubi microfessurati in calcestruzzo per la distribuzione dell'acqua; le tubazioni sono state ricoperte da materiale grossolano mentre in superficie è stato posto a dimora terreno vegetale agrario;
- III. gli impianti di tipo AFI prevedono la distribuzione delle acque all'interno di aree appositamente allestite con una rete di scoline disperdenti, di lunghezza variabile in funzione dell'area a disposizione, e con la piantumazione di diverse specie arboree e arbustive; l'acqua viene distribuita mediante un sistema di regolazione dei livelli, che determina una ripartizione a gravità del flusso in maniera adeguata entro i singoli settori di prevista infiltrazione;

Tab. 1 - Dati geologici e idrogeologici ottenuti.

Tab. 1 - Geological and hydrogeological results.

Sito	Comune	Geologia	Idrogeologia
A	Cornedo Vicentino (VI)	Depositi formati in prevalenza da ghiaie sabbiose con ciottoli, con grado di cementazione variabile. Sondaggio spinto fino a 21 m da p.c.	Acquifero libero, connesso idraulicamente con il subalveo del torrente che solca la piana. Superficie freatica che soggia a circa 15 metri da p.c. Gradiente idraulico medio dell'ordine di 1.0 – 1.5%.
B	Cornedo Vicentino (VI)	Depositi formati in prevalenza da ghiaie sabbiose con ciottoli, con grado di cementazione variabile. Sondaggio spinto fino a 21 m da p.c.	Acquifero libero, connesso idraulicamente con il subalveo del torrente che solca la piana. Superficie freatica che soggia a circa 15 metri da p.c. Gradiente idraulico medio dell'ordine di 1.0 – 1.5%.
C	Montecchio Precalcino (VI)	Depositi ghiaioso-sabbiosi con rari ciottoli, in matrice generalmente limosa. Sondaggio spinto fino a 40 m da p.c.	Acquifero freatico, superficie di falda posta ad una profondità di oltre 18 m da p.c. Gradiente idraulico medio dell'ordine dello 0.4 – 0.6%. Coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10^{-4} m/s.
D	Sarcedo (VI)	Depositi ghiaioso-sabbiosi. Sondaggio spinto fino a 65 m da p.c.	Acquifero freatico, superficie di falda posta ad una profondità di oltre 21 m da p.c. Gradiente idraulico medio dell'ordine di 1.5 – 2.0%.
E	Sarcedo (VI)	Depositi di ghiaie, sabbie e ciottoli fino ad una profondità di circa 30 m da p.c.; oltre si individuano alternanze di livelli argillosi e sabbiosi. A circa 43 m da p.c. si intercetta il substrato roccioso. Sondaggio spinto fino a 45 m da p.c.	Acquifero freatico, superficie di falda posta ad una profondità di oltre 23 m da p.c. Gradiente idraulico medio dell'ordine del 1.5 – 2.0%. Coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-5} m/s.
F	Montecchio Precalcino (VI)	Depositi ghiaioso-sabbiosi fino a 32 m da p.c.; oltre si intercettano livelli argillosi poggianti sul substrato roccioso. Sondaggio spinto fino a 36 m da p.c.	Acquifero freatico, superficie di falda posta ad almeno 20 m da p.c. Gradiente idraulico medio dell'ordine dello 0.4 – 0.6%. Coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10^{-4} m/s.
G	Breganze (VI)	Depositi ghiaiosi più o meno sabbiosi. Sondaggio spinto fino a 48 m da p.c.	Acquifero freatico, superficie di falda posta ad una profondità di oltre 20 m da p.c. Gradiente idraulico molto variabile (da 0.4% a 1.2% in funzione dell'azione disperdente del vicino torrente Astico). Coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10^{-3} - 10^{-4} m/s.
H	Sarcedo (VI)	Depositi di ghiaie, sabbie e ciottoli fino ad una profondità di circa 30 m da p.c.; oltre si individuano alternanze di livelli argillosi e sabbiosi. A circa 43 m da p.c. si intercetta il substrato roccioso. Sondaggio spinto fino a 43 m da p.c.	Acquifero freatico, superficie di falda posta ad una profondità di oltre 23 m da p.c. Gradiente idraulico medio dell'ordine del 1.5 – 2.0%. Coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-5} m/s.
I	Schiavon (VI)	Depositi ghiaiosi con sabbia fino a circa 50-60 m in matrice limoso-argillosa. Sondaggio spinto fino a 18 m da p.c.	Acquifero freatico, superficie di falda posta a 4 m dal p.c. Gradiente idraulico medio dell'ordine dello 0.3%. Coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10^{-4} m/s.
L	Carmignano di Brenta (PD)	Depositi ghiaiosi con sabbia fino alla profondità di circa 30 m da p.c.; presenza a diverse profondità di livelli di materiali fini.	Acquifero freatico, superficie di falda posta ad almeno 5 m dal p.c. Gradiente idraulico medio dell'ordine dello 0.25%.
M	Sandriago (VI)	Depositi ghiaiosi e sabbiosi fino alla profondità di circa 30 m da p.c.; a profondità maggiori alternanza di ghiaie e livelli argilloso-limosi.	Acquifero freatico, superficie di falda posta ad almeno 5 metri dal p.c. Gradiente idraulico medio dell'ordine dello 0.15%.
N	Rosà (VI)	Depositi ghiaiosi e sabbiosi fino alla profondità di 50-60 m da p.c.; presenza a diverse profondità di livelli di materiali fini. Sondaggio spinto fino a 48 m da p.c.	Acquifero freatico, superficie di falda posta a 30 metri dal p.c. Gradiente idraulico medio dell'ordine dello 0.4%. Coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10^{-5} m/s.

Tab. 2 - Riepilogo dei siti di ricarica realizzati.

Tab. 2 - Artificial recharge sites summary.

Sito	Comune	Partner responsabile	Tipologia di intervento	Roggia alimentante
A	Cornedo Vicentino (VI)	Consorzio di Bonifica Alta Pianura Vicentina	2 pozzi superficiali a grande diametro	Roggia dei Lecchi
B	Cornedo Vicentino (VI)	Consorzio di Bonifica Alta Pianura Vicentina	1 pozzo superficiale a grande diametro	Roggia dei Lecchi
C	Montecchio Precalcino (VI)	Consorzio di Bonifica Alta Pianura Vicentina	1 pozzo superficiale a grande diametro	Roggia delle Monache
D	Sarcedo (VI)	Consorzio di Bonifica Alta Pianura Vicentina	1 pozzo superficiale a grande diametro	Roggia Monza
E	Sarcedo (VI)	Consorzio di Bonifica Alta Pianura Vicentina	4 pozzi superficiali a grande diametro	Roggia Verлата
F	Montecchio Precalcino (VI)	Consorzio di Bonifica Alta Pianura Vicentina	2 pozzi superficiali a grande diametro	Roggia Monza
G	Breganze (VI)	Alto Vicentino Servizi	4 pozzi superficiali a grande diametro	Canale Seriola
H	Sarcedo (VI)	Consorzio di Bonifica Alta Pianura Vicentina	trincea di infiltrazione	Roggia Verлата
I	Schiavon (VI)	Consorzio di Bonifica Brenta	area forestale di infiltrazione (AFI)	Bocchetto Silvagni Cogo
L	Carmignano di Brenta (PD)	Consorzio di Bonifica Brenta	area forestale di infiltrazione (AFI)	Bocchetto San Giovanni Grimana Nuova
M	Sandrijo (VI)	Consorzio di Bonifica Brenta	roggia di infiltrazione	Roggia Vitella
N	Rosà (VI)	Consorzio di Bonifica Brenta	campo di sub-dispersione	Roggia Brolla

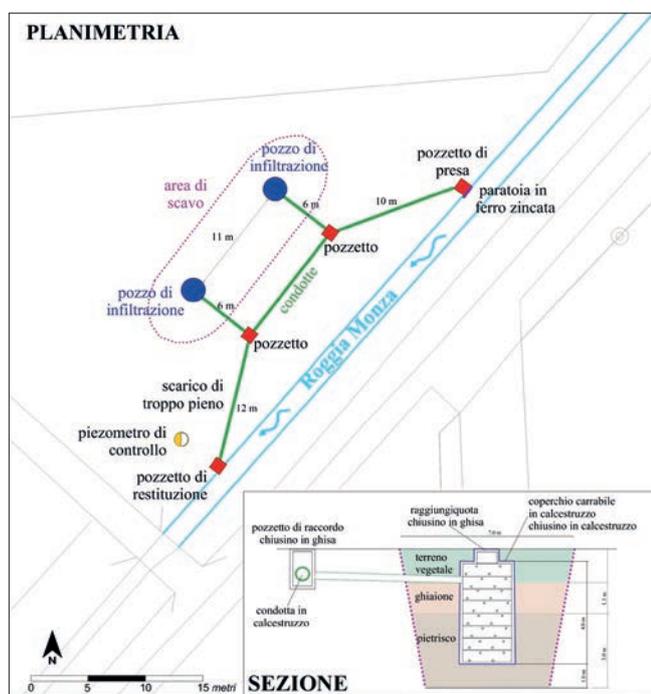


Fig. 3 - Planimetria e sezione schematica del sito di ricarica F di Montecchio Precalcino.

Fig. 3 - Layout and schematic section of the artificial recharge site F in Montecchio Precalcino.

- IV. la roggia di infiltrazione si caratterizza per la presenza di un canale artificiale a fondo permeabile, scavato lungo la destra idrografica di una roggia preesistente e con sistemazione a verde di ambo le sponde del canale; lungo tutta la lunghezza della roggia disperdente sono stati messi a dimora alberi ed arbusti ripariali;
- V. l'impianto di sub-dispersione, che si sviluppa per una lunghezza di circa 200 metri, è costituito da un sistema di drenaggi inversi disposti sotto la parte agronomica del terreno (profondità di circa 90 cm da p.c.) attraverso i quali avviene l'infiltrazione sub-superficiale dell'acqua.

I vari sistemi di ricarica sono alimentati da opere di derivazione poste in fregio a collettori di competenza consortile, significativi per la quantità e la qualità delle acque fluenti: le prese sono costituite da un manufatto comprendente la griglia di protezione e la paratoia in ferro a ghigliottina, per la regolazione della quantità d'acqua immessa. Un sistema di tubazioni, anch'esse interrato ed ispezionabili per tramite di pozzetti sezionatori, distribuisce la portata idrica derivata ai singoli impianti, consentendo di immettere in falda i volumi adeguati nei periodi del riposo irriguo.

Per valutare l'efficienza dei vari sistemi è stato attuato un programma di verifica, articolato in azioni di monitoraggio quantitative di tipo continuo ed in controlli di qualità periodici. Sul merito del calcolo della portata derivata e dispersa

sono stati installati misuratori di livello, del tipo ad ultrasuoni o con trasduttori piezoresistivi immersi entro tubi di calma, lungo le condotte alimentanti subito a valle del settore di manovra alla paratoia. Le stime sono elaborate mediante la ricostruzione di curve caratteristiche, che correlano diverse altezze di acqua fluente nel collettore di dispersione a corrispondenti misure di portata differenziale, effettuate a monte ed a valle della derivazione in sezioni a geometria nota con correntometro doppler. Tali prove sono state condotte in ogni sito pilota, validando i risultati con la ripetizione delle procedure in differenti fasi del regime dell'adduttore: in figura 4 si mostra, a titolo di esempio, la correlazione tra portata in ingresso al sistema disperdente del sito D a Sarcedo e l'altezza dell'acqua da base della paratoia nelle due sessioni di misura di portata in roggia. Va peraltro precisato che le progressioni dei gradini di portata sono state accuratamente valutate adeguando il numero degli step e l'ampiezza delle aperture della paratia alla effettiva capacità disperdente del sistema sotteso.

Relativamente alle misure idrogeologiche sono risultati di utilità i sondaggi piezometrici di caratterizzazione, preventivamente spinti a profondità tali da assicurare una intercettazione stabile della tavola d'acqua, anche in condizioni di magra dell'acquifero. I pozzi spia, realizzati a meno di 15 m dagli impianti disperdenti in posizione sottogradiente, permettono di apprezzare le variazioni piezometriche naturali, sulle quali si sovrainpongono le altezze d'acqua riconducibili alla ricarica artificiale. Il monitoraggio è reso possibile dalla presenza di sensori automatici e ad acquisizione continua dei dati di livello e temperatura delle acque sotterranee (step di acquisizione pari a 1 ora). Presso i medesimi piezometri sono eseguite le attività di spurgo, campionamento ed analisi di laboratorio, per addivenire ad un costante e sistematico controllo dei caratteri idrochimici delle acque immesse. Il medesimo set di controllo viene applicato, ancora con frequenza mensile, alle acque superficiali disperse. Ad ulteriore garanzia della qualità dell'acqua immessa presso i siti di ricarica F, G, H, I, L, M e N, afferenti al progetto AQUOR (LIFE 2010 ENV/IT/380),

lungo la condotta di alimentazione è stata installata una stazione di monitoraggio multiparametrica che misura in continuo temperatura, pH, ossigeno disciolto, potenziale redox, conducibilità elettrica e torbidità delle acque. Tali apparati sono collegati ad una centralina di acquisizione che registra i valori e li invia in telecontrollo al gestore. La definizione di opportune soglie parametriche di attenzione e di allarme permette, in caso di eventi di superamento, l'invio di un messaggio di allerta all'operatore reperibile del Consorzio; a sua volta e nei tempi previsti dal protocollo interno il tecnico provvede alla chiusura della paratoia di alimentazione, al fine di tutelare la falda sotterranea da situazioni transitorie di criticità.

Risultati

Le elaborazioni dei dati ad oggi collezionati sugli impianti pilota forniscono informazioni interessanti circa i volumi d'acqua reintegrati nella struttura idrogeologica; parimenti l'esperienza maturata mette in disponibilità valori sperimentali inediti delle portate specifiche di esercizio associate a differenti tipologie e configurazioni di impianto e, non ultimo, riferite a contesti geologici variabili.

I primi 5 siti in discussione, rappresentati da impianti di ricarica con pozzi disperdenti, sono caratterizzati da periodi di gestione sufficientemente estesi per sviluppare le prime ipotesi di bilancio: i valori riepilogati in tabella 3 indicano le portate immesse in acquifero nelle differenti finestre temporali di funzionamento. Complessivamente dall'inizio della sperimentazione risultano reimmessi nell'acquifero quantitativi di acqua prossimi a 10.000.000 m³. A tale volume, variabile sul periodo in base alla disponibilità idrica al collettore consortile (i valori massimi invernali si annullano di fatto nel corso della stagione irrigua), compete una portata media ragguagliata su base annua di circa 8.700 m³/g. Considerando un consumo medio giornaliero pro capite intorno ai 250 l/g, se ne deduce che i primi 5 impianti pilota sul periodo hanno permesso di reintegrare nel sottosuolo quantitativi d'acqua pari ai consumi idrici di una comunità di circa 35.000 persone.

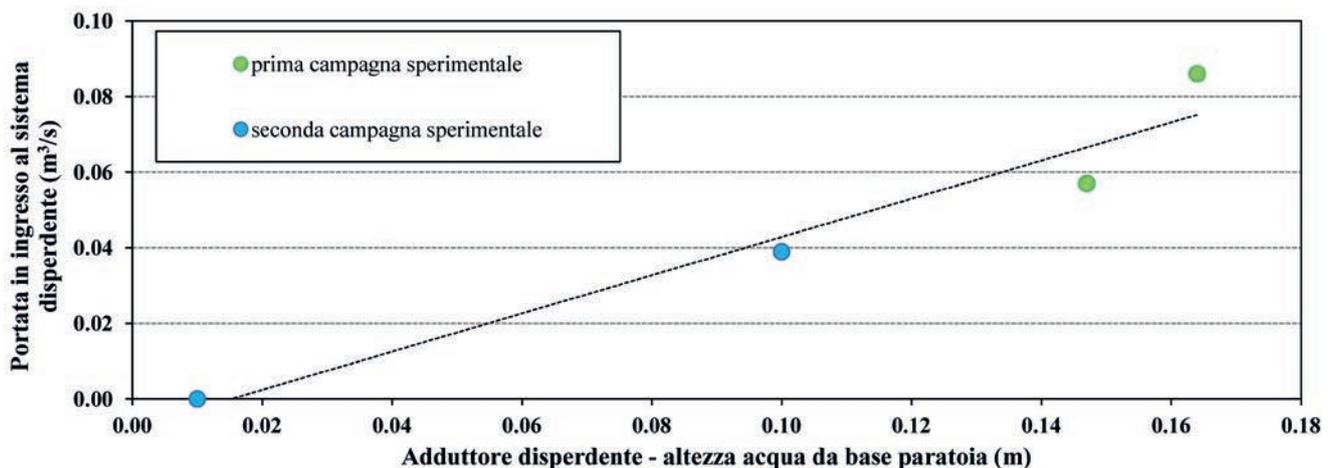


Fig. 4 - Correlazione delle diverse altezze di acqua fluente nel collettore di dispersione con misure di portata differenziale nel sito D di Sarcedo.

Fig. 4 - Correlation between different water levels inside the dispersion collector and experimental flow measurements in site D in Sarcedo.

Tab. 3 - Dati di gestione dei siti con pozzi superficiali a largo diametro.

Tab. 3 - Management data for infiltration wells sites.

Sito	Durata monitoraggio	Portata immessa (m ³)	Portata media ragguagliata su base annua (m ³ /g)
A	55 mesi (settembre 2009 - marzo 2014)	3.454.400	2070
B	55 mesi (settembre 2009 - marzo 2014)	2.136.000	1280
C	46 mesi (aprile 2010 - gennaio 2014)	1.450.000	1025
D	46 mesi (aprile 2010 - gennaio 2014)	946.000	656
E	16 mesi (ottobre 2012 - gennaio 2014)	1.859.000	3765

I tracciati piezometrici registrati nei piezometri di controllo mostrano che le interferenze piezometriche relazionabili all'azione disperdente sono piuttosto variabili tra i diversi siti, in funzione verosimilmente della distanza del punto di controllo dall'impianto, della soggiacenza della tavola d'acqua e, gioco-forza, dei parametri idrogeologici del mezzo poroso.

Le misure freatiche acquisite presso il piezometro di controllo del sito D, ubicato a circa 2 m dal pozzo disperdente e con tavola d'acqua che soggiace ad almeno 21 m da p.c., ad esempio, non fanno emergere alcuna sovrapposizione di effetti dovuta alla ricarica artificiale con l'andamento in acquifero, che mostra in figura 5 una oscillazione naturale della quota di falda variabile da 64.6 m s.l.m. fino a 85.5 m s.l.m. Al contrario la temperatura delle acque sotterranee, mediamente incentrata sui 14 °C, nei periodi di attivazione del sistema MAR mostra variazioni dell'ordine di 5°C (Fig. 6). Le imma-

gini annesse in figura 7 riportano gli scatter plot di correlazione delle temperature della falda e dell'adduttore disperdente durante le due fasi di attività dell'impianto. Infine, in figura 8 si mostra l'andamento delle portate istantanee in ingresso al sistema disperdente del sito D.

La caratterizzazione chimica delle acque superficiali prelevate dalle rogge prima dell'avvio della sperimentazione non evidenzia problematiche di rilievo o anomalie significative per le finalità di progetto, fatta eccezione per una componente microbiologica, tipica degli ambienti idrologici in parola. Le determinazioni analitiche svolte sui campioni di acqua sotterranea sono state eseguite sia ad impianto di ricarica funzionante che spento: esse mostrano un importante abbattimento della componente microbiologica grazie al potere di auto-depurazione, che si esplica in seno ai sedimenti del materasso alluvionale.

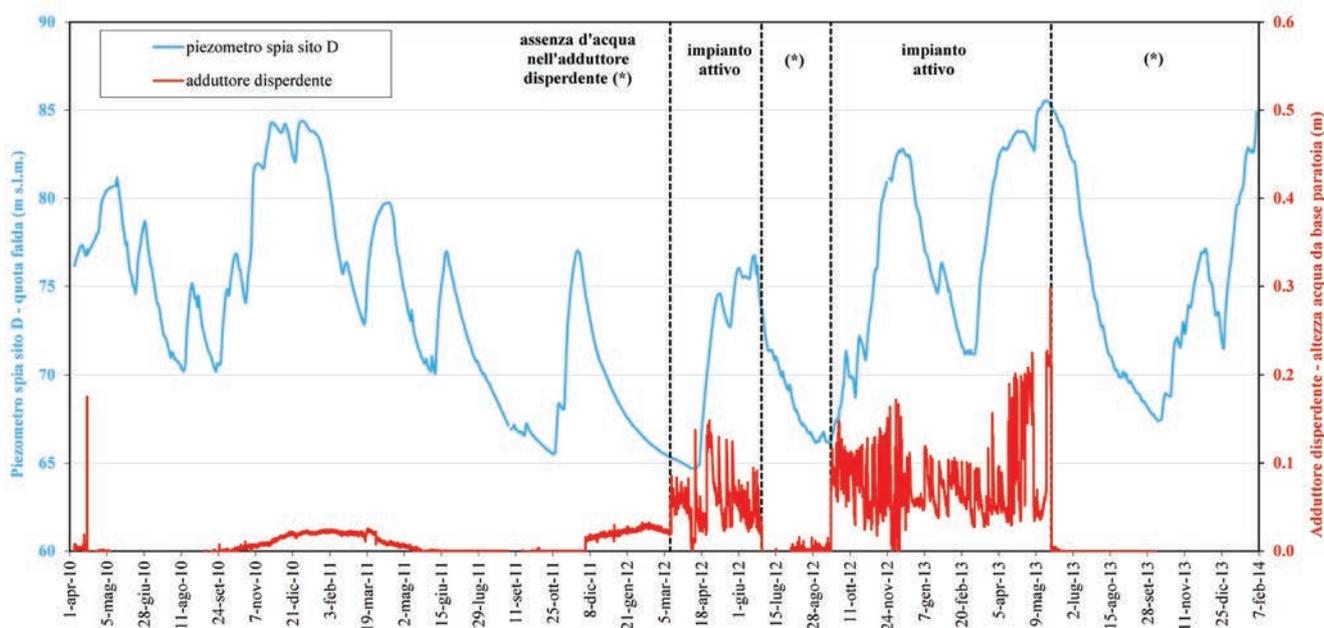


Fig. 5 - Regime naturale di falda e andamento degli apporti di ricarica (sito D).

Fig. 5 - Groundwater level trend vs. water supply from artificial recharge in site D.

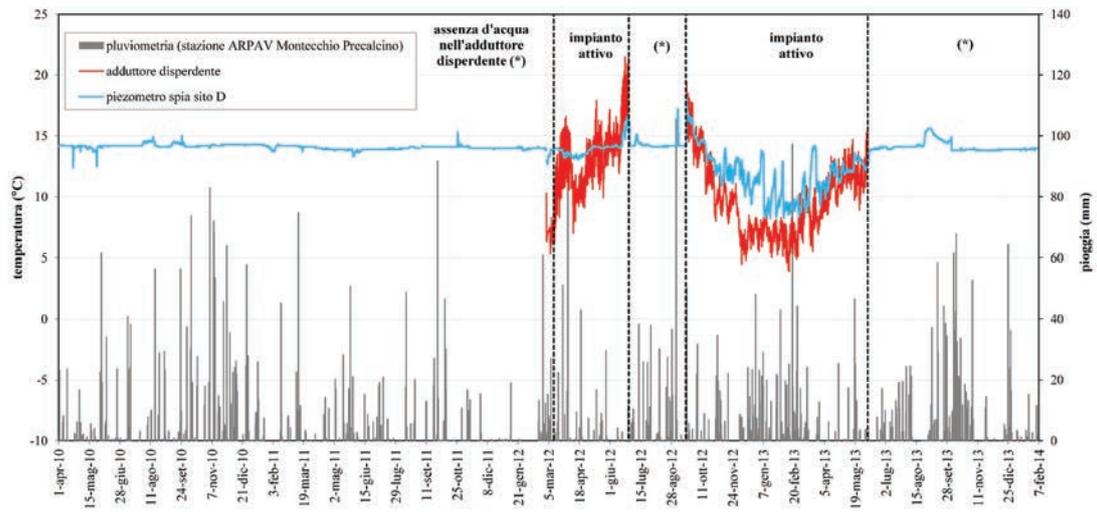


Fig. 6 - Confronto tra l'andamento termico dell'acqua di falda nel sito D e di quella superficiale.

Fig. 6 - Comparison between groundwater and superficial water temperatures in site D.

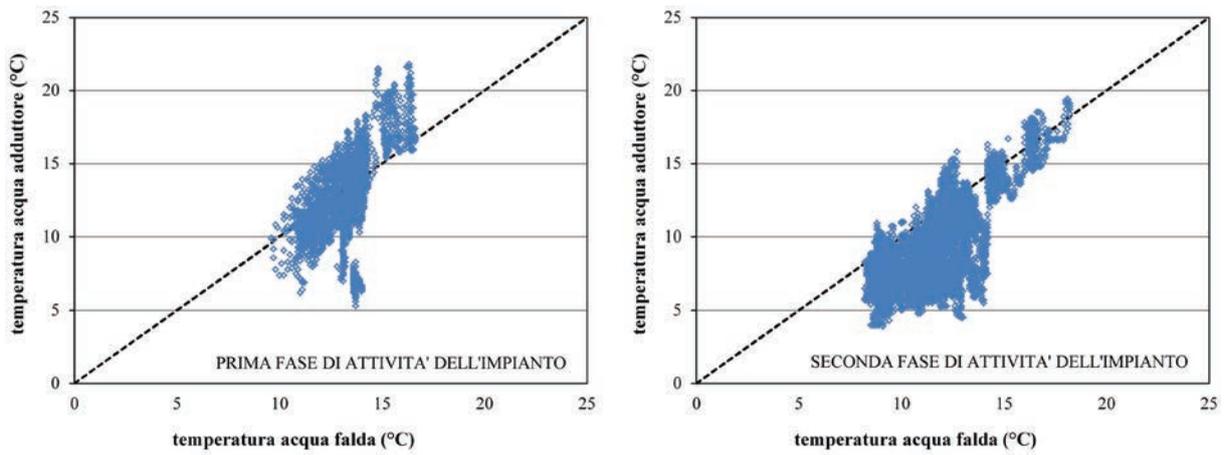


Fig. 7 - Scatter plot di correlazione della temperature di falda nel sito D e della temperatura dell'adduttore disperdente durante le fasi di attività dell'impianto.

Fig. 7 - Scatter plot showing the correlation between groundwater and superficial water temperatures in site D during plant activity.

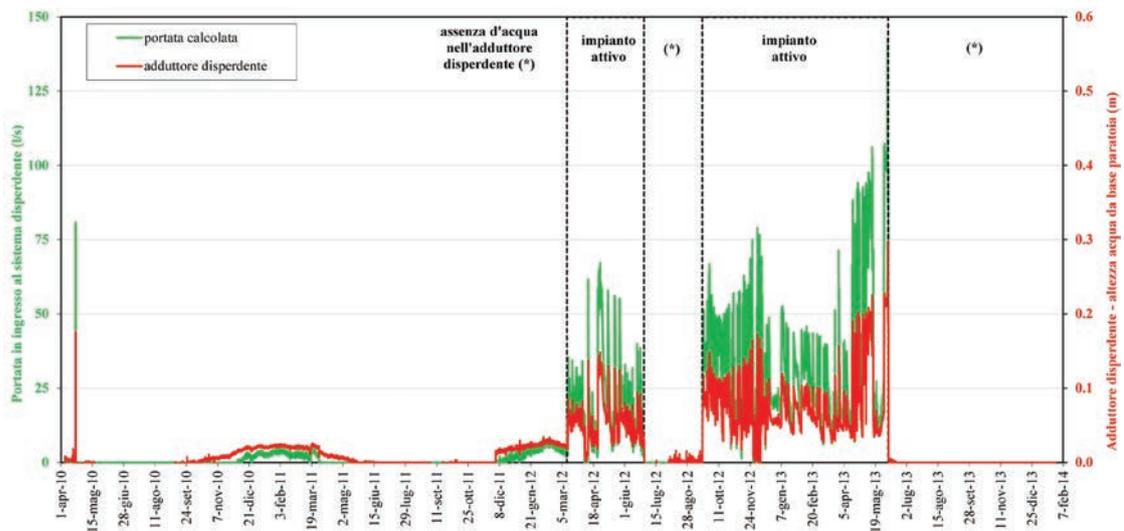


Fig. 8 - Portate in ingresso al sistema disperdente del sito D.

Fig. 8 - Input flow rate inside the site D dispersion system.

Conclusioni

Nel territorio vicentino sono state promosse sperimentazioni di MAR, tramite l'implementazione di alcuni siti pilota dell'alta pianura vicentina. Gli interventi, intrapresi a partire dal 2009 e ad oggi in corso, sono stati strutturati considerando varie tecnologie applicative, in ordine al valutare in modo integrato la fattibilità di azioni di ricarica delle falde sotterranee. Per quel che concerne la tecnologia dei pozzi disperdenti superficiali, il primo periodo di gestione ha messo in luce dati quantitativi relativi ai volumi infiltrati di indubbio interesse, che suggeriscono l'opportunità di un ulteriore sviluppo dell'iniziativa alla scala provinciale. Da un confronto sinottico con le altre tecnologie applicate si desume infine che:

- soprattutto per i pozzi disperdenti emerge una ridotta esigenza di spazi operativi, utile ad esempio al posizionamento in piccoli ambiti (possibilmente di pertinenza pubblica);
- in genere tutti i sistemi mettono in luce una favorevole facilità realizzativa, oltre a caratteristiche di economicità dei lavori e delle forniture;
- parimenti i pozzi, le trincee di infiltrazione e il campo di subirrigazione dimostrano l'assenza di impatti paesaggistici e di rischi per le questioni di sicurezza, dal momento in cui le opere sono completate in assetto interrato e risultano protette da presidi adeguati;
- in base alla posizione geografica degli impianti e all'andamento delle quote geodetiche del piano di campagna, le iniziative di ricarica sono altresì compatibili con altre fruizioni della risorsa idrica superficiale, come ad esempio l'uso per produzione energetica (microelettrico),
- l'effettiva capacità disperdente va da 50-100 l/s per i sistemi puntuali a circa 50 – 70 l/s per ettaro per quelli a sviluppo estensivo;
- indistintamente per tutti i siti indagati si evidenzia la facilità dei controlli quantitativi e qualitativi, rispettivamente a supporto delle stime di bilancio e dei più rigorosi criteri di igiene e salute pubblica nell'ambito della salvaguardia delle risorse idropotabili;
- su questo merito si è osservato che nei piezometri di controllo degli impianti con pozzi disperdenti si rinviene una componente microbiologica residua più consistente rispetto agli altri tipi di impianto: per approfondire questi aspetti si prevedono a breve termine nuove indagini, mirate a definire nel dettaglio l'evoluzione del processo autodepurativo associato al meccanismo di filtrazione nel sistema poroso saturo.

Ringraziamenti: Gli Autori ringraziano i Consorzi di Bonifica Alta Pianura Veneta e Brenta, Acque Vicentine Spa, Alto Vicentino Servizi Spa e Veneto Agricoltura per il supporto offerto nell'ambito del progetto.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2005). Recharge systems for protecting and enhancing groundwater resources. Proceedings of the 5th International Symposium on Management of Aquifer Recharge ISMAR5, Berlin, Germany, 11–16 June 2005.
- AA.VV. (2007). Management of aquifer recharge for sustainability. Proceedings of the 6th international symposium on Managed Artificial Recharge of groundwater, ISMAR6, Phoenix, Arizona USA, October 28 - November 2, 2007.
- Chiesa G. (1992). La ricarica artificiale delle falde "Groundwater artificial recharge". Ed. Geograph, Milano.
- Dal Prà A., Mezzalana G., Niceforo U. (2010). Esperienze di ricarica della falda con aree forestali di infiltrazione "Experiences of groundwater recharge with forested infiltration areas". *L'Acqua* 2/2010: 97-104.
- LIFE AQUOR (2014). <http://www.lifeaquor.org> [ultimo accesso 29 agosto 2014]
- Passadore G., Altissimo L., Sottani A., Putti M., Rinaldo A. (2010). Modello matematico generale del flusso della risorsa idrica sotterranea del Veneto Centrale "General mathematical model of flow of the Central Veneto groundwater resources". XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo, 14-17.09.2010.
- Rinaldo A., Altissimo L., Sottani A., Putti M., Marani M., Passadore G., Monego M., Sartori M., Talpa S. (Maggio 2006). Bacino del Bacchiglione: interventi per la ricarica delle falde e l'individuazione di aree per nuovi prelievi sostenibili. Relazione intermedia "Bacchiglione basin: interventions for groundwater recharge and the identification of new areas for sustainable withdrawals". Università degli Studi di Padova, Centro internazionale di Idrologia D. Tonini, Provincia di Vicenza, AATO Bacchiglione.
- Rinaldo A., Altissimo L., Putti M., Passadore G., Monego M., Sottani A. (2009). Modello matematico di flusso nei sistemi acquiferi dei territori dell'autorità d'ambito territoriale ottimale "A.T.O. Brenta" "Mathematical model of flow in the aquifer systems of the territories of "ATO Brenta"". Università degli Studi di Padova, Centro internazionale di Idrologia D. Tonini, Provincia di Vicenza, Provincia di Padova, AATO Bacchiglione.
- Scott V.H., Aron G. (1967). Aquifer recharge efficiency of wells and trench. *Groundwater* 5: 6-14.
- Sottani N., Pretto L., Viero C., Marcolongo B. (1982). Gli acquiferi della pianura a nord di Vicenza "The aquifers of Vicenza north plain". Tipolitografica sociale Arte grafica, Cittadella di Padova.