

Potenziamento di impianti acquedottistici di presa a seguito di eventi di contaminazione delle acque sotterranee: il caso della centrale di produzione ETRA SpA di Fontaniva – Padova.

ANDREA SOTTANI, ROBERTO PEDRON e SILVIA BERTOLDO

Sinergeo S.r.l. – Sinergie geologiche per l'Ambiente, Contrà del Pozzetto 4, 36100 Vicenza – www.sinergeo.it

INTRODUZIONE

Nel mese di Marzo del 2004 è stata riscontrata una contaminazione delle acque sotterranee da Crotamiton¹ in seno all'acquifero non confinato presente in sinistra Brenta, nei territori comunali di Fontaniva e di Cittadella (Provincia di Padova) (Fig. 1). A seguito degli eventi in argomento l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Veneto ha organizzato e condotto una serie di accertamenti idrochimici presso i numerosi pozzi pubblici e privati esistenti nell'area, potendosi infine ricostruire l'andamento del *plume* dell'inquinamento (Fig. 2). La contaminazione della falda freatica ha in breve tempo coinvolto anche alcune prese acquedottistiche di tipo superficiale, gestite dalla società ETRA SpA² ed afferenti alla centrale idrica di produzione di Fontaniva. Il Gestore ha immediatamente provveduto alla messa fuori servizio dei pozzi interessati dai fenomeni di compromissione qualitativa: la portata idrica non più disponibile per l'utenza nel caso di specie è risultata significativa e dell'ordine del modulo idraulico ($Q = 100$ l/s).

In ragione di quanto sopra sono state svolte le presenti indagini geologiche ed idrogeologiche, finalizzate a valutare la possibilità di reperire risorse idriche sotterranee alternative da strutture acquifere poste a maggiori profondità e quindi indipendenti sotto il profilo piezometrico e soprattutto idrochimico dalla circolazione freatica.

Considerate inoltre le richieste formulate dalla Conferenza dei Servizi, nell'ambito delle ricerche preliminari è stato implementato un modello matematico, con il fine di una verifica di prefattibilità dei nuovi emungimenti, da attuarsi nell'area in oggetto mediante la realizzazione di pozzi di presa, intercettanti un'idrostruttura artesianiana di limitato spessore e già peraltro oggetto di prelievi idropotabili. Gli scenari di calcolo messi a punto in fase progettuale hanno consentito di stimare l'entità degli effetti indotti dall'emungimento della falda confinata entro il sistema idrogeologico locale, confermando l'esistenza dei necessari margini di garanzia per la corretta conservazione della risorsa in funzione del grado di sfruttamento programmato dal Gestore.

Dopo la terebrazione dei nuovi pozzi sono state programmate ed effettuate prove idrauliche di pompaggio in differenti configurazioni operative per il collaudo funzionale degli impianti di presa, oltre a controlli di tipo idrochimico mediante analisi di laboratorio.

Infine i tre nuovi pozzi artesiani del campo di Fontaniva sono stati completati con opere elettromeccaniche definitive e predisposti per l'allacciamento alla rete acquedottistica di distribuzione.

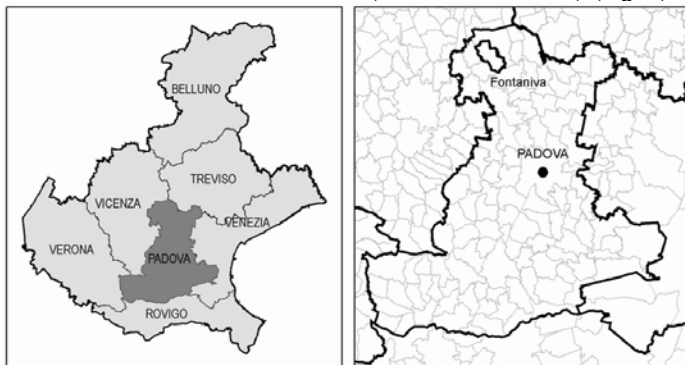


Figura 2 - Inquadramento geografico dell'area di studio

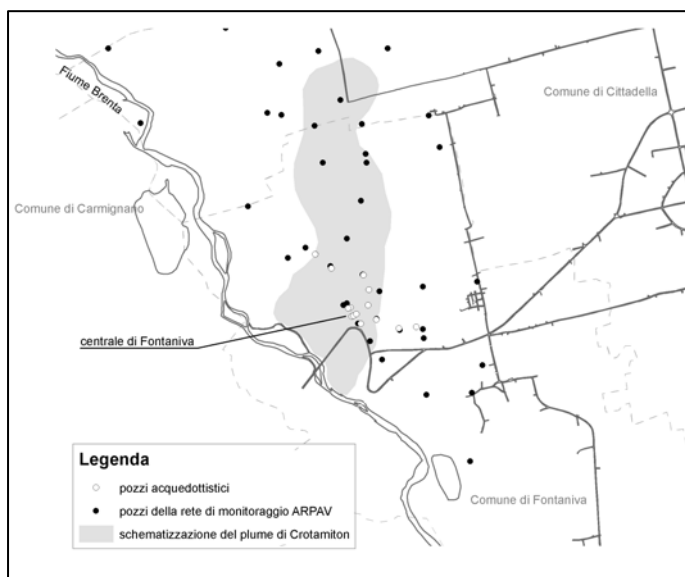


Figura 1 – Rappresentazione del plume di contaminazione da Crotamiton

¹ composto farmacologico antiparassitario, acaricida ed insetticida di formula $C_{13}H_{17}NO$ (N-ethylcrotono-o-toluidide)

² già Consorzio Alta Servizi e poi SETA SpA

- da 0 a 15-18 metri di profondità si rilevano depositi alluvionali costituiti da ghiaie prevalenti e ciottoli ad elevata permeabilità⁴; se pur con locali variazioni di spessore e modesti cambi di tessitura la situazione descritta caratterizza in modo omogeneo tutta l'area in studio;
- al di sotto, fino a una profondità di 35 metri⁵ circa si ritrova un complesso argilloso con locali lenti limoso-sabbiose o di torbe intercalate;
- l'acquifero artesiano si rinviene centrato intorno alla quota di 0.0 m s.l.m.: esso è costituito da ghiaie con sabbia e ciottoli e presenta uno spessore medio di 6-8 m con locali cambiamenti di potenza e talora passaggi verso pezzature più fini o presenza di matrice limosa più abbondante;
- sondaggi esplorativi condotti nelle immediate adiacenze del sito hanno accertato che i depositi alluvionali sono molto potenti e che fino alle massime profondità raggiunte con prospezioni dirette⁶ non si osserva il *bedrock* prequaternario in posto (C.N.R., 1988).

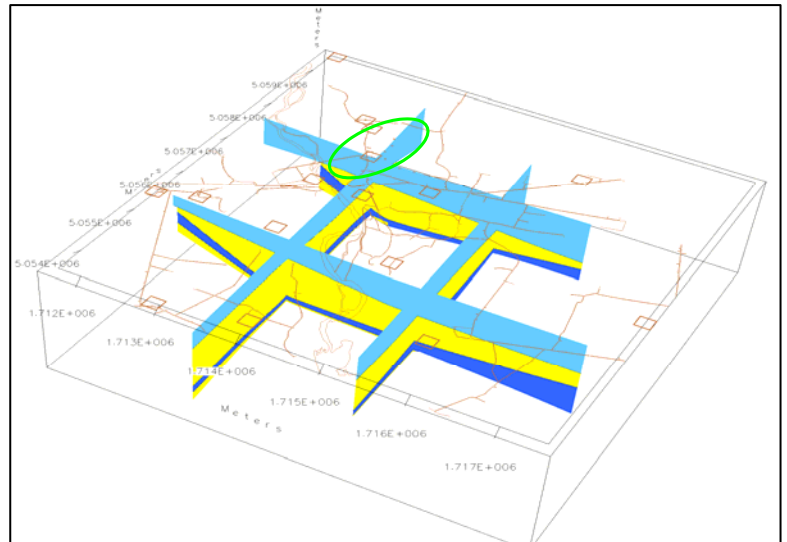


Figura 4 – Assetto geostrutturale del settore di territorio in esame

A titolo riepilogativo si consideri che la situazione idrostrutturale del sito è sostanzialmente caratterizzata dalla presenza nel sottosuolo di due acquiferi, separati da un consistente livello di materiali coesivi di confinamento.

Il primo orizzonte produttivo è di tipo freatico, di spessore saturo intorno ai 10-14 m e con gradienti idraulici tra 0.15 e 0.35%; esso si configura di fatto molto trasmissivo ($T = 0.3 \text{ m}^2/\text{s}$), in connessione idraulica diretta con il F. Brenta ed è contraddistinto da una elevata vulnerabilità intrinseca, come gli eventi di contaminazione in parola hanno messo in evidenza.

Il secondo livello è di tipo confinato, di spessore variabile da 6 a 8 m; presenta gradienti intorno a 0.10-0.20 % e, secondo i dati disponibili, sembra caratterizzato da una trasmissività idraulica media di $0.01 \text{ m}^2/\text{s}$ e da un immagazzinamento specifico tra 1.0 e $3.0 \cdot 10^{-5}$. Nel passato tale acquifero presentava ottimi requisiti di pressione naturale, cui competevano livelli piezometrici stabilmente prevalenti sul piano di campagna: allo stato attuale il livello di falda soggiace di 4.0 m circa rispetto al p.c., attestando una riduzione del carico in linea con i trend idrogeologici regionali. Il sistema artesiano mostra in generale caratteri idrochimici migliori di quello superficiale per quanto attiene l'uso potabile e la sua vulnerabilità intrinseca è relativamente inferiore, potendosi garantire un più elevato grado di "purezza" delle acque sotterranee nei riguardi di possibili contaminazioni provenienti dalle attività antropiche.

MODELLO MATEMATICO DI FLUSSO

Al fine di verificare la prefattibilità dell'emungimento di progetto dall'acquifero confinato è stato implementato un modello matematico di flusso. Per il caso di specie è stato scelto un codice analitico di tipo commerciale e di ampio impiego professionale, idoneo allo studio di problematiche idrogeologiche anche complesse, sia in regime transitorio che permanente.

Il dominio modellizzato assume un'estensione areale intorno a 7.0 Km^2 ed è centrato sul campo di produzione di Fontaniva e sulle aree in disponibilità del Gestore per la realizzazione dei nuovi pozzi di captazione idropotabile.

Per quanto riguarda l'acquifero artesiano, oggetto della modellazione, i parametri idrogeologici in ingresso sono i seguenti:

1. conducibilità idraulica⁷ = 100 m/g;
2. bottom dell'acquifero = - 3 m s.l.m.;
3. top dell'acquifero = 5 m s.l.m.;
4. gradiente idraulico = $2 \cdot 10^{-3}$;
5. ricarica meteorica⁸ = 0;

⁴ acquifero non confinato interessato dalla contaminazione

⁵ corrispondente ad una quota assoluta intorno a 5 m s.l.m.

⁶ quasi 250 m di profondità dal p.c.

⁷ i dati di permeabilità ed immagazzinamento sono stati dedotti da prove sperimentali effettuate da A. Fileccia (1999) per conto del Gestore

⁸ parametro significativo solo in ambito regionalizzato e trascurabile per domini limitati quale quello in esame

6. coefficiente di immagazzinamento = $2.2E-05$;
7. fattore di drenanza⁹ = 0.

La conoscenza degli altri fattori che regolano il grado attuale di sfruttamento dell'acquifero è stata ampliata a considerare anche l'elenco dei pozzi artesiani in attività del Gestore e la stima delle portate singolarmente estratte dai pozzi esistenti. In aggiunta è stato analizzato il monitoraggio orario dei livelli piezometrici del sistema artesiano misurati presso il pozzo P4, impiegato come piezometro in acquisizione continua a partire dal 2003.

Dai valori suddetti, attraverso elaborazioni di tipo statistico finalizzate a chiarire la distribuzione di frequenza dei vari parametri, sono stati estrapolati valori numerici medi rappresentativi che esemplificano lo stato di fatto dei prelievi in essere.

Per la calibrazione del modello, rispettivamente svolta in regime stazionario ed in transitorio, sono state inoltre impiegate elaborazioni piezometriche storiche e dati desunti da prove di pompaggio pregresse (Fileccia, 1999).

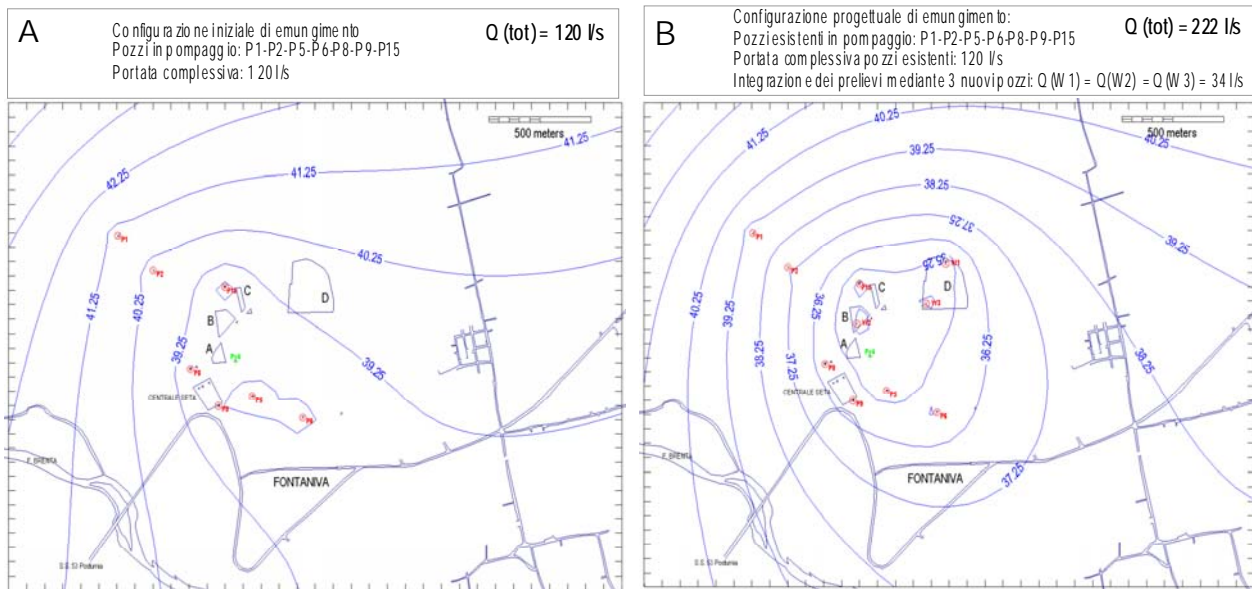


Figura 5 – Output grafici ad isopieze del modello matematico di flusso: A) stato di fatto, B) stato di progetto

Il primo scenario di calcolo (A, Fig. 5) illustra il campo di flusso del sistema confinato in condizioni medie con i pozzi pregressi in esercizio, secondo una portata di sfruttamento assimilabile ai 120 l/s ca. In tali condizioni la morfologia dei deflussi calcolati risulta peraltro del tutto confrontabile con elaborazioni di contouring del cielo piezometrico, desumibili da studi precedenti.

Lo scenario B tiene invece conto dei 3 nuovi pozzi di presa (W1..W3), complessivamente eroganti 100 l/s aggiuntivi: la portata complessiva estratta dal campo artesiano di Fontaniva in questo frangente risulta essere pertanto di circa 220 l/s.

L'entità degli abbassamenti incrementali di falda (depressurizzazione) rispetto alla condizione di sfruttamento nota a priori, può essere valutata dell'ordine di 3 - 4 metri. Le simulazioni, condotte comunque in un'ottica conservativa ed in regime di equilibrio, permettono di supportare in prima analisi la fattibilità idrogeologica dei nuovi punti di emungimento, in relazione soprattutto agli incoraggianti valori dei parametri idrogeologici dell'acquifero confinato.

DESCRIZIONE DELLE OPERE DI PRESA

La progettazione dei nuovi pozzi di presa ha tenuto in debita considerazione sia le questioni quantitative, relazionabili alle necessità di produzione acquedottistica nonché agli effetti di mutua interferenza attesi, che le problematiche qualitative, verificate nel settore di territorio in esame nella circolazione freatica.

Quanto sopra ha indotto ad adottare per la realizzazione dei nuovi pozzi i più prudenziali criteri tecnico-progettuali e costruttivi, al fine di ottimizzare la resa idraulica delle opere evitando al contempo che il circuito idrogeologico confinato e quello freatico potessero essere messi in comunicazione, con conseguente compressione del serbatoio profondo.

⁹ dalle prove sperimentali svolte da precedenti Autori si determina per il caso di specie l'assenza di condizioni di *leakage*; a tutt'oggi l'assenza oggettiva di contaminazione entro il sistema confinato conferma che l'idrostruttura profonda non riceve contributi alimentanti di sorta dalla superficie

Per queste motivazioni è stato previsto quanto a seguire dettagliato: (Fig. 6):

- ❑ perforazione iniziale del sottosuolo a largo diametro con il sistema a percussione ed infissione diretta di colonna metallica definitiva di avampo da 812 mm, preposta all'isolamento totale del sistema freatico;
- ❑ la tubazione, da svilupparsi in profondità con connessioni a saldatura, è stata immersata per almeno 2.0 - 3.0 m nei terreni coesivi a matrice argillosa che costituiscono il *bottom* del sistema idrogeologico contaminato;
- ❑ a seguire è stata prevista la ripresa della terebrazione entro l'avampo, ancora con il sistema a percussione, impiegando una colonna provvisoria da 600 mm;
- ❑ il perforo è stato condotto fino alla totale intercettazione dell'acquifero confinato profondo;
- ❑ entro il tubo-guida è stata messa in posa la colonna definitiva del pozzo (in acciaio zincato da 508 mm x 6.0 mm di spessore), resa coassiale con quella di manovra a mezzo di opportuni distanziatori;
- ❑ il tubo definitivo è stato altresì dotato di idoneo tratto filtrante del tipo a ponte (slot = 2.0 mm) in corrispondenza all'orizzonte produttivo da captare;
- ❑ è seguita l'estrazione del tubo-guida ed il completamento dell'opera, mediante la posa dei drenaggi (ghiaietto siliceo 3.0 / 4.0 mm) ed il getto delle cementazioni e la realizzazione dei tamponi bentonitici (compactonit granulare);
- ❑ l'isolamento finale del pozzo è garantito a mezzo di iniezione di malta cementizia nell'intercapedine tra colonna definitiva ed il tubo di avampo, pompata in pressione a mezzo di apposite aste dal livello sommitale del tampone di isolamento fino alla superficie;
- ❑ in avanzamento di perforazione sono stati composti campioni di terreno ogni 5 m di avanzamento o comunque ad ogni cambio litologico significativo, per svolgere analisi granulometriche di laboratorio, necessarie per tarare adeguatamente lo schema finale delle parti filtranti (diametri e tipologia dei drenaggi e dei filtri);
- ❑ il pozzo è stato infine sviluppato con operazioni di pistonaggio, preposte all'assestamento dei manti filtranti ed all'esaurimento dei fini (torbidità) fino ad ottenimento di acqua chiara.
- ❑ in ottemperanza alle vigenti normative in materia di ricerca, estrazione ed utilizzo di acque sotterranee per usi diversi da quello domestico, tutte le informazioni tecniche inerenti gli effetti idrogeologici specifici indotti dai prelievi in argomento sulle riserve idriche sotterranee sono state debitamente dettagliate in apposita relazione tecnica dopo lo svolgimento delle prove di collaudo e notificate agli enti di competenza (L. 464/84).

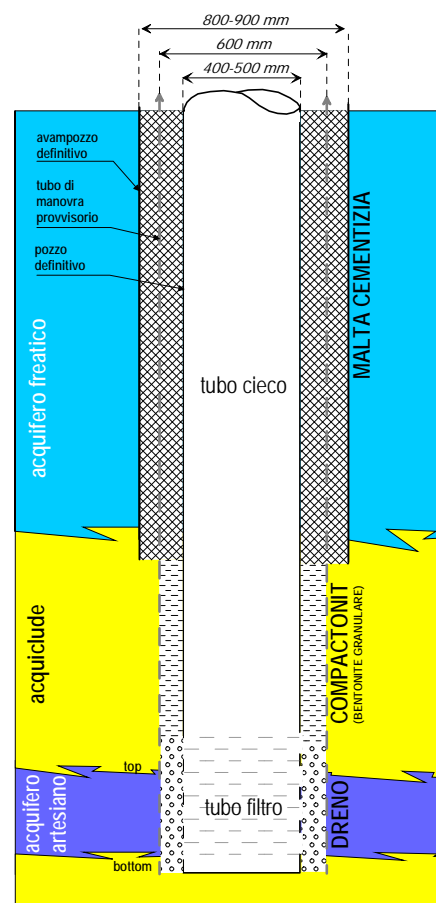


Figura 6 - Schema concettuale di completamento dei nuovi pozzi di captazione

I pozzi P16, P17 e P18 sono stati realizzati tra il novembre 2005 ed il marzo 2006 dalla società specializzata Artesia SpA di Nogara (VR) sotto il controllo degli scriventi, risultando infine le seguenti caratteristiche di completamento (Tabella 1):

ID Pozzo	Profondità (m da p.c.)	1° filtro (m da p.c.)	2° filtro (a da p.c.)
P16	59.0	40.0 - 46.0	52.0 - 55.0
P17	58.5	41.5 - 47.5	52.7 - 55.7
P18	68.5	38.0 - 50.0	56.5 - 65.5

L'analisi delle stratigrafie elaborate durante la perforazione ha consentito di completare la conoscenza del quadro geolitologico di dettaglio dell'area. Le stratigrafie dei pozzi P16 e P17, posti a ca. 150 metri di distanza l'uno dall'altro, mettono in luce una successione stratigrafica schematizzabile come a seguire esposto:

- da 0 a 15-16 m ghiaia e ciottoli,
- da 15-16 a 37-38 m argilla e limo
- da 37-38 a 40-41 m argilla e torba
- da 40-41 a 46-47 m ghiaia e sabbia
- da 46-47 a 52 m argilla
- da 52 a 55 m sabbia e ghiaia
- da 55 a 59 m argilla e torba

Il punto P18, che si trova invece a 500 metri circa a nord-est rispetto agli altri due pozzi, presenta una sequenza litologica in parte differente, caratterizzata da un maggiore spessore di acquifero, laddove il livello ghiaioso si estende fino a 66.50 metri di profondità.

RISULTATI DELLE PROVE IDRAULICHE

Presso i nuovi pozzi di Fontaniva sono state effettuate varie prove di pompaggio al fine di valutare i parametri più significativi che regolano la produttività del sistema acquifero locale e per studiare al contempo le risposte agli emungimenti imposti da parte del corpo idrico intercettato. Sono state eseguite nel complesso prove distinte "a pozzo singolo", in differenti date e configurazioni, ed una prova di interferenza di lunga durata, organizzata dopo il completamento impiantistico del campo di produzione artesiano. Le prove idrauliche a pozzo singolo sono state svolte tramite l'utilizzo di pompe di cantiere, installate provvisoriamente nei pozzi dalla ditta di perforazione affidataria e lavori, mentre la misurazione delle portate è stata effettuata tramite l'utilizzo di contatori di tipo magnetico.

L'impianto di prova è stato inoltre sistematicamente dotato di una saracinesca per la modulazione delle portate di esercizio. Lo scarico delle acque di falda è avvenuto con recapito entro il reticolo superficiale di drenaggio, costituito da scoli e rogge che non hanno alcun collegamento idraulico con il sistema confinato.

Per quanto attiene invece alle misure di livello, ci si è avvalsi di strumentazioni ad acquisizione automatica ed in continuo, quali trasduttori di pressione piezoresistivi a battente piezometrico connessi ad una centralina multicanale.

Relativamente alle prove di pozzo (*well test*) i dati acquisiti sono stati analizzati secondo il metodo di Jacob, per ricavare la curva caratteristica e, quindi, valutare le perdite di carico legate ai moti darcyani in acquifero e quelle non lineari dipendenti dal passaggio idrico attraverso i filtri del pozzo; la **Tabella 2** illustra i parametri principali desunti dall'elaborazione dei dati sperimentali di cui alle prove a gradini (*step drawdown test*):

ID Pozzo	Q _{max} SDT (l/s)	Q _s (l/s/m)	B (s/m ²)	C (s ³ /m ⁶)
P16	37.0	7.0	92.3	1673.4
P17	55.0	3.1	277.8	551.7
P18	73.5	14.5	50.2	238.9

Le elaborazioni grafiche ottenute plottando per ciascun pozzo i dati di Q²/s vs. Q evidenziano, se pur con andamenti differenziali, il non raggiungimento delle condizioni critiche di sfruttamento alle portate di prova.

La produttività intrinseca del pozzo P18 risulta più elevata rispetto agli altri due punti di captazione, con ogni probabilità a causa delle mutate condizioni idrogeologiche del sottosuolo, cui consegue una maggiore trasmissività idraulica.

Per quanto concerne la parametrizzazione idrogeologica, l'esecuzione di prove di lunga durata (*aquifer test*) ha dato modo di aggiornare la caratterizzazione quantitativa dell'idrostruttura captata: i parametri medi calcolati per l'acquifero in studio presso il settore di territorio in argomento sono i seguenti:

- Trasmissività idraulica (T) = $1.5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$,
- Coefficiente d'immagazzinamento (S) = $6.9 \cdot 10^{-5}$.

Per verificare infine l'entità delle interferenze sulla idrostruttura captata dovute al contemporaneo utilizzo delle tre opere di presa è stata eseguita una prova di pompaggio in simultanea, mettendo in emungimento progressivo i pozzi P16, P17 e P18 a partire dal giorno 23.05.2007. Il monitoraggio in continuo delle portate estratte e dei livelli piezometrici è stato effettuato su molteplici pozzi del sistema confinato e su altri di quello freatico e protratto fino al 14.06.2007, data in cui i nuovi pozzi P16, P17 e P18 erogavano in aggiunta alle altre prese attive del Gestore una portata integrativa di circa 110 l/s.

In sintesi i tracciati piezometri acquisiti non hanno messo in evidenza alcun segnale di criticità, nonostante la compresenza di altri emungimenti, talora anche privati, che si sovraimpongono ai pompaggi esercitati.

Gli abbassamenti piezometrici effettivi della tavola d'acqua, calcolabili a partire dai valori sperimentali misurati in campo previa depurazione delle perdite di carico non lineari in colonna, appaiono del tutto compatibili con le previsioni del modello matematico.

Il sistema artesiano oggetto dello sfruttamento risulta altresì svincolato in maniera permanente dalla circolazione freatica contaminata sotto il profilo dell'andamento piezometrico: tale riscontro trova ulteriori importanti conferme dai dati delle analisi chimiche di laboratorio delle acque sotterranee, svolte dal Gestore sul periodo ed attestanti il sistematico rispetto dei Valori di Parametro di cui al D. Lgs. 31/01 per le acque destinate al consumo umano.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le indagini idrogeologiche, condotte presso il nuovo campo di produzione ETRA Spa di Fontaniva, intercettante il sistema confinato, possono essere ritenute senza dubbio significative per quanto attiene la caratterizzazione idraulica delle singole opere di presa e la parametrizzazione idrogeologica del sottosuolo presso il settore di territorio indagato. La validazione del quadro

idrogeologico risultante è derivata in primo luogo dalla positiva interpretazione dei dati sperimentali raccolti in campo e secondariamente dal confronto dei risultati con quanto desumibile dagli studi pregressi e con il modello previsionale di flusso, con cui era stata confermata una generale prefattibilità delle opere ed una complessiva sostenibilità dei prelievi di progetto.

Da tutto quanto sopra esposto è possibile affermare che pompaggi, anche continuati nel tempo, con regimi di emungimento medi e contemporanei anche superiori ai 100 - 120 l/s, sono del tutto compatibili con la produttività dell'acquifero confinato esaminato e conformi all'attuale situazione impiantistica dei pozzi di presa P16, P17 e P18.

In definitiva, sulla scorta delle indagini idrogeologiche condotte, è lecito escludere, per quanto di competenza tecnica, che gli emungimenti effettuati da ETRA Spa mediante i nuovi pozzi rechino conseguenze geoambientali negative nei riguardi di altre opere di presa limitrofe o, più in generale, dell'equilibrio locale delle risorse idriche sotterranee.

In linea con i più autorevoli standard gestionali a livello internazionale si tiene inoltre a sottolineare che anche mediante attività di monitoraggio e di controllo del territorio, sarà possibile mantenere a medio-lungo termine la qualità del servizio pubblico acquedotto stico. Tali precauzioni dovranno essere espletate sia presso il campo di produzione, per il controllo locale dell'assetto idrogeologico, ma soprattutto nelle zone sopragradiante, con opportuni piezometri-spia posti a presidio della testata dell'acquifero produttivo.

Opportuni programmi di campionamento con relative mappature periodiche e sistematiche possono in tal senso costituire il presupposto attuativo del criterio di protezione dinamica che, associato alla perimetrazione delle aree di rispetto¹⁰ dei pozzi ed alla corretta politica urbanistica del territorio, rappresentano l'unico *modus operandi* per una gestione seria ed una tutela preventiva delle risorse idriche sotterranee.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato reso possibile grazie alla disponibilità di ETRA SpA: si intende esprimere un particolare ringraziamento a M. Bacchin, G. Baldan, D. Martini, E. Negri e G. Zanon, per la loro assidua e fattiva partecipazione nel corso delle attività progettuali ed esecutive.

Si ringrazia infine F. Mion di ARPAV – Osservatorio Regionale Acque per la fornitura dei dati sulla contaminazione della falda freatica e per le utili discussioni sul tema.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- C.N.R., REGIONE VENETO, U.L.L.S. 5, 1988 - Difesa degli acquiferi dell'alta pianura veneta. Stato di inquinamento e vulnerabilità' delle acque sotterranee del bacino del Brenta. Venezia.
- FILECCIA A., 1999 – Caratterizzazione dei pozzi di emungimento e degli acquiferi utilizzati a scopo potabile. Campo pozzi di Fontaniva, Padova. Consorzio Alta Servizi, Cittadella. Inedito.
- KRUSEMAN G.P., de RIDDER N.A. , 1992 – Analysis and evaluation of pumping test data- ILRI, Wageningen, The Netherlands.
- SOTTANI A., PEDRON R., 2004 – Indagini idrogeologiche preliminari a supporto della domanda per il nulla osta alla terebrazione di pozzi per acqua ad uso idropotabile. SETA Spa, Inedito.
- SOTTANI A., PEDRON R., 2007 – Indagini idrogeologiche a supporto dell'istanza di concessione per i nuovi pozzi ad uso idropotabile in comune di Fontaniva (PD). ETRA SpA, Inedito

¹⁰ definita "ristretta" sulla base dell'isocrona 60 gg. ed "allargata" per tempi di scurezza pari a 180-365 gg. (cfr. Accordo di programma Stato-Regioni del 12.12.2002 – pubbl. G.U. 03.01.2003 - s.g. n. 2)