

Definizione del bilancio idrogeologico nella zona di media pianura veneta ricadente nell'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia"

T. Cambruzzi (*), E. Conchetto (*), P. Fabbri (°),
E. Marcolongo (°), A. Rosignoli (°), P. Zangheri (°)

Riassunto

L'area di studio ricopre una zona di media pianura di circa 200 Km², che è compresa tra le province di Venezia e Treviso ed è delimitata a nord dal limite superiore delle risorgive ed a sud dal "limite di risorsa idropotabile", così definito per il carattere di pregio qualitativo delle acque sotterranee ivi presenti.

Nella zona oggetto dello studio sono stati identificati 10 acquiferi confinati e sovrapposti, sfruttati sia da enti pubblici che da soggetti privati, da questi ultimi spesso anche in maniera poco razionale.

Il bilancio idrogeologico stimato in questa zona ha indicato nella sezione a monte un volume in entrata di 442 Mm³/anno e nella sezione a valle un volume di uscite pari a circa 170 Mm³/anno; le portate artificialmente estratte tramite pozzi ammontano a circa 260 Mm³/anno, di cui il 55,7% estratto da pozzi privati e il 44,3% da acquedotti.

Key words: bilancio idrogeologico, media pianura veneta, AATO Laguna di Venezia, Veneto.

Introduzione

Il controllo della risorsa idropotabile disponibile nel territorio oggetto di studio è tra le competenze dell'Autorità d'Ambito Laguna di Venezia. Istituito con L.R. 5/98, l'AATO ha il compito di governare nel proprio Ambito

Territoriale Ottimale (ATO) il Servizio Idrico Integrato (L. 36/94), e cioè ha in capo l'attività di pianificazione e controllo dei pubblici servizi di acquedotto, fognatura e depurazione. Gli acquiferi dai quali trae alimentazione il Servizio Idrico Integrato sono oggetto di prelievi d'acqua anche da parte di soggetti privati e questo potrebbe determinare uno stato di stress per la risorsa. Di fronte ad una situazione piuttosto critica dello stato di salute del patrimonio idrico sotterraneo (Dazzi R. et al., 2000), l'AATO Laguna di Venezia ha individuato, in fase di stesura del Piano d'Ambito, delle linee strategiche di intervento relative all'area della risorsa che riguardano azioni orientate in modo specifico alla tutela ed alla salvaguardia della risorsa idrica in termini qualitativi e quantitativi, alla pianificazione ed allo sviluppo sostenibile dell'uso dell'acqua, alla gestione efficace ed efficiente del servizio idrico integrato ed alla tutela del consumatore. Proprio in quest'ottica l'AATO Laguna di Venezia ha avviato sin dal 2005 una serie di attività finalizzate ad aumentare le conoscenze sul sottosuolo e sulle acque sotterranee nel suo territorio, in modo da poter pianificare gli interventi atti a soddisfare la richiesta idrica in ragione della reale disponibilità della risorsa e di uno sviluppo ecosostenibile.

Lo studio della risorsa, finalizzato alla redazione di un bilancio idrogeologico come strumento necessario per la programmazione della gestione della risorsa idropota-

(*) Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale Laguna di Venezia (AATO LV), Via Pepe 102, 30172 Mestre (Venezia)

(°) Università di Padova, Dipartimento di Geoscienze, Via Gradenigo, 6 - 35131 Padova



Figura 1. a) struttura dell'alta e media pianura veneta; b) area di studio, compresa tra il limite superiore delle risorgive o "fontanili" ed il limite idropotabile; c) immagine di un fontanile.

bile, ha previsto una serie di studi sull'idrogeologia della zona, dalla ricostruzione stratigrafica alla parametrizzazione degli acquiferi con misure in sito.

Descrizione generale dell'area di studio

Localizzata in Veneto, in una zona di media pianura tra le province di Treviso e Venezia, l'area di studio presenta un'estensione di circa 200 Km² ed è compresa tra il limite superiore delle risorgive a nord ed il limite idropotabile a sud. Il limite idropotabile è stato definito sulla base della qualità delle acque e della quantità di pozzi presenti sul territorio; a sud di questo limite il numero di punti di prelievo diminuisce drasticamente. L'area studiata è caratterizzata dall'intervallarsi di depositi di origine fluviale di due diversi bacini idrografici (bacino del F. Brenta e bacino del F. Piave) e di quelli derivanti da eventi di trasgressione marina. Gli eventi deposizionali hanno dato origine ad un complesso si-

stema multifalde costituito da livelli ghiaiosi e sabbiosi sub-orizzontali separati tra loro da materiale limoso-argilloso impermeabile (Cucchi et al., 2008; Vorliceck et al., 2004). Parte di questa zona di media pianura, definita per qualità e quantità delle acque sotterranee "area di risorsa idropotabile", ricade nel territorio AATO Laguna di Venezia e da quest'area viene prelevata l'acqua per uso acquedottistico destinata a numerosi comuni dell'entroterra lagunare veneziano e per l'intera città di Venezia (Cambruzzi T. et al., 2008).

Bilancio idrogeologico

La redazione di un bilancio idrogeologico in un'area di media pianura, costituita da acquiferi confinati, riguarda le entrate e le uscite di acqua sotterranea dal sistema idrogeologico oggetto dello studio. Per quantificare i volumi d'acqua mobilitati è però indispensabile conoscere gli esatti spessori degli acquiferi ed i loro parametri

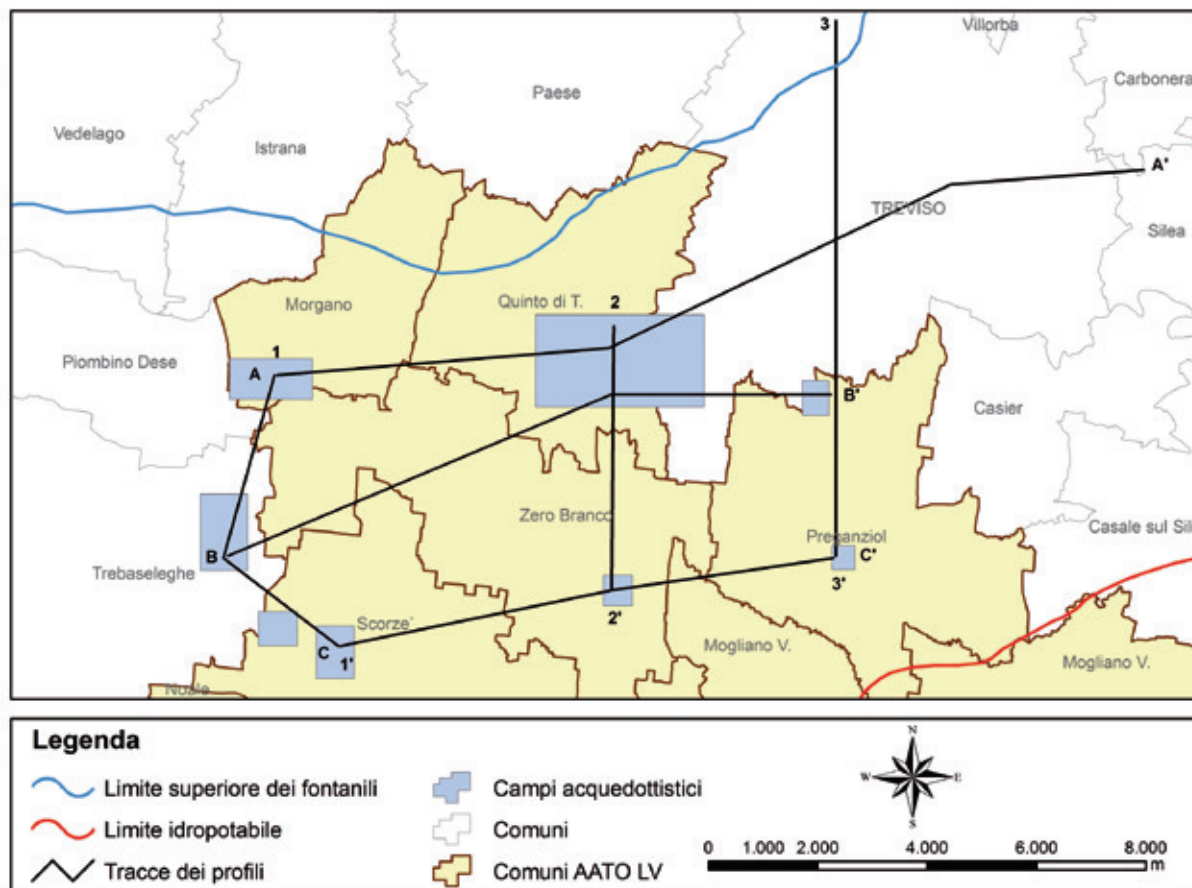


Figura 2. Tracce dei profili realizzati per la ricostruzione stratigrafica.

idrogeologici caratteristici. È necessario pertanto operare partendo da una dettagliata ricostruzione stratigrafica dell'area di indagine, basandosi sulle stratigrafie presenti nel territorio.

In questa zona è presente una grande quantità di stratigrafie sia di pozzi acquedottistici che di pozzi privati (Bullo P. et al., 1992). La ricostruzione stratigrafica è stata realizzata impostando sei profili geologici ed idrogeologici, tre in direzione Nord-Sud e tre in direzione Est-Ovest (figura 2). La ricostruzione litostratigrafica si è basata sulle stratigrafie dei pozzi acquedottistici ricorrendo, ove necessario, ad informazioni derivate da stratigrafie di pozzi privati.

Il riconoscimento e la suddivisione dei vari livelli acquiferi è stato possibile anche grazie al confronto tra i valori di temperatura e conducibilità delle acque. Sono stati così riconosciuti 10 livelli acquiferi sovrapposti, da 15 a più di 310 metri di profondità dal piano campagna (figura 3). Gli acquiferi sono tutti artesiani, ad eccezione del primo, artesiani solo in zona Zero Branco (TV).

Per ogni acquifero è stata definita la profondità media del tetto e del letto e quindi un range medio di spessore per tutta la zona di risorsa idropotabile dell'AATO Laguna di Venezia.

Tabella 1. Range di profondità dal piano campagna dei vari acquiferi.

Acquifero	Profondità da p.c. (m)
I	15-60
II	65-90
III	100-120
IV	130-140
V	145-160
VI	180-200
VII	210-220
VIII	230-260
IX	270-310
X	>310

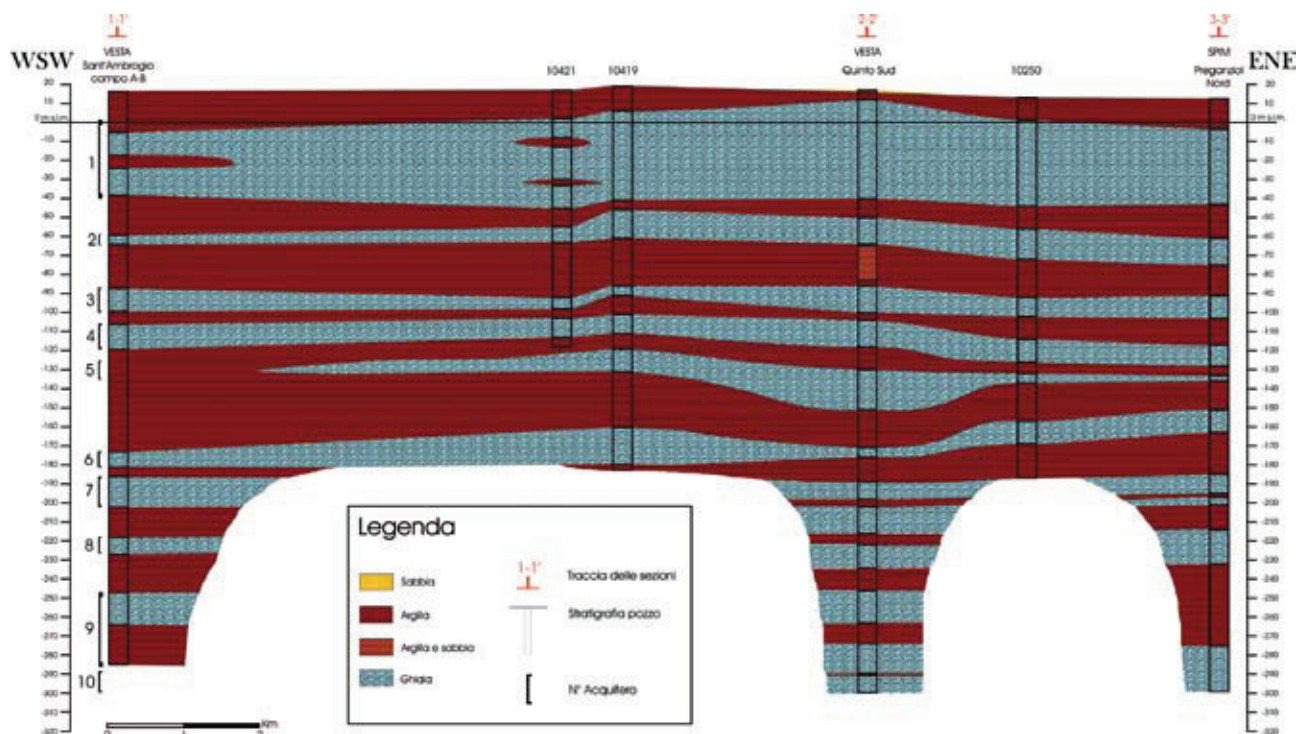


Figura 3 - Profilo stratigrafico B-B

Una volta ricostruiti gli acquiferi si è passati a definire i parametri idrogeologici di ogni singolo acquifero.

La parametrizzazione idrogeologica è stata eseguita tramite test in sito quali prove di falda e di pozzo, che permettono di ottenere i valori di trasmissività, permeabilità ed, in certi casi, anche del coefficiente di immagazzinamento dell'acquifero.

Sono state svolte 100 prove, in parte su pozzi acquedottistici ed in parte su pozzi privati. Su tutti i pozzi, su cui sono state eseguite le prove, è stata effettuata una preventiva campagna di indagine per verificare, ad esempio, l'effettiva profondità del pozzo, tramite comparazione del livello potenziometrico con quello di altri pozzi limitrofi appartenenti alla stessa falda.

Le prove di falda consentono di parametrizzare in maniera corretta l'acquifero, permettendo di ricavare trasmissività, permeabilità e coefficiente di immagazzinamento. Questo tipo di prova viene eseguita in configurazione pozzo-piezometro. In alcuni casi sui pozzi acquedottistici è stato possibile svolgere questa tipologia di prova tenendo in osservazione anche più di un piezometro.

Sui pozzi privati questo tipo di prova viene normalmente eseguita su due pozzi della stessa falda sufficientemente

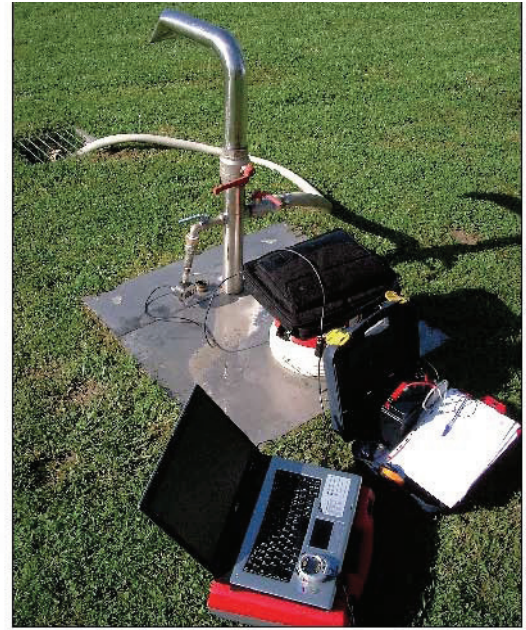
vicini tra loro (max 100 metri), ma nello stesso tempo abbastanza isolati rispetto ad altri pozzi della stessa profondità, che potrebbero in qualche modo alterare la prova.

In questa zona i pozzi privati su cui si sono svolte le prove sono tutti artesiani; pertanto la prova è stata eseguita sfruttando la depressione che si viene a creare con la sola apertura della saracinesca in boccapozzo. Nell'elaborazione delle prove di falda sono state considerate sia le fasi di discesa che quelle di risalita; in questo modo è stato possibile ottenere un valore di trasmissività più preciso. I dati sono stati elaborati utilizzando la soluzione di Theis (*Theis C.V., 1935*) per acquiferi confinati omogenei ed isotropi.

Le prove di pozzo a gradini di portata sono in genere utilizzate per un'analisi delle caratteristiche del pozzo e per valutarne efficienza ed indice di produttività. Tuttavia da questo tipo di prova è possibile ricavare, tramite relazioni empiriche, un valore approssimativo della trasmissività dell'acquifero (*Fabbri P., 1997; Hamm S-Y. et al., 2005; Huntley D. et al., 1992; Jalludin M. et al., 2004; Razack M. et al., 1991; Razack M. et al., 2007; Srivastav S.K et al., 2007*); quindi dove non è stato possibile eseguire le prove di falda sono state effettuate



Pozzo in pompaggio



Piezometro di osservazione

Figura 4. Esempio di due pozzi utilizzati per la prova in configurazione pozzo-piezometro (prova di falda).
 Nell'immagine a destra si può vedere la strumentazione di monitoraggio utilizzata nel piezometro di osservazione

prove di pozzo singolo a gradini di portata. Tramite le prove di pozzo è stato possibile ricavare la curva caratteristica del pozzo ($\Delta=BQ+CQ^2$, denominata equazione di Jacob) (Jacob C.E., 1950), che consente di separare le perdite lineari di acquifero (BQ) da quelle quadratiche di pozzo (CQ^2). Le relazioni empiriche desunte dalla bibliografia per ricavare un valore di trasmittività, sono state applicate considerando le sole perdite di acquifero (BQ). Il disporre di numerose prove di pozzo consente di ottenere valori di trasmittività meno precisi ma con una maggiore distribuzione spaziale sul territorio in esame. A seguito della grande diffusione di pozzi privati (circa 8000) (Dazzi R. et al., 2000) nel territorio esaminato e della difficoltà nel reperire siti idonei ad eseguire prove di falda, è in fase di sperimentazione una relazione empirica, di tipo lineare, che consenta di correlare le prove di falda con prove di pozzo. La possibilità di ricavare una relazione nelle specifiche condizioni operative e direttamente nell'area studiata, consentirebbe di ottenere da prove di pozzo valori di trasmittività molto più attendibili rispetto a quelli finora ricavati solamente da relazioni empiriche dedotte dalla bibliografia. Dalle analisi effettuate risulta infatti che le relazioni desunte dalla bibliografia tendono a sottostimare il valore di trasmittività nell'area esaminata (Fabbri P. et al., 2008). La trasmittività calcolata nei differenti acquiferi e nelle

differenti zone varia tra 1,1 e $5,8E-03$ m²/s. Una volta definite le caratteristiche di spessori e trasmittività dei corpi acquiferi sotterranei, si è passati alla ricostruzione di carte isopotenzimetriche relative ai diversi acquiferi studiati (Fabbri P. et al., 2007). Su una maglia regolare di 1 km di lato a copertura dell'intera area di studio, sono state misurate le pressioni di falda in 150 pozzi uniformemente distribuiti; tali misure, una volta eseguita anche la campagna di rilievo altimetrico delle bocche pozzo tramite GPS, hanno consentito la realizzazione delle carte ad isopotenziali (figura 5). Per individuare le sezioni in ingresso ed in uscita del flusso sotterraneo su cui valutare il bilancio idrogeologico, è stato necessario definire la direzione di deflusso delle acque sotterranee, in modo da impostare le sezioni ortogonalmente a tale deflusso. Le sezioni considerate hanno una lunghezza di circa 19 km e si estendono anche al di fuori dell'area di competenza AATO Laguna di Venezia (figura 6). Le linee isopotenziali mostrano mediamente per tutte le falde una direzione generale di flusso Nord-Ovest Sud-Est; tuttavia ogni falda possiede un proprio livello potenziale diverso dalle altre. Una volta ricostruite le carte ad isopotenziali è stato quindi possibile definire un gradiente idraulico nelle varie zone di interesse, che

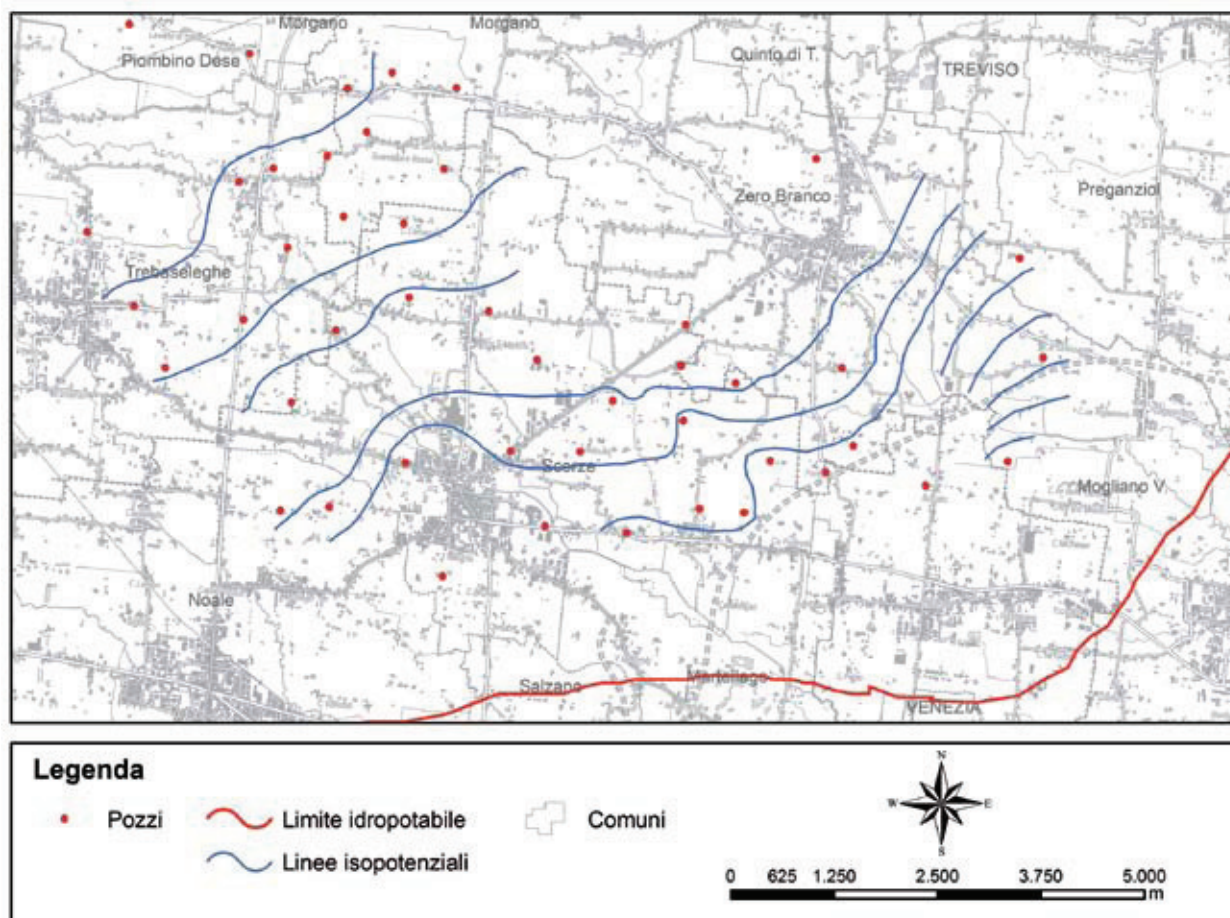


Figura 5 – Carta ad isopotenziali del nono acquifero.

varia tra 0,06% e 0,21% (Cambruzzi et al, 2008), e che rappresenta uno dei parametri fondamentali per il calcolo dei flussi sotterranei.

Di seguito viene riportata la tabella 2 con i range di trasmissività e gradiente misurati nei diversi acquiferi.

Il bilancio idrogeologico è stato calcolato considerando una sezione in entrata nel sistema ed una sezione in uscita, ortogonalmente alla direzione di deflusso delle acque sotterranee e si è inoltre considerata una sezione in posizione intermedia (Zangheri et al., 2001).

La portata fluente in entrata ed uscita è stata calcolata utilizzando la legge di Darcy:

$$Q = T \times i \times L$$

dove: Q è la portata fluente nel sottosuolo; T è la trasmissività, ricavata dalle prove idrogeologiche; i è il gradiente idraulico, ricavato dalle carte ad isopotenziali; L è la larghezza della sezione.

La trasmissività ed il gradiente idraulico non sono stati considerati costanti su tutta la sezione, ma sono stati

fatti variare a seconda dei risultati delle prove e delle isopotenziali presenti nelle varie zone. Ove fossero presenti diverse prove vicine tra loro è stato utilizzato il loro valore di trasmissività medio. *Tra le portate in uscita del bilancio sono stati considerati i prelievi da parte di pozzi pubblici e privati; si sono quindi stimati anche i quantitativi di acqua artificialmente estratti.*

Tabella 2. Range di trasmissività e gradiente misurati nei diversi acquiferi.

Acquifero	$T (m^2/s)$	$i \%$
I	6E-02 ÷ 2,6E-01	0,06% ÷ 0,14%
II	5,6E-02 ÷ 6,4E-02	0,10%
III	5,8E-03 ÷ 4,6E-02	0,06% ÷ 0,14%
IV	3,1E-02 ÷ 9,6E-02	0,10% ÷ 0,12%
V	1,7E-02 ÷ 3,3E-02	0,10% ÷ 0,14%
VI	7,9E-03 ÷ 2,2E-01	0,06% ÷ 0,14%
VII	8,6E-03 ÷ 8,8E-02	0,06% ÷ 0,15%
VIII	1,3E-02 ÷ 5,6E-02	0,08% ÷ 0,16%
IX	1,2E-02 ÷ 1,6E-01	0,06% ÷ 0,21%

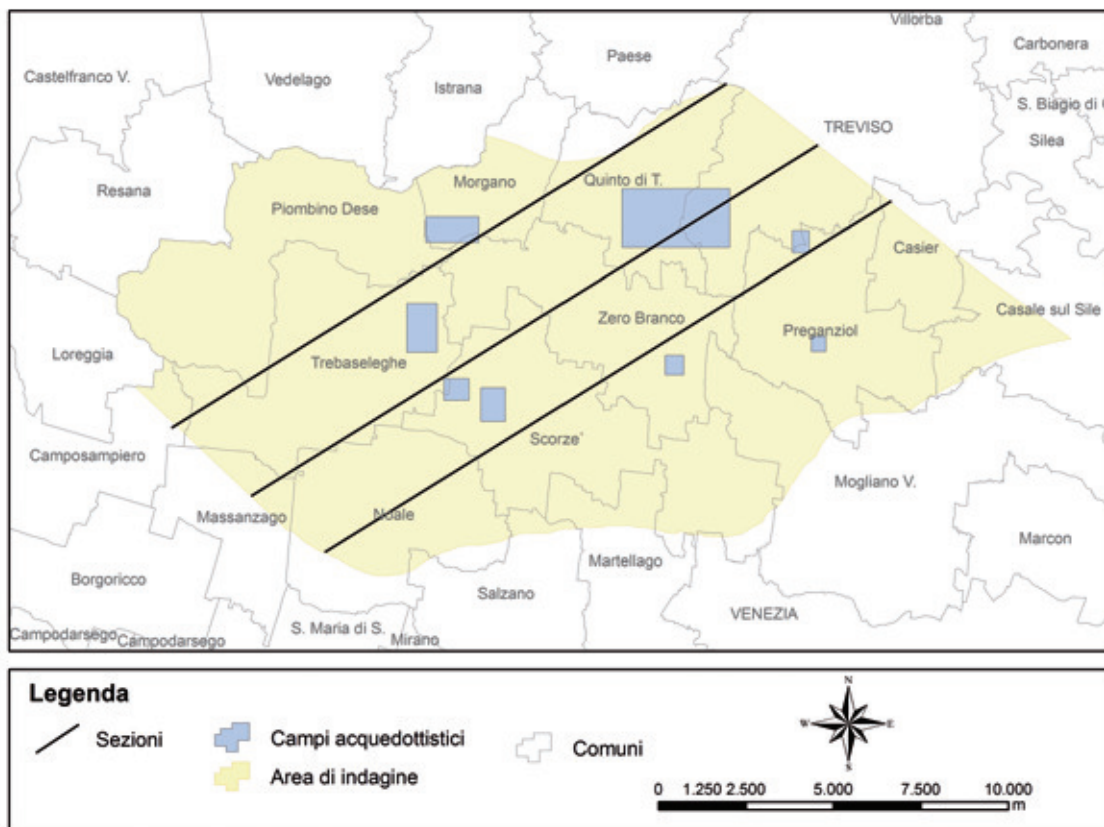


Figura 6. Traccia delle sezioni considerate per il bilancio idrogeologico ed area di interesse.

L'analisi ha riguardato gli acquiferi fino a 300 metri di profondità, ovvero dal primo al nono, mentre il decimo acquifero per mancanza di sufficienti informazioni non è stato oggetto dello studio. La stima del volume acquifero, derivata dalla ricostruzione stratigrafica, ha evidenziato che il primo acquifero è quello di maggiori dimensioni. A livello di bilancio idrogeologico complessivo per tutti gli acquiferi in esame, il volume d'acqua che entra (Q_{in}) nel sistema nella sezione a monte è dell'ordine di $442 \text{ Mm}^3/\text{anno}$, ciò che esce (Q_{out}) è invece dell'ordine di $170 \text{ Mm}^3/\text{anno}$. Le portate totali estratte artificialmente tramite pozzi ($Q_{estratta}$) sono complessivamente pari a $262 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ e derivano per la maggior parte da pozzi privati, che estraggono circa $147 \text{ Mm}^3/\text{anno}$, prevalentemente dal primo e dal nono acquifero, mentre gli acquedotti estraggono circa $115 \text{ Mm}^3/\text{anno}$, in prevalenza dal primo acquifero.

Vengono riportati in tabella 3 i dati relativi al bilancio per tutti gli acquiferi indagati.

Conclusioni

L'elaborazione dei dati raccolti in due anni di lavoro ha permesso di quantificare i volumi d'acqua entranti ed

uscanti dal sistema, considerando anche le portate artificialmente estratte da soggetti pubblici e privati.

A livello di bilancio idrogeologico complessivo per i nove acquiferi analizzati, il volume d'acqua che entra nel sistema lungo la sezione a monte è di $442 \text{ Mm}^3/\text{anno}$, quello che esce nella sezione a valle è di $170 \text{ Mm}^3/\text{anno}$. Le portate totali estratte tramite pozzi sono complessivamente pari a circa $262 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ e derivano per la maggior parte da pozzi privati, che estraggono circa il 56,2% del totale, contro il 43,8% estratto dagli acquedotti.

Il bilancio ha avuto lo scopo di valutare i quantitativi d'acqua mobilitati nel sistema e ha mostrato attualmente un sostanziale equilibrio tra la risorsa al momento disponibile ed i quantitativi d'acqua richiesti. Le estrazioni nel complesso avvengono soprattutto dal primo e dal nono acquifero, mentre le falde meno sfruttate sono la seconda e la terza.

Bibliografia

Bullo P., Dal Prà (1992) - *Lo sfruttamento ad uso acquedottistico delle acque sotterranee dell'alta pianura alluvionale veneta*. Geologica Romana, vol. XXX, pp. 403-410, "Atti II Conv. Naz. Giovani Ricercatori in Geol. Appl.". Viterbo 28-31 ottobre 1992.

Tabella 3 – Valori relativi al bilancio idrogeologico per gli acquiferi indagati.

Acquifero	Q _{in} (Mm ³ /a)	Q _{out} (Mm ³ /a)	Q _{in} - Q _{out} (Mm ³ /a)	Q _{estratta}		
				Totale (Mm ³ /a)	% privato	% pubblico
I	124,5	45,2	79,3	74,2	27%	73%
II	38,5	33,6	4,9	3,2	100%	-
III	16,5	12,6	3,9	3,5	100%	-
IV	57,3	24,0	33,3	32,8	31%	69%
V	19,8	13,9	5,9	5,5	96%	4%
VI	26,2	9,8	16,5	12,8	100%	-
VII	31,5	11,2	20,3	18,8	90%	10%
VIII	53,7	8,3	45,3	44,3	95%	5%
IX	74,3	10,8	63,5	66,7	49%	51%
X	-	-	-	-	-	-
TOTALE	442,3	169,4	272,9	261,8		

Cambruzzi T., Conchetto E., Fabbri P., Marcolongo E., Rosignoli A. & Zangheri P. (2007) - *Hydrostratigraphical situation of the deep aquifers in the Venetian inland (NE Italy)*. In: Proceeding of XXXV Congress of International Association of Hydrogeologist I.A.H. (Abstract), Lisbona, P.

Cambruzzi T., Conchetto E., Fabbri P., Marcolongo E., Rosignoli A. & Zangheri P. (2008) - *Piano per la definizione del bilancio idrogeologico nell'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia"*. Convenzione di Ricerca A.A.T.O. L.V., Università degli Studi di Padova, inedito.

Cambruzzi T., Conchetto E., Fabbri P., Marcolongo E., Rosignoli A. & Zangheri P. (2008) - *La risorsa idrica sotterranea nella zona di media pianura veneziana*. In: Atti 3° Congresso Nazionale A.I.G.A. (Abstract), San Giovanni Valdarno (AR).

Consorzio Acquedotto del Tergola (1989) - *Ricerca idrogeologica di nuove fonti idriche sull'area del Consorzio*, Relazione Tecnica, inedito.

Cucchi F., Franceschini G., Zini L. (2008) - *Hydrogeochemical investigations on groundwater provinces of the Friuli Venezia Giulia aquifers, north-eastern Italy*. Environmental Geology, vol. 55, pp. 985-989.

Dazzi R., Gatto G., Mozzi G., Zambon G., Govi M., Rusconi A., Baldin G., De Girolamo R., Ferla M., Conchetto E. & Maticchio B. (2000) - *Salvaguardia del patrimonio idrico sotterraneo del Veneto: cause del depauperamento in atto e provvedimenti urgenti da adottare*. C.N.R.-I.S.D.G.M.

Fabbri P. (1997) - *Transmissivity in the geothermal Euganean basin: a geostatistical analysis*. Ground Water 35(5): 881-887.

Fabbri P., Marcolongo E., Rosignoli A. & Zangheri P. (2007) - *Deep aquifer regimes in the Venetian plain (NE Italy)*. In: Proceeding of XXXV Congress of International Association of Hydrogeologist I.A.H. (Abstract), Lisbona, P.

Fabbri P., Marcolongo E., Rosignoli A. & Zangheri P. (2008) - *Hydrogeological characteristics of some artesian aquifers in the middle Venetian plain (NE Italy)*. In: Proceeding of XXXIII International Geological Congress (Abstract), Oslo, N.

Hamm S-Y., Cheong J-Y., Jang S., Jung C-Y., Kim B-S. (2005) - *Relationship between transmissivity and specific capacity in the volcanic aquifers of Jeju Island, Korea*. J. Hydrol. 310:111-121.

Huntley D., Nommensen R., Steffey D. (1992) - *The use of specific capacity to assess transmissivity in fractured-rock aquifers*. Ground Water 30:396-402.

Jacob C.E. (1950) - *Flow of groundwater*. Engineering hydraulics: ed. H. Rouse, New York, John Wiley, pp. 321-386.

Jalludin M., Razack M. (2004) - *Assessment of hydraulic properties of sedimentary and volcanic aquifer systems under arid conditions in the Republic of Djibouti (Horn of Africa)*. Hydrogeol. J. 12:159-170.

Razack M., Huntley D. (1991) - *Assessing transmissivity from specific capacity in a large and heterogeneous alluvial aquifer*. Ground Water 29: 856-861.

Razack M., Lasm T. (2007) - *Geostatistical estimation of the transmissivity in a highly fractured metamorphic and crystalline aquifer (Man-Danane Region, Western Ivory Coast)*. J. Hydrol. 325 (1-4): 164-178.

Srivastav S.K., Lubczynski M.W., Biyani A. K. (2007) - *Upscaling of transmissivity, derived from specific capacity: a hydrogeomorphological approach applied to the Don Valley aquifer system in India*. Hydrogeol. J. 15:1251-1264.

Theis C.V. (1935) - *The relation between lowering of the piezometric surface and rate and duration of discharge of a well using groundwater storage*. Transactions of the American Geophysical Union, vol. 16, pp. 519-524.

Vorlicek P.A., Antonelli R., Fabbri P., Rausch R. (2004) - *Quantitative hydrogeological studies of Treviso alluvial plain (north east of Italy)*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, v. 37, pp. 23-29.

Zangheri P., Garbellini A., Grego S., Paulon G., Vitturi A. (2001) - *Indagine sulle acque sotterranee del Portogruarese*. Consorzio di Bonifica "Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento". Provincia di Venezia.