

R. Antonelli • P. Fabbri • L. Mason • J. Ortolan  
A. Sottani • F. Veronese • P.A. Vorlicek

# PRIMI RISULTATI DI PROVE IDROGEOLOGICHE DI TRACCIAMENTO NEL CAMPO POZZI DI VILLORBA (TREVISO)

*Estratto da:*

1  
1999 6-1 (1999)

QUADERNI DI TECNICHE  
DI PROTEZIONE AMBIENTALE



R. Antonelli, P. Fabbri, L. Mason, J. Ortolan, A. Sottani, F. Veronese, P.A. Vorlicek  
Primi risultati di prove idrogeologiche di tracciamento nel campo pozzi di Villorba (Treviso)

G. Venturelli, R. Caboi, F. Frau, L. Toscani  
Geochemistry of spring and well waters and mineralogy of the interacting rocks in the Logudoro region (NW Sardinia, Italy)

D. Gala, G. Pranzini  
Il bilancio idrico del bacino del Fiume Elsa, affluente dell'Arno

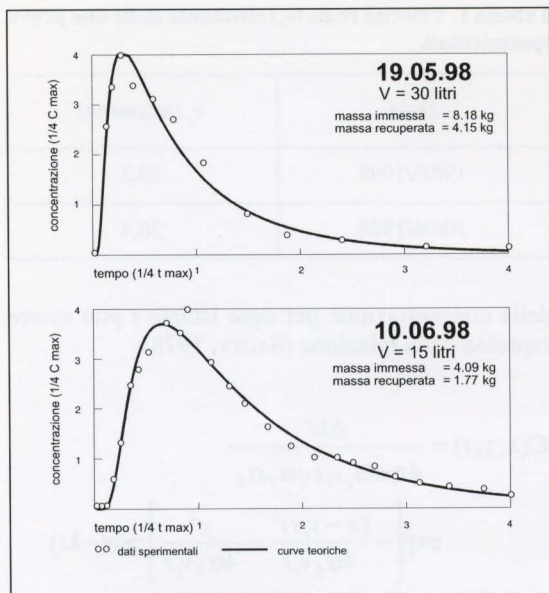
E. Gimenez Forcada, A. Bencini, G. Pranzini  
Studio preliminare sulla chimica delle acque di falda in alcune pianure costiere dell'Isola d'Elba

L. Piccini, G. Pranzini, L. Tedici, P. Forti  
Le risorse idriche dei complessi carbonatici del comprensorio apuo-versilese

M. Del Prete, R. Del Prete  
Il caso di Quindici (Av) del 5 maggio 1998 nel quadro dei movimenti di massa distruttivi delle coltri piroclastiche della Campania occidentale



Pitagora Editrice Bologna



**Figura 6. Confronto tra le curve sperimentali e quelle teoriche considerando un flusso bidimensionale uniforme con un'iniezione istantanea (SAUTY et al., 1992).**

dispersività plausibili con la geometria del sito sperimentale (GELHAR, 1986).

## 2. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le prove di tracciamento svolte presso il campo sperimentale di Villorba (TV) con il metodo multipozzo hanno permesso di approfondire la conoscenza del quadro idrogeologico locale, consentendo una valutazione dei parametri idrogeologici ed idrodispersivi dell'acquifero freatico nell'area studiata.

- L'elaborazione dei dati sperimentali relativi ai tracciamenti eseguiti con salamoia di cloruro di sodio indica che la circolazione idrica nel sottosuolo assume velocità reali elevate, comprese tra 20 e 30 m/giorno.

- Tale valore è in linea con quelli calcolati a partire da dati bibliografici secondo la relazione di Darcy.

- Si può inoltre osservare come le velocità reali ottenute direttamente dalle curve di restituzione risultino confrontabili con quelle desunte elaborando i medesimi dati con altri modelli interpretativi (cfr. tabb. 1 e 2). Questi ultimi valori di  $v_r$  derivano da

un'analisi del tracciamento, che considera un flusso bidimensionale uniforme, con modalità di iniezione istantanea ed una dispersività costante. In un tale contesto la velocità reale della falda può assumere solo determinati valori, che sono fisicamente vincolati agli altri parametri idrogeologici ed idrodispersivi.

- I valori di porosità efficace e di dispersività longitudinale e trasversale ricavati nell'area in esame appaiono compatibili con le effettive condizioni idrogeologiche del sito.

## BIBLIOGRAFIA

- ANTONELLI R., FABBRI P., VENDRAME G., VORLICEK P.A. (in stampa) - *Sperimentazioni nei campi pozzi finalizzate allo studio di alcuni fenomeni di inquinamento da solventi clorurati. Villorba (TV) - Alta Pianura Veneta*. V Convegno dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, Cagliari.
- ALTISSIMO L., ARCA F., DAL PRA' A., FERRONATO A., FUMAGALLI F., MARANGONI L., ZANGHERI P. (1995) - *Processi di inquinamento delle acque sotterranee nella media e alta pianura veneta*. Mem. Sci. Geol., v. 47, pp. 7-29, Padova.
- CALLEGARI R., DAL PRA' A., DARIOL R., PEGORARO G., REGGIANI F. (1989) - *La ricarica artificiale delle falde nell'alta Pianura Trevigiana in destra Piave*. Consorzio di Bonifica Destra Piave, Treviso.
- COSTI A., LAZZARO L., MARCOLONGO B., VISENTIN J. (1992) - *La centuriazione romana fra Sile e Piave nel suo contesto fisico grafico*. C.N.R. Istituto di Geol. Appl., Padova.
- GELHAR L. W. (1986) - *Field-measured values of longitudinal dispersivity as a function of scale of measurement*. Water Resources Research 22, n. 9, pp. 135-145.
- ORTOLAN J. (1997) - *Analisi parametrica di un sistema acquifero alluvionale condotta su due campi sperimentali nel Comune di Villorba (TV)*. Tesi inedita in Geologia Applicata, Dip. di Geol. Paleo. e Geof., Università di Padova.
- SAUTY J.P. (1978) - *Mise au point et utilisation d'abaques pour l'interprétation des expériences de traçages dans les nappes d'eau souterraine*. Bull. B.R.G.M., Sec. III, 4, pp. 285-291.
- SAUTY J.P., KINZELBACH W., VOSS A., (1992) - *Computer aided tracer test interpretation (CATTI)*.
- VERGA G., ZUPPI G., (1986) - *Groundwater tracing in landfill and garbage deposits studies in piedmont region*. V Intern. Symp. On Underground water tracing, pp. 331-339, Atene.

# Primi risultati di prove idrogeologiche di tracciamento nel campo pozzi di Villorba (Treviso)<sup>(\*)</sup>

*Renzo Antonelli<sup>(1)</sup>, Paolo Fabbri<sup>(1)</sup>, Leonardo Mason<sup>(1)</sup>,  
Josca Ortolan<sup>(1)</sup>, Andrea Sottani<sup>(1)</sup>, Francesco Veronese<sup>(2)</sup>,  
Pier Andrea Vorlicek<sup>(1)</sup>*

**Riassunto.** Il presente studio si svolge nell'ambito di un programma multidisciplinare di ricerche sul trasferimento di inquinanti svolto in collaborazione tra l'Università di Padova e il Dipartimento di Ecologia della Provincia di Treviso. L'area di studio appartiene all'alta e media pianura alluvionale veneta ed è ubicata poco a Nord di Treviso, nel Comune di Villorba. Il sottosuolo di questa porzione di territorio è costituito da materiali ghiaiosi alternati a livelli impermeabili a matrice argilloso-limosa. In questa area è stato allestito un campo prova in cui si sono eseguite una serie di prove di tracciamento, al fine di determinare i principali parametri idrogeologici ed idrodispersivi dell'acquifero studiato. Le prove sono di tipo «multi-pozzo», ed è stata utilizzata la tecnica dell'immissione istantanea. I risultati hanno evidenziato valori di velocità reale, ottenuti direttamente dalle curve di restituzione, confrontabili con quelli desunti elaborando i medesimi dati con un'altra metodologia interpretativa (SAUTY, 1978), che consente anche la determinazione dei valori di porosità efficace, dispersività longitudinale e trasversale.

[Parole chiave: *prove di tracciamento, velocità reale, porosità efficace, dispersività longitudinale e trasversale*].

**Abstract.** *The following study is part of a multidisciplinary research program involving the groundwater pollution transfer which has been carried out by the University of Padova and the Ecology Department of the District of Treviso. The study area is located in the high*

*and medium Venetian alluvial plain near the town of Treviso. The hydrogeological structure is composed of gravely alluvial deposit alternating with impermeable silt and clay beds. The aquifer in this region has been studied by performing tracer tests in order to determine its main hydrogeological and hydrodynamic dispersion parameters. The tests have been of multi-well type, and an instant injection technique has been used. The mean pore velocity values obtained directly from the breakthrough curve are comparable with the values extrapolated by means of another interpretative method (SAUTY, 1978). This interpretative method also allow one to calculate the effective porosity and the longitudinal and transverse dispersivity values.*

[Key words: *tracer tests, mean pore velocity, effective porosity, longitudinal and transverse dispersivity*].

## INTRODUZIONE

Gli studi effettuati rientrano nell'ambito di un programma multidisciplinare di ricerche sul trasferimento di inquinanti svolto in collaborazione tra l'Università di Padova e il Dipartimento Ecologia della Provincia di Treviso.

In questa sede vengono discusse le sperimentazioni idrogeologiche svolte nei mesi di maggio e giugno 1998 secondo metodiche di tracciamento in configurazione multi-pozzo. I risultati presentati sono in corso di taratura e saranno oggetto di ulteriori validazioni con altri modelli in grado di considerare contemporaneamente i parametri idrogeologici ed idrodispersivi degli acquiferi.

L'area di studio appartiene all'alta e media pianura alluvionale veneta ed è situata immediatamente a nord di Treviso, nel Comune di Villorba, a pochi chilometri dal limite settentrionale delle risorgive (fig. 1).

<sup>(\*)</sup> Lavoro in parte finanziato M.U.R.S.T. 40% (responsabile Prof. Veronese) e 60%.

<sup>(1)</sup> Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica, Via Giotto 1, Padova.

<sup>(2)</sup> Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima e Geotecnica, Via Loredan 20, Padova.

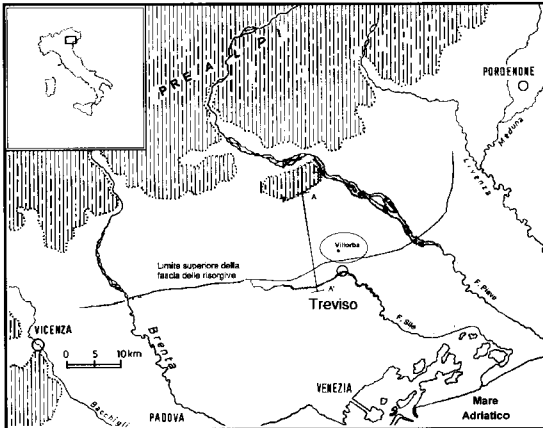


Figura 1. Ubicazione dell'area di studio.

Le indagini sono state condotte in una porzione di territorio recentemente interessata da una serie di episodi di inquinamento delle acque sotterranee ad opera di solventi organo clorurati.

Questa zona è sede di uno dei maggiori poli produttivi del nord-est, fortemente antropizzata e caratterizzata da numerose attività industriali ed artigianali. A questo si aggiunge un'intensa attività di tipo agricolo-zootecnico (serre, allevamenti, coltivazioni intensive), che contribuisce ad accentuare i fenomeni di contaminazione con l'uso di notevoli quantità di fertilizzanti e di altri composti inquinanti (ANTONELLI et al., 1997; ALTISSIMO et al., 1995).

Il sito sperimentale si inserisce in una importante struttura idrogeologica caratterizzata da un'elevata potenzialità, confermata dalla presenza dei numero-

si pozzi comunali e consortili che sfruttano le riserve idrogeologiche naturali stoccate nel serbatoio alluvionale quaternario.

Il sottosuolo di questa porzione di territorio è costituito da materiali sciolti prevalentemente ghiaiosi, depositati dall'antico corso del Piave, cui si alternano localmente livelli impermeabili a matrice argilloso-limosa (fig. 2) (CALLEGARI et al., 1989).

La profondità media della superficie freatica dal piano di campagna assume nei pressi di Villorba valori intorno ai 5-6 metri.

La successione stratigrafica generale può essere così schematicamente riassunta:

- *Orizzonte prevalentemente ghiaioso.* Si tratta di uno strato formato da ciottoli di varia natura litologica, con prevalenza di clasti calcarei. Le dimensioni sono diverse con diametro massimo di circa 10 centimetri e la forma è sub-arrotondata; i clasti sono immersi in una matrice limoso-sabbiosa e talora sono presenti lenti sabbiose di modesto spessore e strati con ghiaie cementate. Lo spessore delle ghiaie varia dai 30 ai 50 metri ed in alcuni casi raggiunge gli 80 metri.

- *Orizzonte argilloso.* Questo livello impermeabile delimita l'acquifero inferiormente e presenta una discreta continuità ad una profondità media di circa 50 metri.

Attraverso le indagini svolte nella zona si è potuto constatare la presenza di eterogeneità litostratigrafiche entro il materasso ghiaioso indifferenziato: tali anomalie, associate a elevati valori di porosità totale (circa 27%), supportano l'ipotesi della presenza di un paleoalveo del Piave nei pressi del campo sperimentale di Villorba (COSTI et al., 1992).

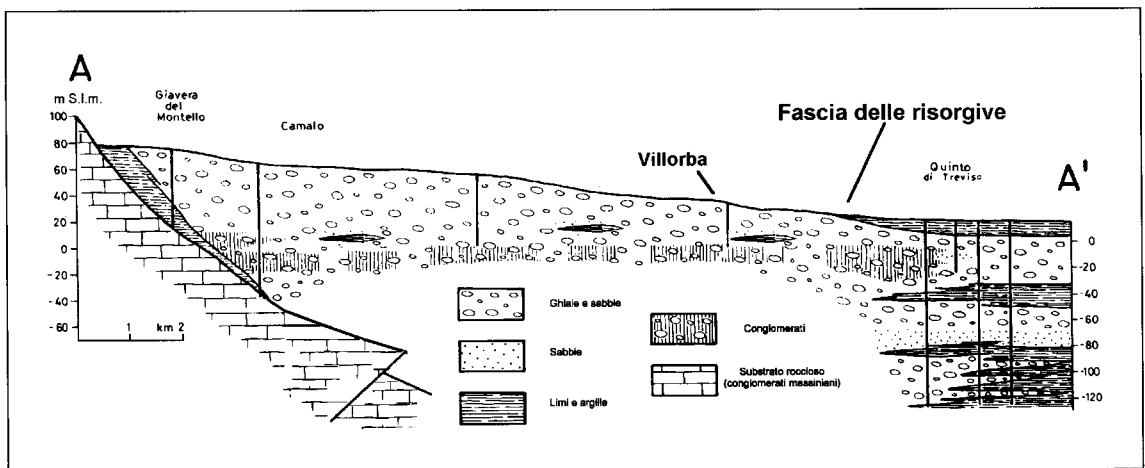


Figura 2. Sezione stratigrafica schematica dell'alta pianura veneta.

Per quanto riguarda i principali caratteri della circolazione idrica del sottosuolo si sottolinea che la direzione di deflusso prevalente è orientata secondo la direttrice NNW-SSE, tendendo ad assumere un andamento di tipo N-S verso meridione.

Questa variazione della direzione di deflusso può essere parzialmente dovuta all'effetto dello sfruttamento esercitato dai numerosi pozzi di presa presenti nell'area industriale, che creano una sensibile deformazione del campo di flusso.

Il gradiente medio calcolato risulta di circa 1,2‰, sia per la fase di magra che per quella di piena.

Il regime della falda risulta contraddistinto da un'oscillazione media della tavola d'acqua pari a circa 2 m, con i massimi valori di quota freatica nella stagione invernale ed i minimi nel periodo estivo (ORTOLAN, 1997).

### 1. SPERIMENTAZIONI RIGUARDANTI PROVE DI TRACCIAMENTO

Le prove con i traccianti sono state eseguite in uno dei campi pozzi, appositamente allestiti nell'ambito del progetto di ricerca tra l'Università di Padova e la Provincia di Treviso (fig. 3).

Il campo prova n. 2, ubicato nel Comune di

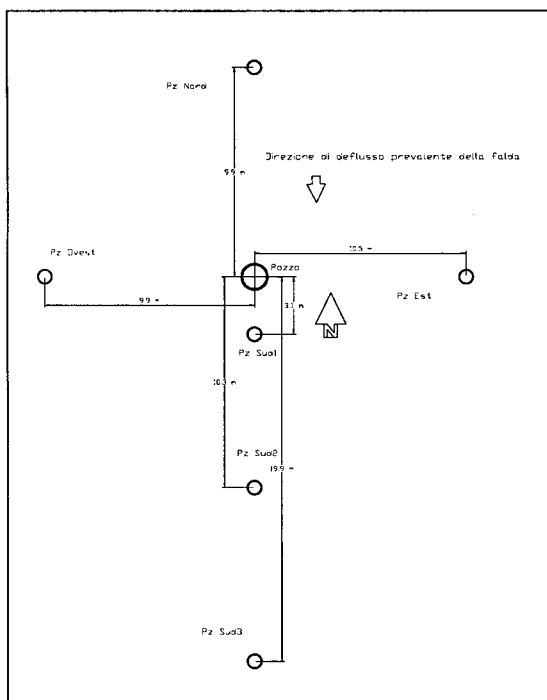


Figura 3. Geometria del campo prova n. 2.

Villorba ad ovest della zona industriale II, comprende attualmente un pozzo centrale con diametro di 350 mm, terebrato a percussione e 6 piezometri (64 mm) eseguiti a rotazione con distruzione di nucleo.

La profondità dei pozzi è di circa 20 metri. Le tubazioni di rivestimento dei piezometri sono in PVC mentre la colonna del pozzo centrale è in acciaio; tutte le fasce filtranti sono state poste nei 12 metri finali.

Le prove di tracciamento eseguite sono del tipo «multi-pozzo» ed hanno lo scopo di determinare i principali parametri idrogeologici ed idrodispersivi dell'acquifero studiato.

Per questo tipo di prove si è utilizzato come tracciante una soluzione costituita da una salamoia di cloruro di sodio (NaCl). La scelta è stata dettata dalle caratteristiche generali di questo tracciante, ovvero il basso impatto ambientale, la capacità di alterare in modo significativo la conducibilità elettrica con l'introduzione di piccole quantità di soluzione, la facilità nel preparare la salamoia, ed infine la sua semplice reperibilità ed il costo commerciale contenuto.

Al fine di ottenere un significativo aumento della conducibilità elettrica e quindi una migliore misurazione con le sonde di conducibilità da pozzo, si è optato per una concentrazione iniziale della soluzione prossima ai 270 g/l, cui compete una densità pari a 1,18 g/cm<sup>3</sup>.

Le prove sono state eseguite utilizzando il pozzo centrale come punto di immissione, mentre come punti di misura sono stati considerati i piezometri Sud1 e Sud2, rispettivamente situati a 3,1 e 10,3 metri di distanza a valle del pozzo lungo la direzione di deflusso della falda.

Nell'esecuzione della prova è stata scelta la tecnica dell'immissione istantanea e puntuale, realizzata mediante l'installazione di un packer a 9,0 m dal piano di campagna, che ha consentito di insalinare solamente 1 m di tratto filtrante del pozzo. L'iniezione è avvenuta per gravità, all'interno di un tubo forato nella sua parte terminale per una lunghezza pari al tratto filtrante delimitato. Tali accorgimenti operativi sono stati adottati al fine di ottenere una distribuzione del tracciante il più omogenea possibile nel tratto di pozzo marcato. La durata delle immissioni è stata generalmente di 2-2,5 minuti, con portata media di iniezione pari a 0,1-0,2 l/s.

Ultimata l'immissione sono stati registrati i valori di conducibilità elettrica all'interno dei piezometri Sud1 e Sud2 lungo tutto il loro tratto filtrante, utilizzando un passo di campionamento di 0,5 m. Tale operazione è stata eseguita ripetutamente in risalita

a determinati intervalli di tempo per circa 19 ore. L'arrivo della perturbazione salina è stato rilevato solamente presso il piezometro Sud1: il monitoraggio è stato protratto fino al ristabilirsi delle condizioni iniziali di conducibilità.

I risultati della prova del giugno 1998 sono stati preliminarmente inseriti in un grafico avente in ordinata la profondità ed in ascissa la conducibilità elettrica (fig. 4); in questo modo si è messa in evidenza la zona di arrivo del tracciante al piezometro Sud1. Dato che l'immissione è avvenuta ad una profondità media di circa 8,5 m dal p.c. e l'arrivo al pozzo Sud1 è stato individuato a circa 13 m, si è sperimentalmente determinato un approfondimento della nube salina secondo un'angolazione pari a circa  $52^\circ$  rispetto al piano di riferimento orizzontale. A seguito di questi risultati, verificati in tutti i test svolti, l'analisi quantitativa sulle modalità di trasferimento del cloruro di sodio nel sottosuolo è stata condotta a partire da precedenti esperienze di laboratorio, che hanno sperimentato il comportamento dinamico di soluzioni saline in un mezzo poroso saturo (VERGA & ZUPPI, 1986).

In tal senso nel calcolo della velocità reale di falda si sono considerati i valori della velocità di caduta gravitazionale ( $v_z$ ) (fig. 4) secondo le relazioni che seguono:

$$v_r = \sqrt{v_{xz}^2 - v_z^2}$$

in cui:

$v_r$  = velocità reale di deflusso delle acque sotterranee;

$v_{xz}$  = velocità di propagazione apparente

$$(\vec{v}_{xz} = \vec{v}_r + \vec{v}_z)$$

$v_z$  = velocità di caduta gravitazionale della soluzione.

Per le elaborazioni numeriche si sono utilizzati i valori bibliografici di  $v_z = 3,6 \cdot 10^{-4}$  m/s (VERGA & ZUPPI, 1986), determinati per materiali granulari, caratterizzati da conducibilità idraulica pari a  $2,9 \cdot 10^{-2}$  m/s, valore del tutto assimilabile a quella riscontrata presso il sito di Villorba (sull'ordine di  $10^{-2}$  m/s).

Le curve di restituzione del tracciante relative alla profondità di 13 m dal p.c., delle prove del 19 maggio 1998 e 10 giugno 1998 (fig. 5), sono state costruite riportando i valori di conducibilità in ordinata e quelli del tempo in ascisse.

Le risultanze di laboratorio ottenute confermano, per l'intervallo di conducibilità rilevato in campagna, una relazione lineare tra la concentrazione e la conducibilità elettrica, quindi nelle elaborazioni si sono utilizzati direttamente i valori di conducibilità.

Le curve conducibilità vs tempo ottenute durante le due prove riportate nella fig. 5 risultano asimmetriche e con il classico andamento log-normale. Entrambe le curve fanno riferimento al pozzo di osservazione Sud1.

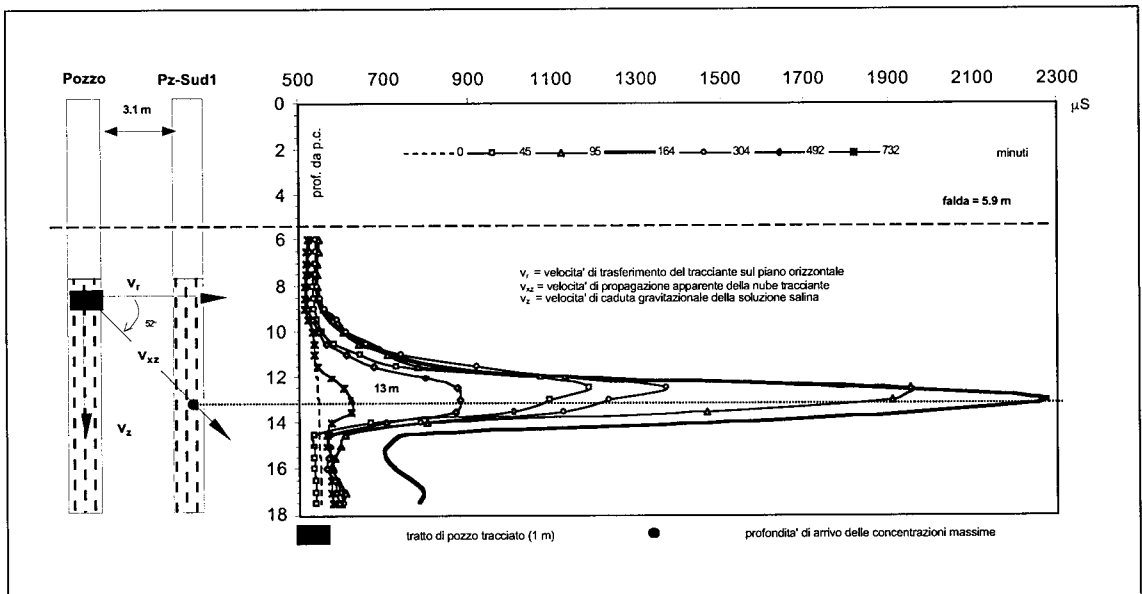


Figura 4. Schematizzazione del movimento del tracciante tra il pozzo centrale e il piezometro Sud 1; curve sperimentali profondità vs conducibilità elettrica al piezometro Sud1 (10/06/1998).

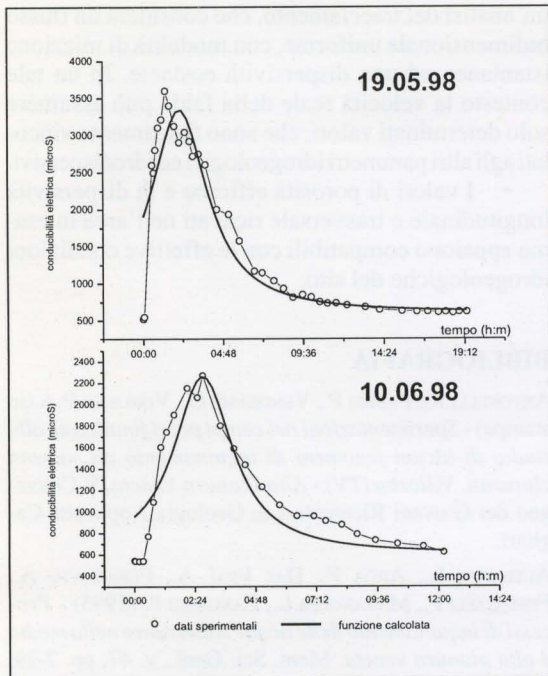


Figura 5. Curve di restituzione del tracciante e curve teoriche di interpolazione relative alle prove del 19/05/1998 e del 10/06/1998.

Il valore di tempo che viene più comunemente utilizzato per il calcolo della velocità è il tempo di baricentro  $t_b$ , determinato calcolando il centro di gravità della superficie limitata dalla curva di restituzione del tracciante. Nel caso specifico il centro di gravità è stato individuato eseguendo sia un'integrazione approssimata per parti ( $t_b$ ) sia tramite integrazione della funzione di interpolazione della curva sperimentale ( $t'_b$ ).

Nello specifico si è preferito utilizzare il  $t'_b$  ricavando inizialmente la  $v_{xz}$ , calcolata tramite l'angolo di caduta del tracciante, quindi è stato possibile individuare la velocità reale di deflusso  $v_r$ , che rappresenta uno dei parametri di nostro interesse, utilizzando i valori bibliografici di  $v_z$  in condizioni idrogeologiche analoghe.

I risultati derivanti da queste elaborazioni hanno indicato velocità reali ( $v_r$ ) riportate in tab. 1.

Le prove di tracciamento sono state anche elaborate (SAUTY et al., 1992) considerando un flusso bidimensionale uniforme con una iniezione istantanea (impulso di Dirac), con una dispersività longitudinale e trasversale costante. Considerando il tempo  $t = 0$  coincidente con l'impulso di tracciamento nel pozzo di immissione ( $x = 0$ ;  $y = 0$ ), la distribuzione

Tabella 1. Velocità reale ( $v_r$ ) risultante dalle due prove sperimentali.

Data	$v_r$ (m/giorno)
19/05/1998	29,2
10/06/1998	26,4

della concentrazione per ogni istante  $t$  può essere espressa dalla relazione (SAUTY, 1978):

$$C(x, y, t) = \frac{\Delta M}{4\pi m \bar{\omega}_c v_r t \sqrt{\alpha_T \alpha_L}} \exp\left[-\frac{(x - v_r t)^2}{4\alpha_L v_r t} - \frac{y^2}{4\alpha_T v_r t}\right] \exp(-\lambda t)$$

dove:

$\Delta M$  = massa per unità di sezione;

$x$  = distanza tra il punto di immissione e quello di arrivo;

$\bar{\omega}_c$  = porosità efficace;

$\alpha_L$  = dispersività longitudinale;

$\alpha_T$  = dispersività trasversale;

$v_r$  = velocità reale;

$m$  = spessore dell'acquifero;

$\lambda$  = costante di decadimento.

I parametri idrogeologici ed idrodispersivi individuati sono relativi alla curva teorica visibile in fig. 6, che meglio approssima le risultanze sperimentali.

In tab. 2 vengono riportati i risultati ottenuti durante le prove del 19/5/98 e del 10/6/98, dove la  $v_D$  è velocità di Darcy.

Dai risultati è possibile osservare delle velocità reali confrontabili con quelle ottenute in precedenza (cfr. tabb. 1 e 2), delle porosità efficaci compatibili con la situazione idrogeologica locale e dei valori di

Tabella 2. Parametri idrogeologici ed idrodispersivi determinati nelle due prove sperimentali utilizzando il metodo di Sauty ed ipotizzando un flusso bidimensionale con iniezione istantanea.

Data	$v_D$ (m/giorno)	$v_r$ (m/giorno)	$\bar{\omega}_c$	$\alpha_L$ (m)	$\alpha_T$ (m)
19/05/1998	2,6	22,3	11,6%	1,4	0,1
10/06/1998	2,1	20,2	10,3%	1	0,1