

## La risposta dei livelli potenziometrici allo sfruttamento del campo geotermico Euganeo (PD)

Paolo Fabbri<sup>(1)</sup>, Corrado Soccorso<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica, Via Giotto 1, 35137 Padova, paolo.fabbri@unipd.it

<sup>(2)</sup>Direzione Tutela Ambiente, Regione del Veneto, Venezia, corrado.soccorso@regione.veneto.it

*Potentiometric response to the Euganean geothermal field exploitation (NE Italy)*

**ABSTRACT:** Since 1950 the increase of hydrothermal resource exploitation in the Euganean fields has produced a potentiometric lowering and consequently a gradual disappearance of natural springs. In 1972 the measured potentiometric decreasing velocity was about 2.5 m/year. Since 1975, the Veneto Region has installed a groundwater monitoring system to check this critical potentiometric situation. The analysis of potentiometric values in the carbonatic reservoir (200 - 500 m) clearly indicates an artificial regime in the Abano and Montegrotto fields. The regime presents two maximum and two minimum periods. The maximums occur in the periods of low groundwater exploitation, while the minimums correspond to the periods of intense exploitation for mud bath treatments. Due to this artificial regime, the results of twenty-five years of monitoring are first divided into three "regime factors": trend, seasonality and residual factor. Moreover, the potentiometric trend behavior has been studied to determine the relationship between potentiometric levels and total flow rate aimed at preventing an over-exploitation of the Euganean geothermal field.

*Key terms:* Euganean geothermal field, potentiometric levels, trend, seasonality, over-exploitation.

*Termini chiave:* campo geotermico Euganeo, livelli piezometrici, trend, stagionalità, sovrasfruttamento

### Riassunto

A partire dal 1950 l'aumento dello sfruttamento della risorsa idrica termale nel campo geotermico Euganeo ha prodotto un abbassamento dei livelli potenziometrici e la conseguente sparizione delle sorgenti termali naturali presenti nei campi di Abano e Montegrotto.

Le prime misure sistematiche dei livelli potenziometrici indicavano, già nel 1972, una velocità di abbassamento di 2,5 m/anno. Per porre rimedio a questa situazione la Regione del Veneto nel 1975 ha installato dei contatori per controllare i volumi estratti ed una rete di controllo potenziometrico. L'acquifero monitorato è in roccia ed è posto ad una profondità variabile tra i 200 ed i 500 m, il suo regime è chiaramente artificiale con due periodi di massimo (estate ed inverno) e due periodi di minimo (primavera ed autunno), legati agli sfruttamenti per scopi terapeutici dei fluidi termali. In questo lavoro vengono analizzati circa 25 anni di misure al pozzo Barillari 2 ed il regime registrato viene scomposto nelle sue tre componenti additive: il trend, la stagionalità ed un residuo. In particolare il trend viene studiato assieme alle portate estratte ottenendo un modello di previsione per il campo di Abano Terme dei livelli in funzione delle estrazioni.

### Introduzione

L'area termale euganea s.s., localizzata in provincia di Padova nei comuni di Abano Terme, Montegrotto Terme, Battaglia Terme e Galzignano Terme, ha un'estensione di circa 23 km<sup>2</sup> (Fig. 1).

Nel 1973 fu presentato per la prima volta quello che ancora oggi è considerato il modello concettuale del bacino geotermico euganeo, e del quale si riporta uno schema in figura 2 (Piccoli et al., 1973). Questo circuito geotermico presenta una zona di ricarica nell'area prealpina delle Piccole Dolomiti, dove acque di tipo meteorico si infiltrano ad una quota approssimativa di 1500 m s.l.m. raggiungendo una profondità di circa 3000 m. Essendo presente nell'area un gradiente geotermico normale, queste acque si riscaldano di 30°C per ogni chilometro di approfondimento. Da questa zona di ricarica le acque meteoriche, che si sono infiltrate in profondità, fluiscono in direzione Sud-Est per circa 80-100 km fino a raggiungere le aree termali di Abano Terme, Montegrotto Terme, Battaglia Terme e Galzignano Terme in un tempo, sicuramente superiore a 60 anni, come risulta dalle analisi di <sup>3</sup>H. Probabilmente l'età di queste acque è nell'ordine di qualche migliaio di anni, come indicano alcune analisi effettuate sul <sup>14</sup>C con spettrometri di massa accelerati (A.M.S.) (Boaretto et al., 2003). Nella zona termale euganea i fluidi risalgono naturalmente per la presenza di condizioni geologico strutturali favorevoli.

In particolare nelle aree di Abano e Montegrotto i fluidi termali risalgono da alcune fratture profonde, espandendosi lateralmente e raggiungendo un serbatoio carbonatico molto fratturato (dai circa 300 ai circa 500 m di profondità), che è presente dalla formazione calcarea del Biancone (Fig. 2). I fluidi termali vengono parzialmente immagazzinati in questo serbatoio e parzialmente risalgono negli acquiferi sabbiosi presenti nella copertura quaternaria, mescolandosi anche con le acque fredde locali (Dal Piaz G.V. et al., 1994).

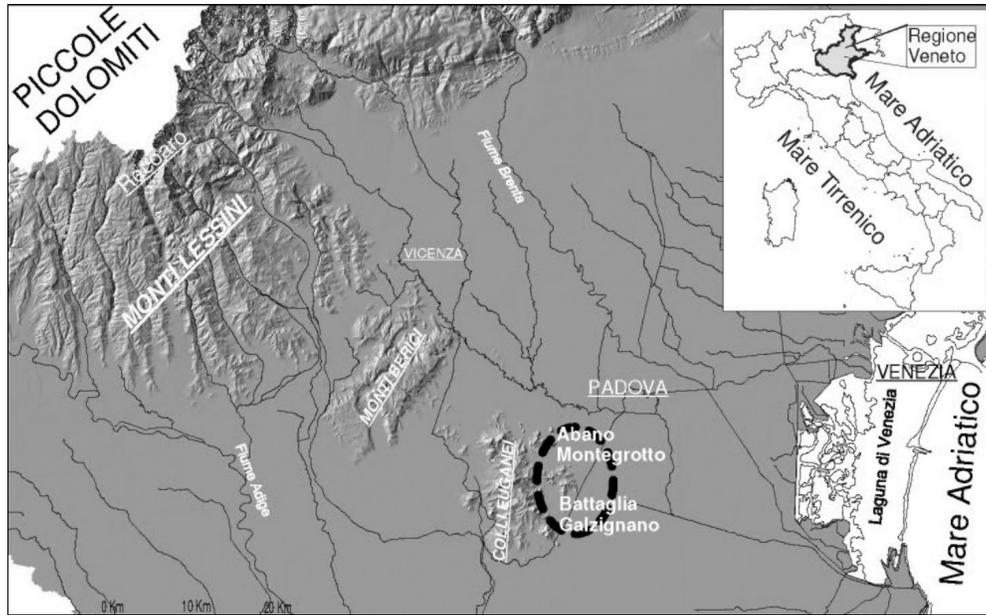


Fig. 1 - Localizzazione dell'area termale euganea.  
Localisation of the Euganean thermal area.

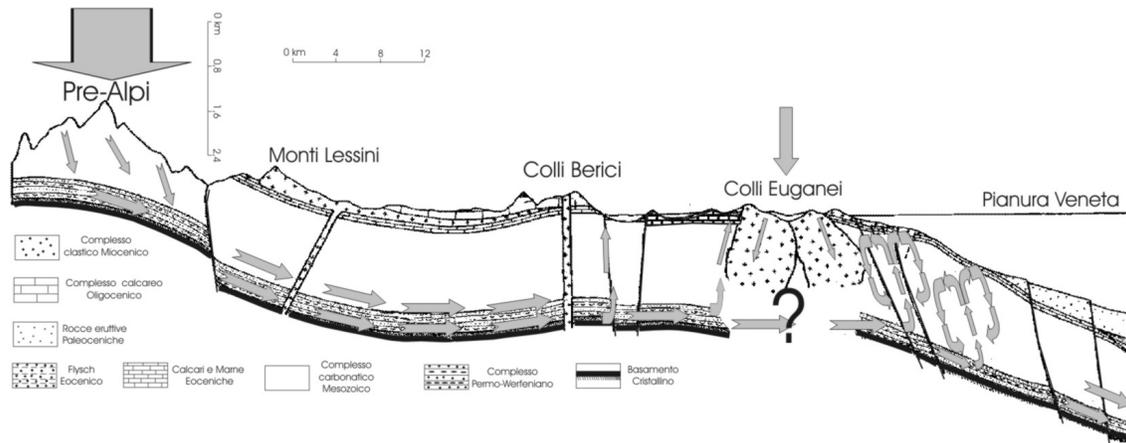


Fig. 2 - Il circuito geotermico euganeo.  
The Euganean geothermal circuit.

Questi fluidi termali, riscaldati per normale gradiente geotermico, vengono estratti dal campo di Abano ad una temperatura variabile dai 75° agli 86° C, da quello di Montegrotto variabile dai 70° agli 82°C (Fabbri, 2001; Fabbri, Trevisani, 2005) ed in quello di Battaglia-Galzignano dai 65° ai 75°C.

Attualmente la gran parte dei pozzi di produzione raggiunge profondità che variano da un minimo di 150 metri ad un massimo di oltre 1100 metri. L'estrazione dei fluidi avviene entro il substrato roccioso, che è posto ad una profondità variabile da qualche metro (Montegrotto, Battaglia e Galzignano) fino ad un massimo di circa 200-220 m (Abano). Per maggiori approfondimenti su alcuni parametri idrogeologici dell'area termale euganea si rimanda alla bibliografia specifica (Fabbri, 1997). La copertura quaternaria sovrastante è rappresentata da

materiali argilloso-limosi e sabbiosi. I livelli limoso argillosi rappresentano il 40% dei terreni alluvionali carotati nel pozzo geognostico Aponus 2, sito nel centro di Abano, il 25% comprende dei limi ed il 25% delle sabbie, il restante 10% è costituito da conglomerati a clasti vulcanici e detrito ad elementi calcarei (Dal Piaz et al., 1994).

Nel sottosuolo dell'area euganea la formazione sedimentaria più recente incontrata è quella delle Marne euganee (Oligocene inf - Eocene inf.), seguita dalla Scaglia rossa (Eocene inf. - Cretaceo sup.), dal Biancone (Cretaceo sup - Giurese sup.), dai Calcarei grigi (Giurassico medio - Giurassico sup.) ed infine dalla Dolomia Principale (Triassico sup.). Si rinvennero inoltre rocce vulcaniche appartenenti a due cicli eruttivi: il primo dall'Eocene

superiore all'Oligocene inferiore pp., con lave e breccie basaltiche, il secondo oligocenico inferiore costituito da corpi subvulcanici di composizione riolitica, trachitica e latitica.

La situazione tettonica dell'area in esame è caratterizzata principalmente da direzioni di fratture NNO-SSE (sistema "Schio-Vicenza") e secondariamente NE-SO (linea della Riviera dei Berici), ma possono essere anche evidenti sistemi tettonici N-S ed E-O, attivi durante le fasi magmatiche oligoceniche.

La caratterizzazione idrochimica e la salinità totale (fino ad oltre 6 g/l) delle acque termali euganee è tipica di circuiti idrotermali profondi posti in bacini sedimentari. Nel dettaglio le acque euganee presentano elevate quantità di  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$  (70%), ma anche di  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e sono inoltre presenti moltissimi altri elementi in percentuali minori (Dal Piaz et al., 1994; Gherardi et al., 2000).

### Idrometrografi

A causa dell'aumento della richiesta di fluidi termali è andato sviluppandosi dopo il 1950 un graduale approfondimento ed un aumento del numero di perforazioni per lo sfruttamento delle acque termali, com'è possibile dedurre dalla figura 3. Lo sfruttamento progressivo delle risorse idriche del sottosuolo ha inevitabilmente portato alla scomparsa di quasi tutte le sorgenti naturali presenti, in conseguenza della diminuzione delle quote potenziometriche. Per questo motivo le perforazioni sono state spinte a profondità sempre maggiori; infatti, per soddisfare le richieste era necessario che i pozzi disponessero di alcuni requisiti minimi in termini di portata, prevalenza e temperatura dei fluidi estratti.

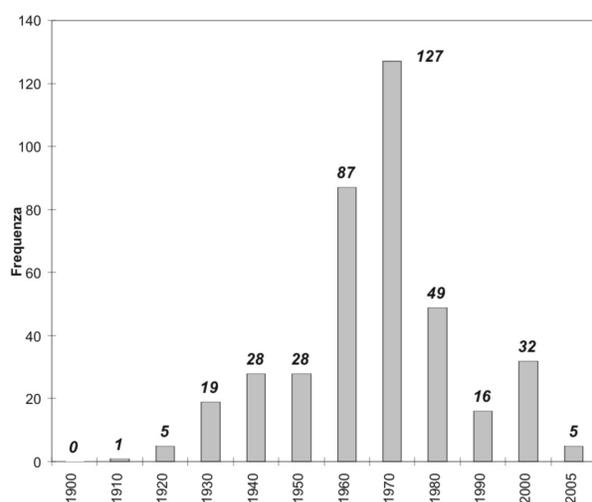


Fig. 3 - Distribuzione temporale delle perforazioni nell'area termale euganea.

*Temporal distribution of drilling activity in the Euganean thermal area.*

Nei primi anni '50 e '60 le perforazioni si limitavano ad estrarre acqua dagli orizzonti alluvionali,

successivamente queste sono state spinte entro il substrato roccioso ad una profondità variabile dai 200 ai 500 metri.

Alla fine degli anni '80 e inizio anni '90, le terebrazioni hanno raggiunto e superato i 1000 metri di profondità, intercettando orizzonti acquiferi con livelli potenziometrici talvolta al di sopra il piano di campagna.

A partire dagli anni '50 i livelli potenziometrici del bacino termale euganeo sono stati soggetti a continue diminuzioni legate agli emungimenti e nel 1972, a causa del sovrasfruttamento dell'acquifero termale, il livello potenziometrico decresceva di circa 2,5 m/anno. Al fine di tenere sotto controllo la situazione potenziometrica del bacino, nel 1975 la Regione del Veneto ha installato alcuni idrometrografi nella zona di Abano, Montegrotto e Battaglia-Galzignano, per poter monitorare in maniera continua i livelli potenziometrici entro il substrato roccioso.

Attualmente nel territorio di Abano Terme è presente un idrometrografo nel pozzo 2 della concessione mineraria Rigati a partire dal 1982, uno nel pozzo 2 della concessione Barillari a partire dal 1980 ed infine uno nel pozzo 7 della concessione Molino a partire dal 1975.

Nel territorio di Montegrotto Terme gli idrometrografi attualmente in funzione sono due: il Fonte Colli Euganei 1 ed il Mezzavia 4, entrambi registrano i livelli potenziometrici dalla primavera del 1975. Anche in comune di Galzignano Terme, nella concessione Ragazzoni, è attualmente in funzione un idrometrografo denominato "Moro 1" in funzione dal 1984. Tutti i dati a partire dal 2000 sono scaricabili in remoto. Le misure vengono acquisite dagli strumenti con frequenza oraria, ed i dati sono in seguito immagazzinati ed elaborati. Nel bacino in esame nel 2004 l'estrazione annua è stata di 8,6M m<sup>3</sup> ad Abano Terme e di 4,8M m<sup>3</sup> a Montegrotto Terme.

Esaminando nel dettaglio l'andamento dei livelli registrati negli idrometrografi (Fig. 4) appare evidente che

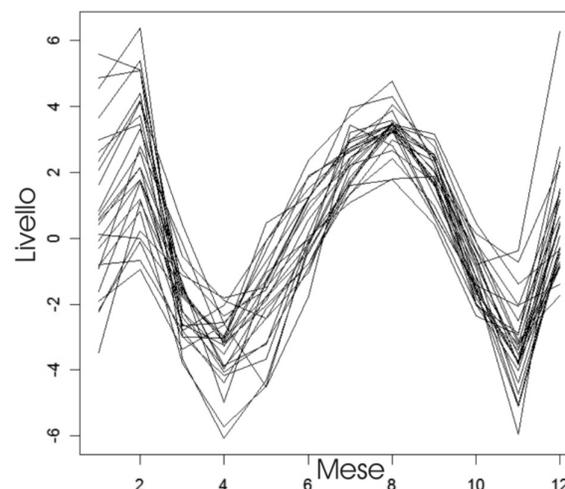


Fig. 4 - Andamento potenziometrico al pozzo Barillari 2; ad ogni anno è stata sottratta la sua media e tutti gli andamenti annuali sono stati sovrapposti.

*Barillari 2 well potentiometric behavior; every year its average has been subtracted and then all the annual potentiometric behaviors were superimposed*

il regime riscontrato è completamente artificiale, sia nel campo di Abano Terme che in quello di Montegrotto Terme. Si può infatti notare, in prima approssimazione, la presenza di due massimi e due minimi nell'arco dell'anno (Fig. 4).

Questi corrispondono rispettivamente ai periodi di bassa stagione (estate e inverno) e di alta stagione (primavera ed autunno) (Antonelli et al., 1995); in alcuni pozzi si osserva anche la presenza di un "terzo" minimo verso la fine dicembre, che divide in due il massimo invernale e corrisponde ad un incremento degli emungimenti nei periodi invernali. In figura 4 è possibile osservare il caratteristico andamento annuale dei livelli potenziometrici, ad ogni singolo anno è stato sottratto il

suo valore medio per poterlo meglio confrontare con tutti gli altri.

### L'idrometrografo Barillari 2

Per studiare l'andamento dei livelli potenziometrici nel campo di Abano Terme si è deciso di analizzare in dettaglio i risultati relativi al pozzo Barillari 2, che è situato in un'area centrale del comune di Abano Terme nella concessione "Barillari"; il pozzo raggiunge la profondità di 237 metri dal piano campagna e l'orizzonte acquifero è posto dai 225 m ai 235 m dal piano di campagna.

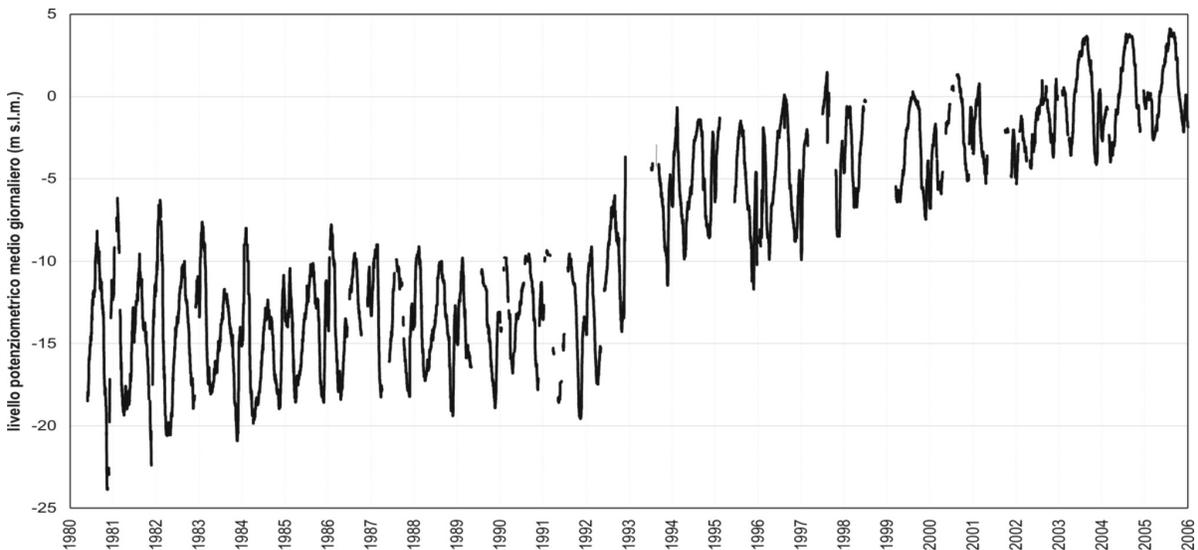


Fig. 5 - Valori potenziometrici medi giornalieri al pozzo Barillari 2.  
*Daily average potentiometric levels at the Barillari 2 well.*

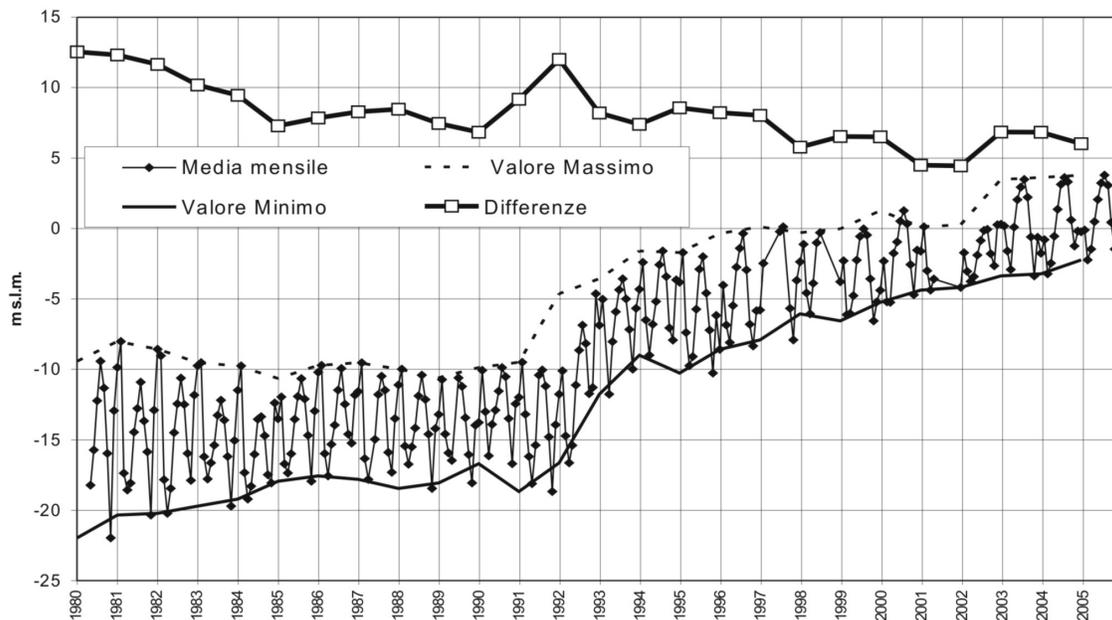


Fig. 6 - Valori potenziometrici medi mensili al pozzo Barillari 2; valori minimi e massimi annuali e differenza tra loro.  
*Monthly average potentiometric levels at the Barillari 2 well; maximum and minimum values and their differences.*

La quota assoluta della bocca pozzo è di 10,81 metri s.l.m.. La successione stratigrafica indica alternanza di sabbie ed argille fino a circa 200 m, al di sotto delle quali si incontra la formazione del Biancone. Il pozzo Barillari 2 è stato perforato nel 1958, è inattivo dal 1969 ed a partire dal maggio del 1980 è monitorato in continuo. In figura 5 sono visibili le variazioni dei livelli potenziometrici in termini di medie giornalierie a partire dal 1980 fino al 2005.

L'andamento dei livelli presenta il caratteristico andamento con due minimi, uno primaverile e l'altro autunnale e due massimi, uno estivo ed uno invernale, che negli ultimi anni è interrotto da un "terzo minimo" invernale tra la fine di dicembre e l'inizio di gennaio. L'analisi in dettaglio del diagramma di figura 5 consente di osservare che i livelli si sono mantenuti costanti con un leggero incremento dal 1980 ai 1992.

Dal 1992 al 1994 c'è stato un rapido recupero di circa 8 m, ed a partire da questa data si osserva un lento ma continuo aumento dei livelli fino al 2003, dove i livelli potenziometrici si trovano attorno ai 0 m s.l.m., cioè circa 10 m al di sotto il piano di campagna. La situazione di recupero dei livelli riscontrata in Abano negli ultimi anni, non trova però conferma nel vicino campo di Montegrotto dove, al contrario, negli ultimi cinque anni i livelli potenziometrici tendono all'abbassamento (Fabbri, 2005).

Osservando la figura 6 si vede chiaramente che il recupero dei livelli produce anche una tendenziale riduzione dell'escursione potenziometrica esistente tra il valore massimo e quello minimo di ogni anno. L'analisi dei valori mensili dal 1980 al 2005 raggruppati per mese (Fig. 7) mostra chiaramente la presenza di un trend in aumento dei livelli al pozzo Barillari 2.

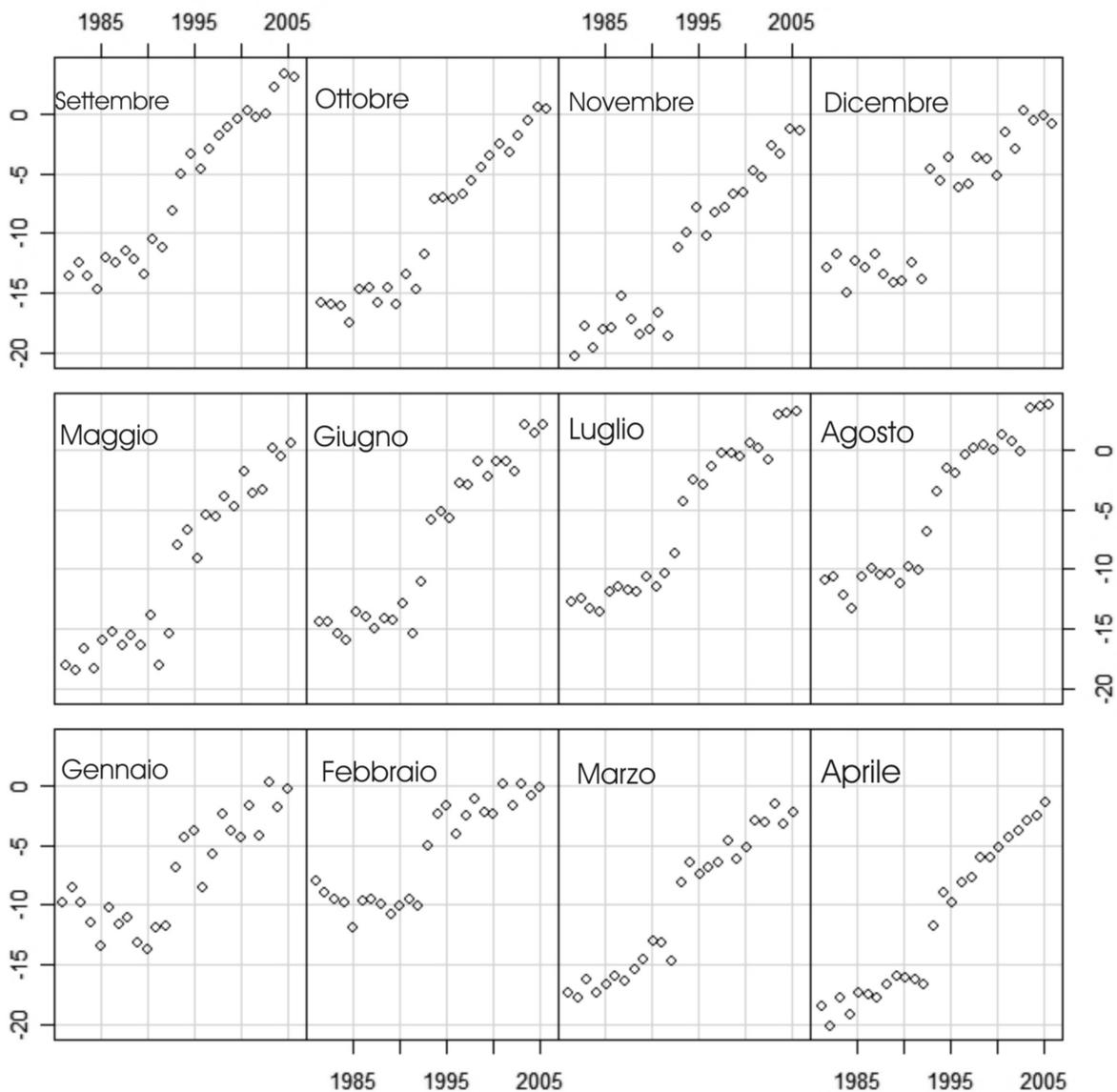


Fig. 7 - Valori potenziometrici raggruppati per mese al pozzo Barillari 2 dal 1981 al 2005.  
*Potentiometric values grouped by the month from 1981 till 2005 at the Barillari 2 well*

La figura 8 ci consente di individuare chiaramente il trend segnalato e come i livelli potenziometrici medi annuali siano negativamente correlati con le estrazioni. Si può infatti notare che il livello medio annuo di -14,73 m s.l.m. del 1980 corrisponde ad un'estrazione in Abano di circa di 13,5 M m<sup>3</sup>/anno. Il livello medio annuo recupera lentamente fino al 1991 dove si porta a -13,61 m s.l.m. con un'estrazione di 12,1 M m<sup>3</sup>/anno. Dal 1991 al 1994 si osserva una rapida risalita dei livelli che passano dai -13,61 m s.l.m. del 1991 ai -5,04 m s.l.m. del 1994, anno in cui le estrazioni scendono a 9,8 M m<sup>3</sup>/anno. A partire dal 1994 il livello risale in maniera continua fino al 2003 dove si porta a 0,18 m s.l.m. con un'estrazione di circa 8,6 M m<sup>3</sup>/anno. Le estrazioni aumentano di poco dal 2002 al 2004 ed i livelli sono quasi stabili dal 2003 al 2005.

**Analisi statistica dei valori potenziometrici al pozzo Barillari 2**

Al pozzo Barillari 2 sono disponibili valori potenziometrici orari a partire da maggio 1980 ad oggi. Tutta la massa di dati è stata trasformata e trattata in termini di valori medi mensili. L'analisi precedentemente esposta suggerisce l'applicazione di un modello descrittivo della serie storica dei valori potenziometrici che può essere visto come la combinazione di più modelli semplici, in grado di descrivere alcuni aspetti peculiari della serie di valori potenziometrici. In questo tipo di modello descrittivo si introducono tre componenti che possono essere legate tra loro in maniera additiva, moltiplicativa o mista. Le tre componenti di un tale modello consentono di esprimere la serie dei valori in termini di una componente "trend" ben visibile nelle figure 5 e 7, di una componente "stagionalità", già evidenziato in figura 4, e di una terza cosiddetta "residuo". In particolare il trend rappresenta una componente che varia lentamente nel tempo, la stagionalità è periodica con andamento mensile,

trimestrale o annuale, mentre quella residua o irregolare è una componente più erratica, che può evidenziare oscillazioni di breve periodo ed è ricavabile tramite un filtraggio rispetto alle altre due. Nel nostro caso analizzando le figure 4, 5 e 7 si è optato per un modello additivo composto da trend, stagionalità e residuo.

Il metodo scelto per la decomposizione del modello additivo nelle sue tre sopraccitate componenti è STL (Seasonal Trend decomposition with Loess), presente nel pacchetto "stats" del software R (R Development Core Team, 2005). STL effettua una stima simultanea del trend e della stagionalità in modo iterativo utilizzando uno stimatore tipo loess (Cleveland et al., 1990). Il loess è una regressione "locale" ai minimi quadrati di tipo polinomiale:

$$y_i = f(x_i) + \epsilon_i$$

dove  $f(x)$  è una funzione continua e senza oscillazioni rapide ed  $\epsilon_i$  sono i residui. Si utilizza come stima di  $f(x)$  il valore assunto in  $x$  da un polinomio, utilizzando solo un certo numero di osservazioni "vicine". Lo stimatore loess stima il valore di  $f(x)$  con un polinomio del tipo:

$$\hat{f}(x) = b_0(x) + b_1(x)x + \dots + b_p(x)x^p$$

dove i coefficienti  $b(x)$  sono determinati tramite un processo di minimizzazione dei quadrati delle distanze. Analizzando i dati relativi all'idrometrografo Barillari 2 si è osservato che la migliore scomposizione si ottiene utilizzando 11 osservazioni "vicine". In figura 9 è possibile osservare la scomposizione nella componente di trend, di stagionalità e di residuo. Il grafico dei residui presente in figura 9 indica valori attorno a + -1 m, in particolare negli ultimi anni. Sempre nella stessa figura è possibile osservare residui maggiori (si osservi dal 1990 al 1997) in corrispondenza della rapida variazione di livello riscontrata in quegli anni e visibile sempre in figura 9 (Livello).

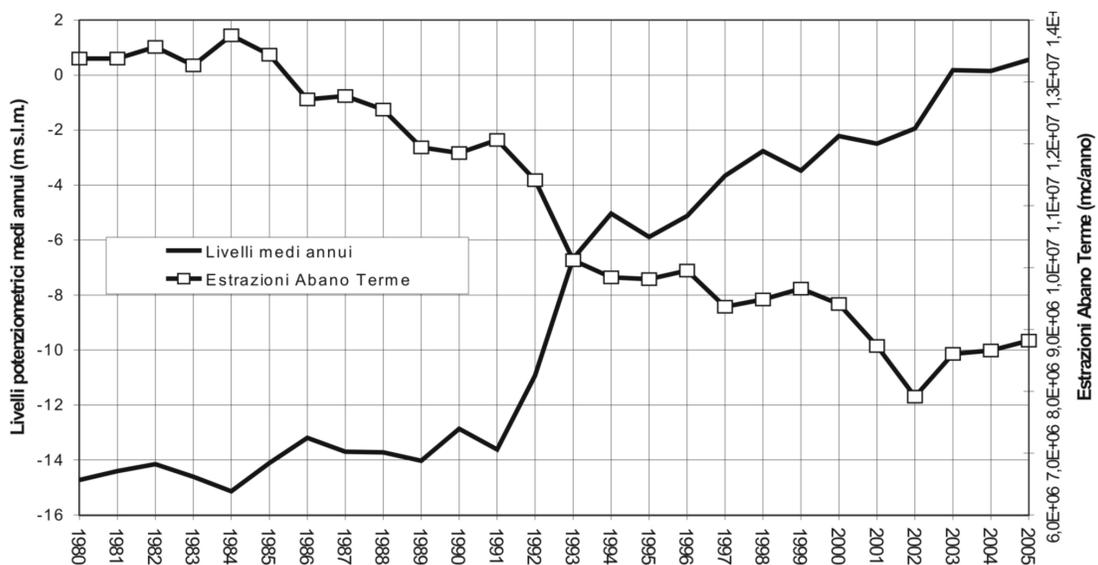


Fig. 8 - Livelli potenziometrici medi annuali e portate estratte ad Abano dal 1980 al 2005.

Annual average potentiometric levels and total flow rate exploited in the Abano field from 1980 till 2005.

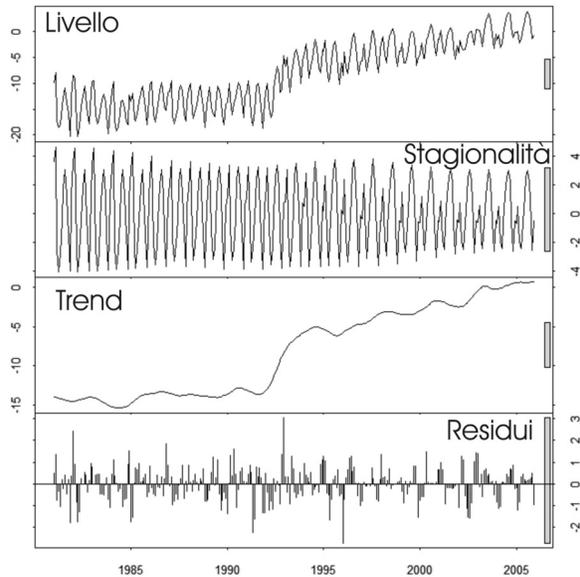


Fig. 9 - Scomposizione dei valori potenziometri dal 1981 al 2005 al pozzo Barillari 2 nelle loro componente di trend, stagionalità e residuo

*Barillari 2 potentiometric level breakdown according to trend, seasonality and residual factors.*

Nel valutare l'entità dei residui non si deve dimenticare che la variazione di livello tra i periodi di massimo e di minimo può raggiungere e superare anche i 15 metri.

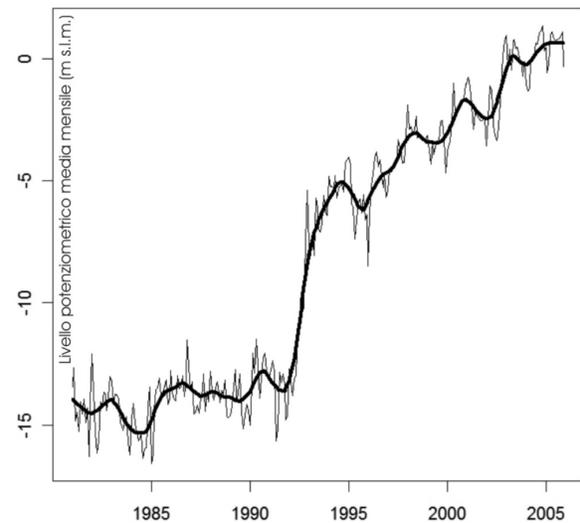


Fig. 10 - Confronto tra la componente trend e la serie destagionalizzata.

*Comparison of trend factor and deseasonality series*

La figura 10 confronta il trend e la serie dei dati potenziometrici destagionalizzati (valori ai quali è stata sottratta la stagionalità) per verificare la qualità di filtraggio della stagionalità. In figura 11 si osservano i valori dei livelli detrendizzati (valori ai quali è stato sottratto il trend) suddivisi per mese e fittati con la componente stagionale calcolata.

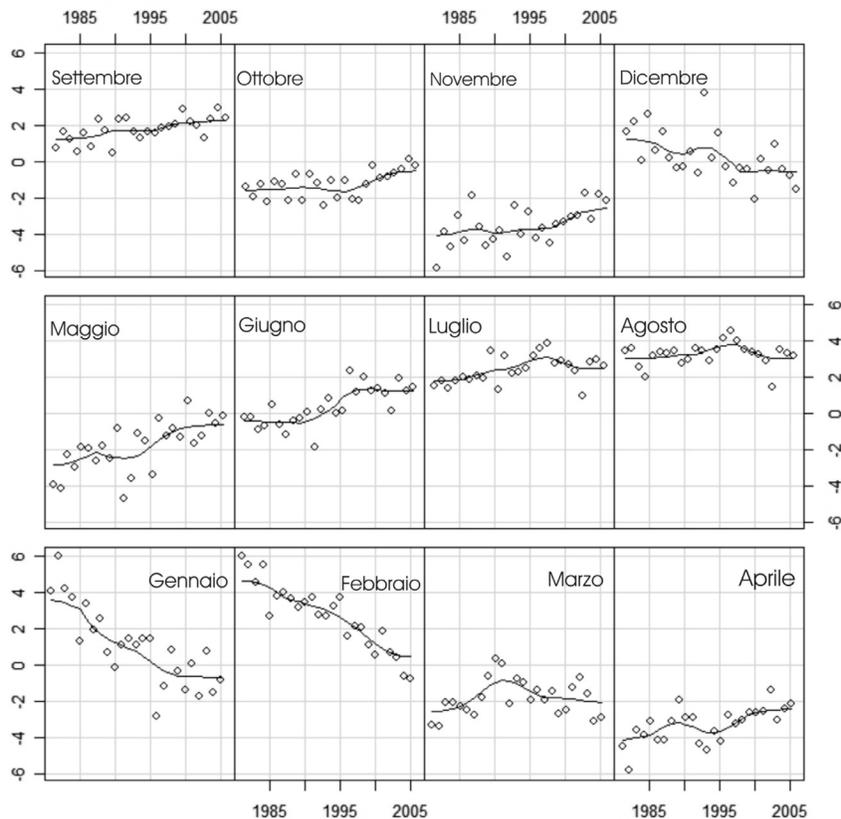


Fig. 11- Livelli detrendizzati raggruppati per mese e fittati con la componente stagionale stimata.

*Detrended potentiometric levels grouped by the month and organised according to the estimated seasonality factor*

La figura consente di osservare anche la presenza di trend mensili entro la stagionalità. In particolare si tratta di trend in fase di abbassamento nei mesi di gennaio, febbraio e dicembre, in fase di risalita ad aprile, maggio, giugno, luglio, settembre, ottobre, novembre. Un tale andamento segnala che, nonostante ci sia stato in Abano un tendenziale recupero dei livelli dal 1980 fino ad oggi, in realtà la componente stagionale ha subito un abbassamento nei mesi invernali, a conferma della presenza di un “terzo” minimo invernale.

In figura 12 è visibile l’istogramma (A) ed il diagramma (B) dei residui, che evidenziano come questi siano essenzialmente compresi tra  $\pm 1$  m. Nella stessa figura è anche possibile vedere il confronto tra la distribuzione dei valori reali e quelli stimati (C), che mostra la qualità della stima. Infine, sempre in figura 12 (C), il correlogramma indica la consistente perdita di correlazione dei residui, quindi la loro casualità e perciò la qualità della scomposizione nelle tre componenti additive: trend, stagionalità e residuo.

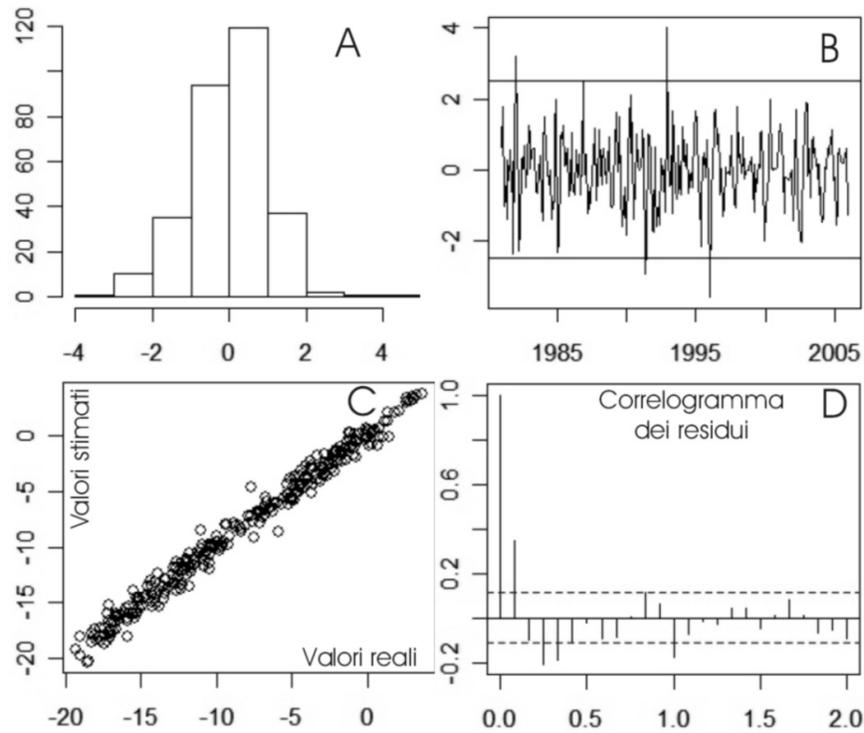


Fig. 12 - Istogramma dei residui (A); diagramma dei residui (B); confronto tra le distribuzioni dei valori reali e stimati (C); il correlogramma dei residui indica la consistente perdita di correlazione tra i residui (D).  
*Residual histogram (A); standardised residuals (B); comparison of real and estimated potentiometric levels (C); the residual correlogram indicates a correlation reduction among residuals (D).*

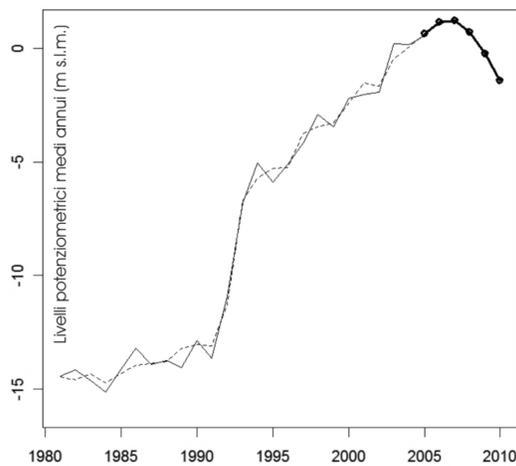


Fig. 13 - Valori medi mensili reali (linea continua) e valori stimati (linea tratteggiata) utilizzando un modello di tipo additivo generalizzato (GAM); valori potenziometrici stimati dal

Particolare interesse è stato focalizzato sulla componente “trend”, visibile nelle figure 9 e 10, anche perché consente un diretto confronto tra i valori annuali delle estrazioni ed i livelli potenziometrici, al di là delle variazioni stagionali antropicamente indotte. Quindi partendo dalla stima del trend su base mensile sono stati calcolati i valori potenziometrici medi annuali. A questo punto partendo dai dati medi annuali e dalle estrazioni annuali si è impostato un modello in grado di prevedere la risposta del trend a seguito di estrazioni simulate.

2005 (8,6 M m<sup>3</sup>/anno) al 2010 (11M m<sup>3</sup>/anno) (linea spessa e punti). *Actual average monthly potentiometric levels (solid line) and the estimated ones (dashed line) using a generalised additive model (GAM); estimated potentiometric values since 2005 (8,8 M m<sup>3</sup>/year) to 2010 (11 M m<sup>3</sup>/year) (thick solid line).*

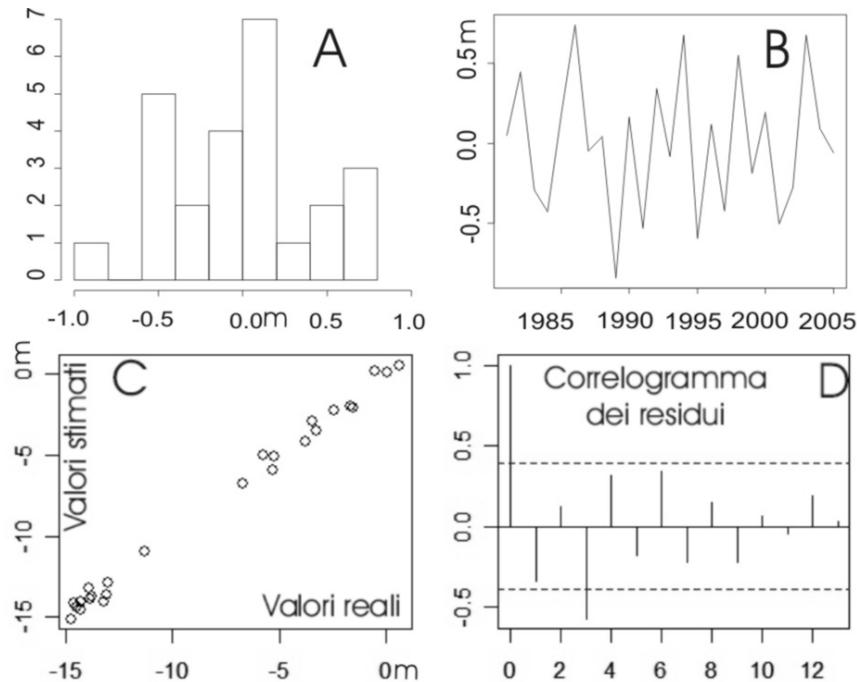


Fig. 14 - Istogramma dei residui (A); diagramma dei residui (B); confronto tra le distribuzioni dei valori reali e stimati (C); correlogramma dei residui indica la consistente perdita di correlazione tra i residui (D).

*Residual histogram (A); residuals (B); comparison of actual and estimated values (C); the residual correlogram indicates a correlation reduction among the residuals.*

Sui valori potenziometrici annuali è stata fatta una stima usando un modello di tipo additivo generalizzato GAM (Generalized Additive Model) (Wood, Augustin, 2002) presente nel pacchetto “mgcv” (Wood, 2004) del software R, per la parte teorica di questo modello si rimanda alla bibliografia specifica.

La variabile dipendente è rappresentata dal livello e quelle indipendenti sono il tempo e la portata annua in Abano, i risultati delle stime sono visibili in figura 13. In figura 14 sono osservabili alcune caratteristiche della stima. In particolare l’istogramma dei residui (A), il diagramma dei residui in metri (B) e la relazione tra valori veri e valori stimati, visualizzano la qualità della stima. Nella figura 14C la non correlazione tra i residui conferma la qualità della stima.

Una volta costruito e verificato il modello sulla base

dei risultati dei residui, si è calcolata una previsione di livelli potenziometrici al 2010 in Abano Terme, considerando un aumento di portata dai circa 8,8 M m<sup>3</sup>/anno del 2005 agli ipotetici 11 M m<sup>3</sup>/anno del 2010. Si è scelto arbitrariamente questo valore perché potrebbe rappresentare un ritorno ad una situazione estrattiva già riscontrata nel 1992. Osservando la figura 13 si conclude che questa ipotesi comporterebbe un abbassamento del livello potenziometrico a -1,4 m s.l.m. nel 2010 a seguito dell’ipotetico aumento di 2,2 M m<sup>3</sup>/anno delle estrazioni medie annue.

### Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare l’anonimo revisore per gli utili suggerimenti forniti.

### Bibliografia

Antonelli R., Fabbri P., Iliceto V., Maiorana C., Previatello P., Schrefler B.A. & Sedea R., 1995. The hydrothermal euganean field. A subsidence modelling approach. World Geothermal Congress 18-31 maggio Firenze, 1263-1268, Firenze.

Boaretto, E., Carmi, I., Fabbri, P., Heinemeier, J., Sartori, S., Sveinbjornsdottir, A.E., Yechieli, Y., 2003. Radiocarbon in thermal and fresh groundwater in Veneto Region, Northern Italy. Proceedings of the XVIII International Radiocarbon conference (abstract), Wellington, NZ.

Cleveland B., Cleveland S., McRae J., Terpenning I. 1990. STL: a seasonal-trend

decomposition procedure based on loess. Journal of Official Statistics, 6 (1), 3-73.

Dal Piaz, G.V., Antonelli, R., Bellucci, L., Fabbri, P., Iliceto, V., Noto, P., Panichi, C., Sedea R., 1994. Relazione finale sulle ricerche sul Bacino Termale Euganeo. Rapporto Finale Convenzione di ricerca Università di Padova – Regione Veneto.

Fabbri P., 1997. Transmissivity in the Euganean Geothermal Basin: a geostatistical analysis. Ground Water, 35(5), 881-887.

Fabbri P., 2001. Probabilistic assessment of temperature in the Euganean geothermal area (Veneto region, NE Italy). Mathematical Geology, 33(6), 745-760.

Fabbri P., 2005. Controllo dei livelli potenziometrici nel Bacino Termale Euganeo (Padova). Convenzione di ricerca Università di Padova – Regione Veneto.

Fabbri P., Trevisani S. 2005. Spatial distribution of temperature in the low-temperature geothermal Euganean field (NE Italy): a simulated annealing approach. Geothermics, 34, 617-631.

Gheraldi, F., Panichi, C., Caliro, S., Magro, G., Pennini, M., 2000. Water and gas geochemistry of the Euganean And Berician Thermal district (Italy). Applied Geochemistry, 15, 455-474.

Piccoli G., Dal Pra A., Sedea R., Bellati R., Di Lallo E., Cataldi R., Baldi P., Ferrara G.C.,

1973. Contributo alla conoscenza del sistema idrotermale Euganeo-Berico. Atti Acc. Naz. Lincei, serie VIII, V. XI, Roma.

R Development Core Team 2005. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical

Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.

Wood, S.N. 2004. Stable and efficient multiple smoothing parameter estimation for generalized additive models. Journal of the American Statistical Association, 99, 673-686.

Wood S.N., Augustin N. 2002. GAM's with integrated models selection using penalized regression splines and applications to environmental modelling. Ecological Modelling, 157, 157-177