

Analisi dell'evoluzione piezometrica nel periodo 2007-2008 nel settore meridionale della Piana di Lucca (Toscana), area di crisi idrica conclamata

Michele Ambrosio¹, Alice Del Sordo², Maria-Teresa Fagioli*³, Roberto Gianecchini⁴, Alberto Puccinelli⁵, Angela Sartelli⁶

Parole chiave: idrogeologia, piezometria, crisi idrica, Piana di Lucca

L'area fra la Piana di Lucca e la conca di Bientina è stata, almeno fino alla metà del XVIII secolo, un insieme di aree umide lacustri, fluviali e palustri, in cui affioravano anche numerose risorgive. In meno di 150 anni, la politica delle bonifiche idrauliche e dei prosciugamenti, nonché lo sviluppo di un grande polo industriale cartario ed i numerosi emungimenti acquedottistici hanno progressivamente ridotto, fino all'attuale conclamato stato di crisi, la risorsa idrica sotterranea. Al fine di conoscere la situazione attuale e l'evoluzione temporale della piezometria della falda contenuta nell'acquifero in ghiaie (Conglomerati del Serchio da Bientina Auctt.) nell'ottica di una corretta gestione sostenibile della risorsa idrica, sono stati misurati, sin dal 2007 e con cadenza mensile, i livelli piezometrici in numerosi punti d'acqua presenti nella porzione meridionale della Piana.

L'elaborazione delle informazioni, confrontate anche con dati pregressi, ha permesso un'analisi della dinamica dell'acquifero su periodi più lunghi. Le carte piezometriche elaborate nell'arco di un anno idrologico hanno evidenziato la presenza di due minimi chiusi in corrispondenza dei campi-pozzi del Pollino e di Pacconi (Porcari); tali depressioni sono gli effetti di una concentrazione non sostenibile a lungo termine di emungimenti in un quadro di generalizzato abbassamento del livello piezometrico causato da ingenti prelievi in falda, producendo localmente un'inversione della direzione di naturale deflusso, allargando il fronte di richiamo delle acque di falda.

Il confronto con carte piezometriche degli anni precedenti ha evidenziato che, dal 1975 al 2008, la superficie piezometrica si è abbassata di circa 2,5 e 5 metri rispettivamente a nord ed a sud dell'area studiata, con medie di 0,08 m/anno nella parte nord e di circa 0,15 m/anno nella parte sud. Questi dati indicano che al momento si sta consumando la riserva idrica contenuta nell'acquifero in ghiaie della piana.

Introduzione

La Piana di Lucca (figura 1) è delimitata a nord dalle propaggini sud-orientali delle Alpi Apuane e dai rilievi appenninici delle Pizzorne, ad est dalle colline del Monte Albano, ad ovest e sud-ovest dai Monti Pisani ed a sud-est dalle modeste alture delle Cerbaie, che separano la piana dal Valdarno Inferiore. La serie di alture che circonda la piana presenta due aperture: verso Ripafratta ad ovest e verso Bientina a sud-est.

La piana ricade all'interno di un'ampia depressione tettonica con asse maggiore disposto in direzione NO-SE, che iniziò a formarsi nell'Appennino Settentrionale a partire dal Miocene superiore. I rilievi che ne delimitano i confini sono costituiti da rocce appartenenti alla Successione Toscana metamorfica e non metamorfica (Monti Pisani) a sud-ovest, alla Successione Toscana metamorfica e alle formazioni del complesso delle Liguridi s.l. (Alpi Apuane e Pizzorne) a nord-ovest, ai depositi fluviali pleistocenici (Le Cerbaie) ad est, mentre

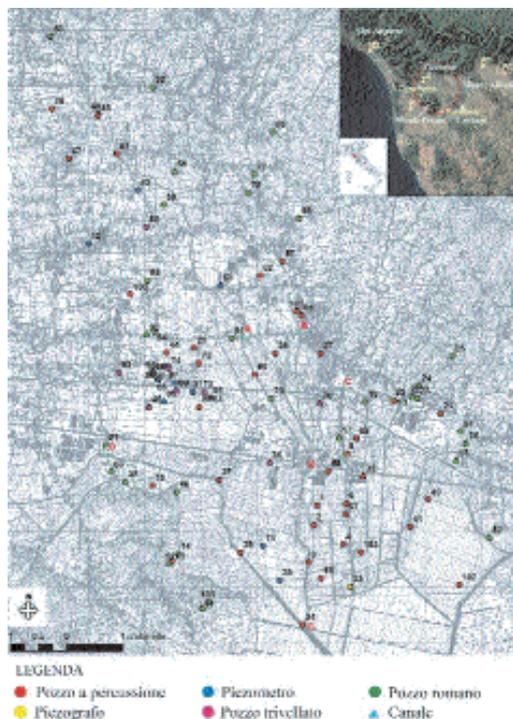


Figura 1: Ubicazione dell'area di studio con indicazione dei punti d'acqua monitorati.

nelle aree di raccordo tra le colline e la pianura sono presenti depositi di conoide e antiche alluvioni terrazzate.

Dal punto di vista idrografico l'area di studio ricade nell'ambito di competenza dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno, ma il regime della falda della Piana è regolato prevalentemente dalle portate del Fiume Serchio (Baldacci *et alii*, 1994), le cui acque s'infiltrano nei depositi ghiaioso-sabbiosi di subalveo, da cui poi si dirigono negli antichi paleoalvei presenti diffusamente nel sottosuolo di tutta la piana.

Dal punto di vista idrogeologico, nella parte orientale della Piana di Lucca l'acquifero è costituito da un orizzonte sabbioso-ghiaioso con ciottoli, freatico nella porzione settentrionale e semi-confinato o confinato in quella centro-meridionale. Dall'analisi delle sezioni stratigrafiche (Nardi *et alii*, 1987, Baldacci *et alii*, 1994), si ricava infatti che verso nord l'acquifero è privo di copertura di terreni im-

permeabili, mentre giace al di sotto di depositi limoso-argillosi di bassa permeabilità nella parte meridionale (Nardi *et alii*, 1987).

Lo spessore dell'acquifero sabbioso-ghiaioso varia dai 10 ai 15 m nella porzione settentrionale, fino a raggiungere i 40 m nella porzione meridionale. Il maggior spessore dell'acquifero si ritrova in corrispondenza dei paleoalvei del Serchio, mentre nelle zone di interfluvio tale spessore si riduce. La superficie piezometrica, situata generalmente a modesta profondità dal piano di campagna, risulta fortemente depressa in corrispondenza dei consistenti emungimenti delle zone industrializzate o dei campi-pozzi acquedottistici.

In figura 2 è riportato lo schema del modello idrogeologico sulla Valle di Bientina tratto da Baldacci *et alii* (1994). Il sistema acquifero della piana lucchese è ricaricato nella parte nord da flussi provenienti sia da infiltrazioni locali sui rilievi più settentrionali, ma soprattutto dal flusso di subalveo del Fiume Serchio, che si infiltra nei materiali alluvionali più grossolani presenti nel sottosuolo della

gli autori

¹ AF Geoscience and Technology Consulting, Campo (PI), ambrosiom@afgtec.com

² Collab. esterno Dip. Scienze Terra, Università di Pisa, alice.delsordo@gmail.com

³ AF Geoscience and Technology Consulting, Campo (PI), fagiolimt@afgtec.com

⁴ Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, rgianecchini@dst.unipi.it

⁵ Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, pucci@dst.unipi.it

⁶ Collab. esterno Dip. Scienze Terra, Università di Pisa, angiesarte@yahoo.it

* autore per corrispondenza.

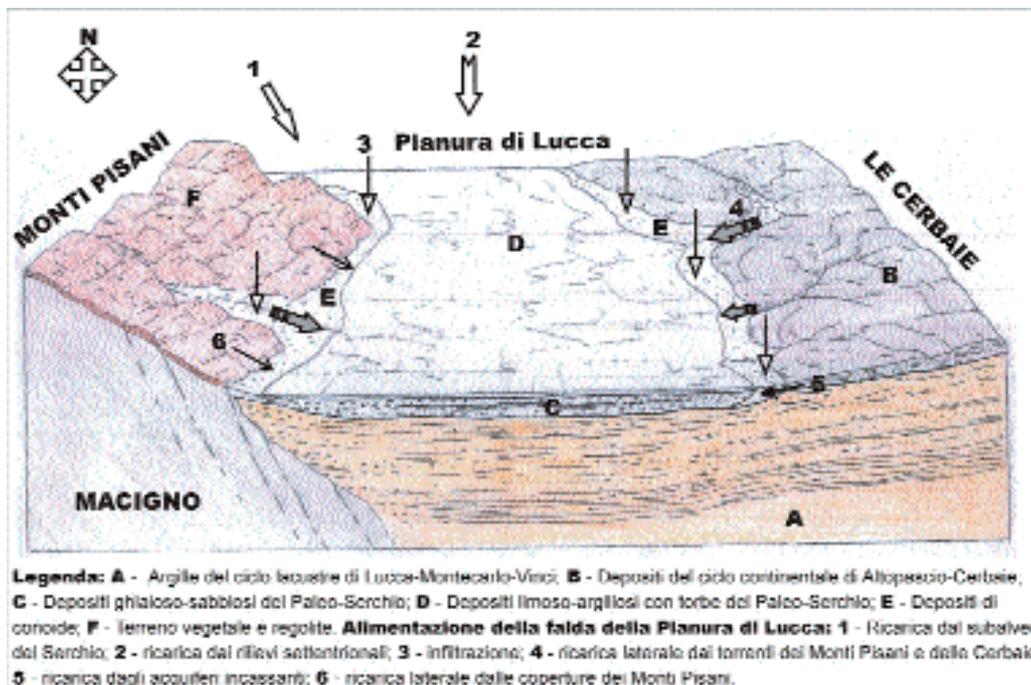


Figura 2: Modello idrogeologico concettuale dell'area compresa tra la Piana di Lucca e la Valle di Bientina (Baldacci et alii, 1994, modificato).

piana. Il sistema è inoltre ricaricato dall'infiltrazione meteorica diretta nei depositi di conoide presenti a ridosso dei versanti collinari e dall'inalveamento dei torrenti che scendono dai rilievi delle Cerbaie e dei Monti Pisani, dalla ricarica degli acquiferi incassanti delle Cerbaie (comunicanti con l'acquifero in ghiaie e sabbie) e dal flusso ipodermico proveniente dai materiali di copertura che ricoprono le formazioni rocciose presenti nelle propaggini orientali dei Monti Pisani.

Il deflusso naturale dell'area oggetto di studio è verso il Padule di Bientina, ovvero SE, ma, negli ultimi anni tale deflusso è stato fortemente ridotto, a causa dei rilevanti emungimenti nell'area a monte della conca di Bientina, che hanno creato coni di depressione con richiamo di cospicui quantitativi idrici da SE. Gli emungimenti hanno determinato nel tempo sia un progressivo abbassamento del livello piezometrico, che fenomeni di subsidenza generalizzata (Brugioni et alii, 2008), accompagnata localmente da formazioni di cavità

(*micro-sinkhole*) che hanno innescato un giustificato allarme nella popolazione residente (Dell'Aringa, 2006; Dell'Aringa et alii, 2009).

Nell'ambito di questo lavoro è stato effettuato il monitoraggio della superficie piezometrica, con cadenza mensile e per un intero anno idrologico, di una porzione della pianura lucchese (parte sud-orientale comprendente il territorio dei comuni di Capannori e Porcari e parte di quello dei comuni di Montecarlo e Altopescio, per un'estensione di circa 63 km²). Lo scopo era quello di verificarne l'andamento stagionale nel periodo fine 2007-2008, ma anche di analizzare come la superficie piezometrica si sia evoluta a partire dalla metà degli anni '70. Il lavoro ha contemporaneamente permesso l'implementazione di una rete di monitoraggio, che si auspica possa venir estesa, a breve, a tutta la pianura, consentendo il controllo sistematico della sue risorse idriche sotterranee ed eventualmente l'applicazione di strumenti di modellazione previsionale.

Dati sperimentali

Il punto di partenza per effettuare un monitoraggio piezometrico è la progettazione di una rete di controllo che dovrebbe prevedere punti di misura, non direttamente soggetti ad emungimento, spazati secondo una maglia regolare. Tale progettazione, quando ragioni di tempo e di budget impongono di impiegare esclusivamente "punti d'acqua" già esistenti, in un'area di intenso emungimento, è fattibile solo se il numero di punti potenziali di misura è molto elevato.

Nell'area di studio la presenza di numerosi pozzi "romani" e trivellati ha permesso di predisporre di una rete di monitoraggio significativa, mitigando in parte le incertezze derivanti dall'assenza di informazione circa l'esatta ubicazione dei tratti filtrati di molti dei pozzi trivellati e consentendo di misurare sempre solo pozzi non in emungimento.

Il censimento dei punti di misura (in prevalenza pozzi e piezometri) è stato effettuato partendo da dati bibliografici e da *database* di enti pubblici, integrato, per le aree più sprovviste, mediante una ricerca in sito. Questa ha consentito sia una verifica delle condizioni logistiche dei pozzi noti, che l'individuazione di pozzi non segnalati. Sono stati selezionati complessivamente 103 punti di misura che intercettano il medesimo acquifero. Durante il periodo di monitoraggio, alcuni pozzi non sono risultati più misurabili perché danneggiati o non più accessibili, riducendo così il numero di punti a 97.

Durante i rilievi sono stati monitorati anche i punti (pozzi e piezometri) all'interno dei campi-pozzi acquedottistici presenti in zona; in questi casi la misura era certamente di tipo dinamico, ovvero con pozzo quasi sempre in emungimento; peraltro, ciò non toglie valore a questi dati, perché in effetti i campi-pozzi sono ormai da considerarsi a tutti gli effetti come facenti parte della dinamicità sistema piezometrico, rendendo forse ancor più realistico il risultato. Nel complesso sono stati monitorati i seguenti campi-pozzi:

- Paganico, al cui interno sono ubicati anche 3 piezometri;
- Pacconi (Porcari), di cui è stato possibile misurare un solo pozzo, peraltro sempre in emungimento e quindi escluso dalle elaborazioni;
- Nuovo Centro (Capannori), che non è stato monitorato direttamente, ma il cui livello statico è stato fornito dal gestore;
- Tazzera (Altopascio), di cui è stato possibile mi-

surare un solo pozzo, anch'esso sempre in emungimento e quindi escluso dalle elaborazioni;

- Pollino (Porcari), di cui è stato misurato un solo pozzo non in emungimento.

Come si può notare dalla figura 1, la distribuzione dei punti di misura non risulta uniformemente spaziata, ma si ha una concentrazione maggiore nelle aree industriali e negli agglomerati urbani, rispetto alle zone agricole.

Il monitoraggio piezometrico è stato effettuato mensilmente dal dicembre 2007 all'ottobre 2008. Ciò ha consentito di verificare il comportamento della falda dopo un periodo particolarmente siccitoso quale quello relativo all'anno 2007 e durante l'anno assai piovoso del 2008. Ciascuna campagna è stata eseguita in un tempo massimo di 2 giorni (ad eccezione della prima, contemporanea al censimento) per garantire una ragionevole sincronicità dei dati. L'elaborazione delle carte piezometriche è stata eseguita sia manualmente (metodo dei piani quotati), che con il programma *Surfer 8* della Golden Software (metodo dell'interpolazione lineare): le mappe vettoriali così ottenute sono state poi inserite in un progetto GIS per il raffinamento. Sono stati quindi interpolati i dati puntuali dei livelli piezometrici rilevati per ciascuna delle 11 campagne. L'equidistanza tra le isolinee è stata scelta pari a 1 metro nell'area di pianura e a 5 metri sui rilievi circostanti per agevolarne la leggibilità.

Risultati

Dallo studio delle carte piezometriche mensili è stato possibile individuare i mesi di morbida e di magra nell'anno idrologico.

– Aprile 2008: rappresenta la situazione di morbida (figura 3). Si può notare un certo contributo laterale proveniente dai rilievi centro-settentrionali delle Cerbaie, la cui influenza è riscontrabile fino circa all'altezza di Lunata. A sud di Lunata, si nota un diradamento delle isolinee che però, procedendo verso il Padule di Porcari, formano due minimi chiusi, rispettivamente in corrispondenza dei campi-pozzi di Pacconi (Porcari) e del Pollino (Padule di Porcari). Questa diversa condizione deriva dal fatto che a nord di Lunata sono presenti essenzialmente emungimenti ad uso domestico, distanziati e di modesta entità, mentre a sud dell'abitato si trovano una zona industriale cartaria molto sviluppata e campi-pozzi acquedottistici, con emun-

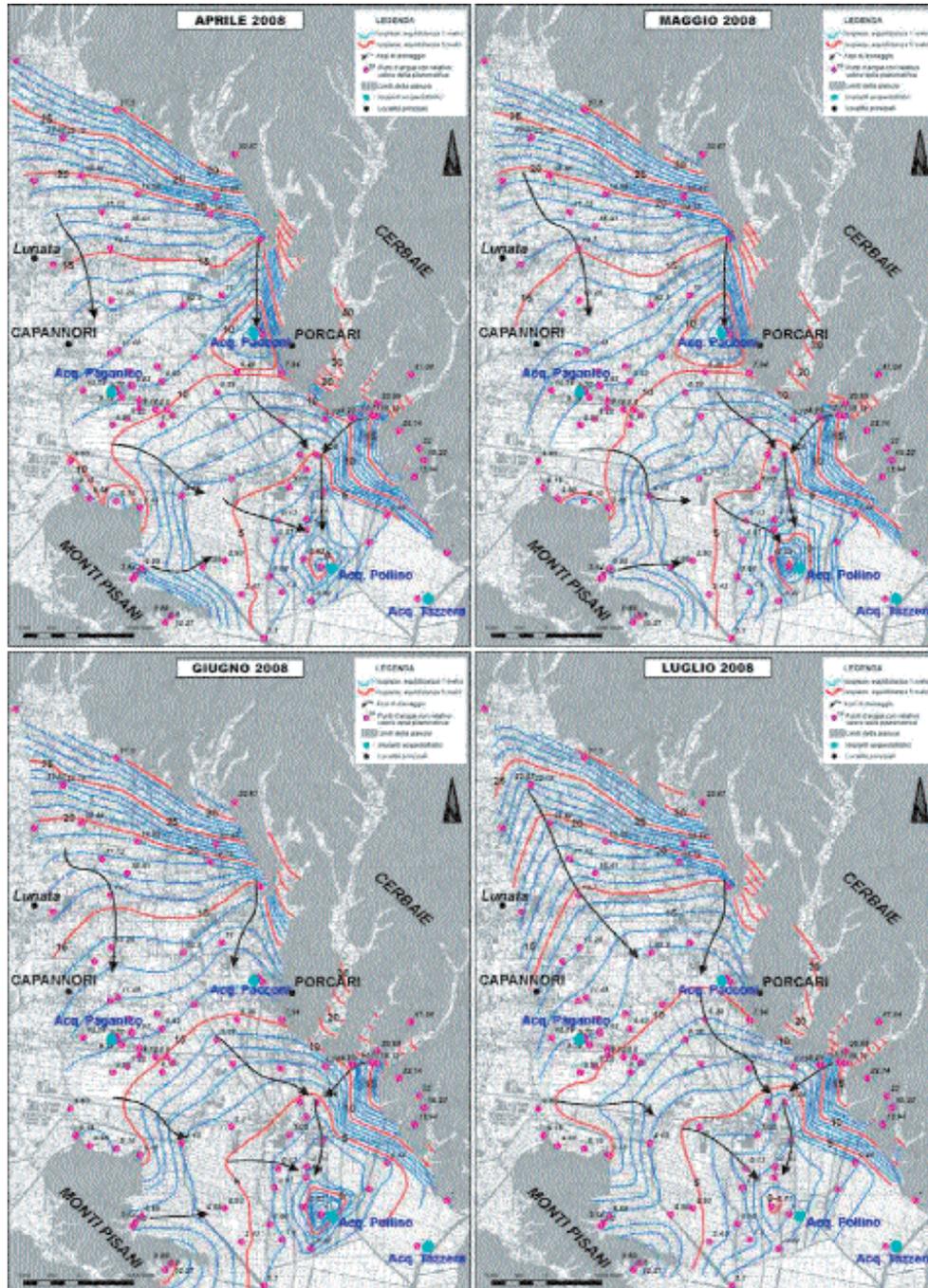


Figura 4: Carte piezometriche di aprile (morbida), maggio, giugno e luglio 2008.

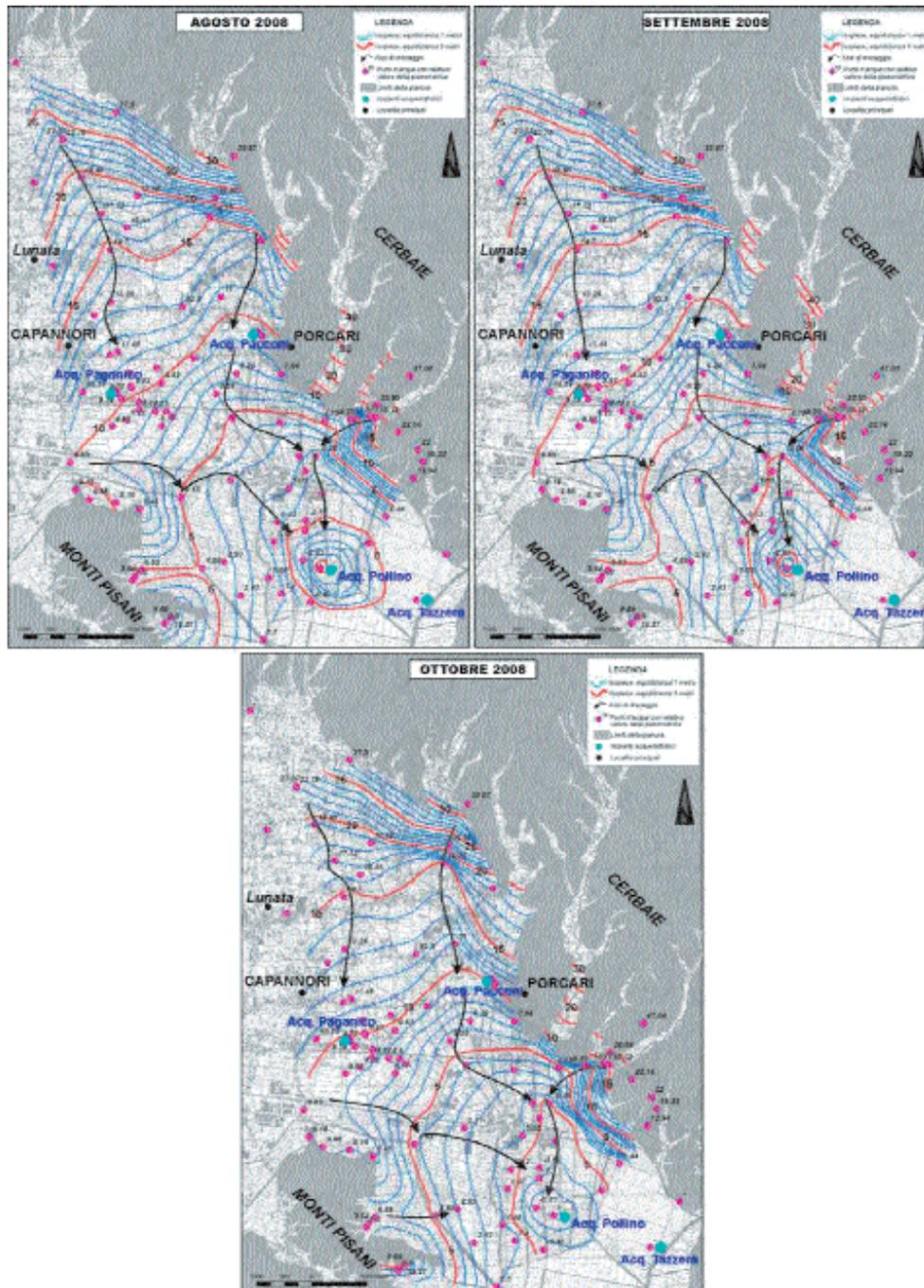


Figura 5: Carte piezometriche dei mesi di agosto, settembre ed ottobre (magra) 2008.

gimenti consistenti. Il minimo piezometrico in corrispondenza dell'impianto di Pacconi è risultato di circa 8 m s.l.m., mentre quello del Pollino ha mostrato un valore al di sotto del livello medio del mare di circa 2 metri.

Le piezometrie mostrano inoltre l'esistenza di apporti provenienti dall'area dei Monti Pisani: in questa zona i Monti Pisani sono costituiti essenzialmente dal Macigno, poco permeabile, e gli apporti sono riconducibili verosimilmente alla circolazione ipodermica nelle sue coperture.

Sono stati individuati due assi di drenaggio con direzione circa N-S, uno dei quali punta verso il minimo chiuso di Pacconi, e altri assi di drenaggio provenienti dalle aree limitrofe al Padule di Porcari che convergono verso il minimo chiuso del Pollino.

– Ottobre 2008: rappresenta la carta di magra (figura 4) dalla quale si nota che le aree di ricarica del sistema acquifero restano invariate rispetto al mese di aprile, mentre le isopieze indicano un abbassamento di circa 1 m nell'area settentrionale e di circa 3 m in quella meridionale. Sulla carta è presente il solo minimo del Pollino, il cui cono di depressione indica sempre un valore di -2 m s.l.m. L'assenza della depressione piezometrica di Pacconi non è dovuta a variazioni idrogeologiche, bensì alla impossibilità di disporre dei dati del campo-pozzi che avrebbero dovuti essere forniti dalla società di gestione. Resta comunque la presenza di uno degli assi di drenaggio provenienti da nord, aventi direzione circa nord-sud, che evidenzia un richiamo di acqua verso questa zona.

Per quanto riguarda gli assi di drenaggio della zona meridionale, la loro geometria resta invariata rispetto al mese di morbida, in quanto la piezometrica dell'area è sostanzialmente controllata dal minimo chiuso del Pollino.

Analizzando in generale le carte piezometriche degli 11 mesi (Figure 3, 4, 5) è stato possibile notare aspetti comuni in tutte le campagne di misura:

– i rilievi delle Cerbaie costituiscono una fonte di ricarica di modesto rilievo per l'acquifero della Piana di Lucca, ricarica proveniente dagli acquiferi incassanti e dai corsi d'acqua che scendono dai rilievi;

– l'area dei Monti Pisani che lambisce la zona di studio contribuisce con modesti quantitativi alla ricarica della Piana.

– sono presenti dei minimi piezometrici in corrispondenza dei campi-pozzi del Pollino e di Pacco-

ni ed in alcuni mesi anche nell'area industriale di Porcari, dove sono situate numerose cartiere. Per quanto riguarda il minimo chiuso del Pollino, le isolinee tendono ad allargarsi verso l'area del campo-pozzi di Tazzera, in quanto anch'esso provoca un forte abbattimento della tavola d'acqua (non è però stato riportato sulle carte in quanto la sua posizione, al limite dell'area indagata, non permette l'interpolazione corretta dei valori piezometrici).

Inoltre è stato possibile osservare che:

- la ricarica proveniente dalle Pizzorne e dalle Cerbaie viene richiamata dai minimi chiusi in corrispondenza dei campi-pozzi di Pacconi e Pollino, mentre la ricarica fornita dai Monti Pisani defluisce in parte verso il Padule di Bientina;

- l'abbassamento generale della tavola d'acqua dal periodo di morbida (aprile 2008) al periodo di magra (ottobre 2008) è risultato pari a 1 metro nella porzione di pianura a nord dell'abitato di Paganico e di circa 3 metri mentre nella parte sud. Questa sostanziale differenza può ragionevolmente ricondursi ad una minore densità ed entità degli emungimenti nella porzione nord rispetto a quella meridionale.

Evoluzione temporale della superficie piezometrica (1975-2008)

Il confronto con carte piezometriche del passato ha permesso di analizzare il comportamento della falda a partire dagli anni '70. A tale scopo erano disponibili le carte piezometriche relative al 2007 (Seghieri, 2008), quelle del 2005 (Micheletti, 2005) ed infine del 1975 (Nardi *et alii*, 1987).

Seghieri (2008) (figura 6) analizza la piezometrica di morbida (aprile) e di magra (ottobre) relative al 2007 per una zona in parziale sovrapposizione all'area di studio. Confrontando le carte di morbida 2007 e 2008 si può osservare che, a distanza di un anno, la situazione piezometrica si ripresenta simile, con la significativa eccezione del minimo chiuso del Pollino, che si è approfondito di circa 2,6 metri. Comparando le carte di magra 2007 e 2008, si nota che nella prima non compare il minimo di Pacconi (probabilmente ancora imputabile alla mancanza di dati); un'altra differenza apprezzabile riguarda il minimo del Pollino che, nel 2008, sembrerebbe risalito di 1 metro. Peraltro, al momento non si hanno dati per poter dire se tale re-

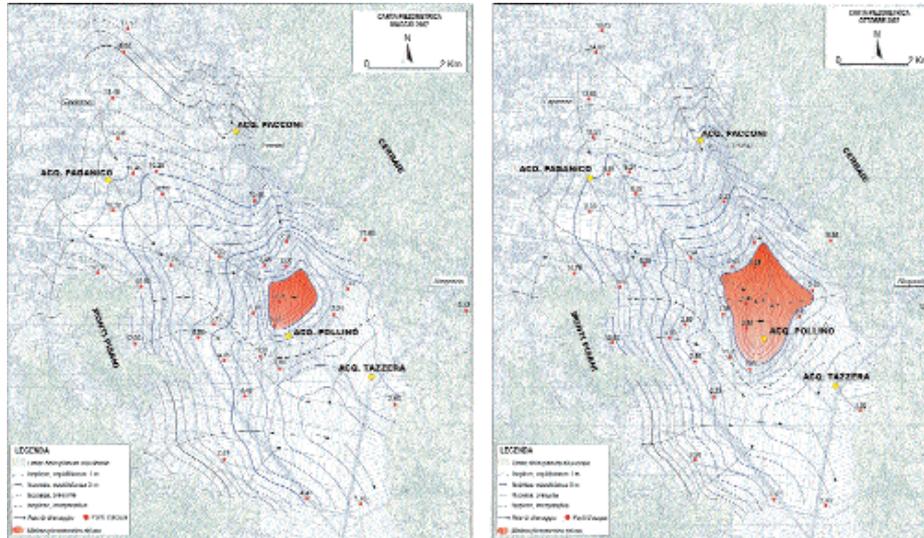


Figura 6: Carte piezometriche dei mesi di maggio ed ottobre 2007 (Seghieri, 2008).

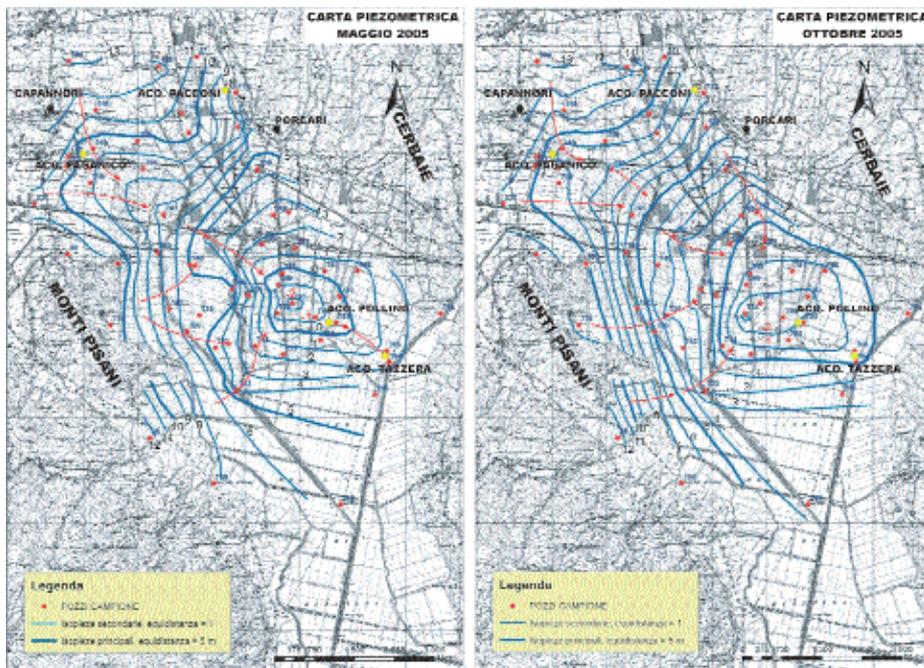


Figura 7: Carte piezometriche dei mesi di maggio ed ottobre 2005 (Micheletti, 2005, in Seghieri, 2007).

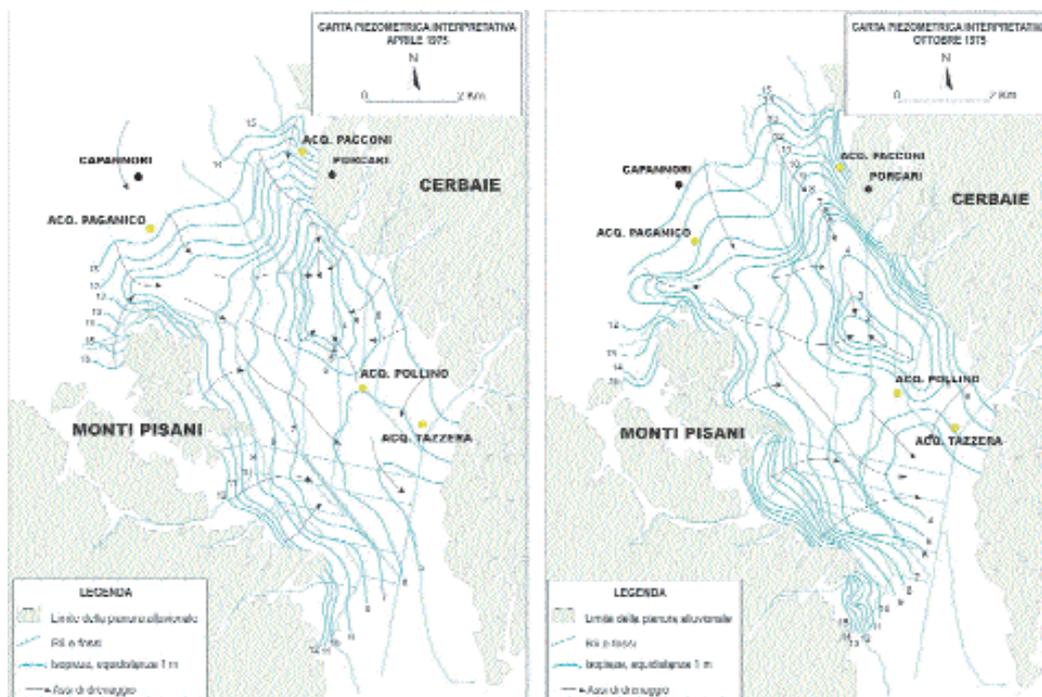


Figura 8: Carte piezometriche dei mesi di aprile ed ottobre 1975 (da Nardi et alii, 1987, in Seghieri, 2007).

cupero sia legato ad una temporanea riduzione degli emungimenti circostanti o corrisponda ad un fenomeno di lungo periodo. La prima ipotesi sembra essere la più ragionevole, in considerazione dell'ubicazione, all'interno di un campo pozzi, del punto di misura. Inoltre, nel mese di ottobre 2008 il pozzo del Pollino è sempre stato in emungimento e non è stato quindi possibile misurarne il livello effettivo.

Confrontando le carte piezometriche 2008 con quelle elaborate da Micheletti (2005), riferite sempre ai periodi di morbida (maggio 2005) e di magra (ottobre 2005) (figura 7) si è potuto osservare che, a distanza di 3 anni, la superficie piezometrica sia ad aprile 2008 che a ottobre 2008 risulta abbassata di circa 1 metro.

È stato anche effettuato un confronto con le carte piezometriche rilevate da Nardi *et alii* (1987). La carta di morbida del 2008, rispetto a quella di morbida di aprile 1975 (figura 8), presenta una superficie piezometrica abbassata di più di 2 metri ed il

minimo chiuso nel comune di Porcari leggermente spostato verso sud-ovest, con il fondo della depressione piezometrica approfonditasi di circa 6 metri in 33 anni (da 4 m s.l.m. del 1975 a -2 m s.l.m. attuali).

In merito al periodo di magra, si può osservare dall'ottobre 1975 (figura 8) all'ottobre 2008 si è verificato un generale abbassamento del livello piezometrico di circa 4 metri ed uno spostamento verso sud-ovest del vertice della depressione piezometrica del Pollino.

In sintesi, l'andamento medio di lungo periodo (1975-2008) mostra un abbassamento medio della superficie piezometrica di 8 cm/anno nella porzione nord dell'area di studio, che raggiunge i 15 cm/anno nella parte sud. Se si osserva l'andamento delle piogge dal 1970 al 2008 (figura 9), non si ravvisa un trend tale da giustificare una così importante depressione generale della piezometrica se non imputabile agli emungimenti.

Le misure 2005-2007-2008 segnalano una non li-

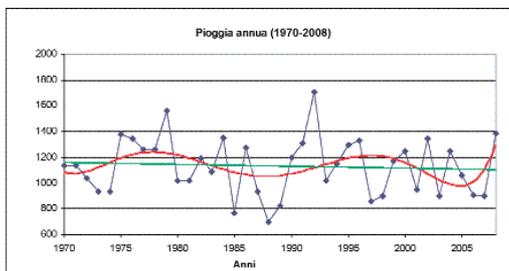


Figura 9: andamento annuo delle piogge alla stazione pluviometrica di Lucca dal 1970 al 2008, con evidenziato il trend medio (verde) e polinomiale di sesto ordine (rosso) (fonte dati: *Annali Idrologici e Centro Funzionale Regionale di Pisa*).

nearità del trend con accelerazioni (2005-2007) ed rallentamenti (2007-2008) del fenomeno.

Conclusioni

L'analisi dell'evoluzione del livello piezometrico dell'acquifero della Piana di Lucca soffre certamente della discontinuità nella distribuzione temporale dei dati. Si è potuto comunque rilevare un trend di lungo periodo di generale abbassamento e un andamento, sul breve periodo (in tempi recenti), non lineare del fenomeno.

L'analisi di dettaglio del comportamento di breve termine implicherà necessariamente l'impiego di tecniche statistiche per tener conto anche degli effetti della variazione della ricarica meteorica sull'evoluzione della superficie piezometrica; di fatto, resta l'oggettiva evidenza di un sovrasfruttamento della risorsa idrica sotterranea rispetto alla sua capacità di naturale ricarica secondo il ciclo idrologico. Ciò determina inevitabilmente lo sfruttamento

della riserva permanente, aspetto certamente azardato nella gestione della risorsa idrica.

Ogni ulteriore approfondimento rigoroso e quantitativo della problematica necessiterà di dati acquisiti con cadenza regolare, su una rete di misura consolidata per più anni idrologici. Solo un monitoraggio, regolare e sistematico, potrà consentire la piena comprensione dei fenomeni in atto e la progettazione di contromisure efficaci ed efficienti.

Bibliografia

- F. Baldacci, L. Bellini, G. Raggi, Le risorse idriche sotterranee della Pianura Pisana. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem. serie A.* 1994, 110: 241-322.
- M. Brugioni, G. Menduni, G. Montini, Lo studio del bacino dell'Arno con interferometria satellitare PSInSARTM. *Autorità di Bacino del Fiume Arno. Supplemento ARPA Rivista n° 1 gennaio-febbraio 2008.* 2008: 26-28.
- M. Dell'Aringa, Il fenomeno delle cavità di Paganico (LU): studio idrogeologico e geotecnico. *Tesi di laurea inedita, Università degli Studi di Pisa:* 2006, 187 pp.
- M. Dell'Aringa, R. Gianacchini, A. Puccinelli, D. Lo Presti, N. Squeglia, G. D'Amato Avanzi, Contributo alla comprensione del fenomeno delle cavità di Paganico (Piana di Lucca, Toscana). *3° Congresso Nazionale dell'Associazione Italiana di Geologia Applicata e Ambientale (AIGA), Riassunti:* 2009, 219-220.
- A. Micheletti, Studio della subsidenza verificatasi nel territorio della pianura del Comune di Porcari in Provincia di Lucca. *Tesi di Laurea inedita. Università degli Studi di Firenze:* 2005.
- R. Nardi, G. Nollèdi, F. Rossi, Geologia e idrogeologia della pianura di Lucca. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 1987, 10: 132-160.