

SVILUPPO DI UN'EQUAZIONE EMPIRICA PER LA STIMA DELLA PROFONDITÀ DI FALDA IPODERMICA IN EMILIA-ROMAGNA

Fausto Tomei^{1*}, Giulia Villani², Gabriele Antolini¹, Vittorio Marletto¹

¹ ARPA SIMC – Servizio Idro Meteo Clima, viale Silvani 6, 40121, Bologna

² DEIAGRA – Dipartimento di Economia e Ingegneria Agrarie, viale Fanin 50, 40127, Bologna

* ftomei@arpa.emr.it

Riassunto

La falda ipodermica è lo strato di terreno saturo nei primi metri di suolo, indotta dalla presenza di un substrato impermeabile, che può influenzare l'apparato radicale delle piante sia direttamente che per risalita capillare. La finalità di questo studio è la presentazione di un'equazione empirica per la stima dell'altezza di falda ipodermica rispetto al piano di campagna, come funzione dei soli dati giornalieri di precipitazione e temperatura. L'equazione si basa sull'assunto che la falda ipodermica sia assimilabile alla chiusura del bilancio idro-climatico su un periodo temporale abbastanza ampio. L'equazione è stata inizialmente sperimentata sulla serie storica di altezze piezometriche osservate dall'Università di Bologna nell'azienda agraria sperimentale di Cadriano (Bo) e successivamente sui dati osservati dalla rete regionale di monitoraggio della falda ipodermica dell'Emilia-Romagna. I promettenti risultati ottenuti stimolano la necessità di ricercare relazioni tra i parametri dell'equazione e le locali caratteristiche pedologiche, al fine di ottenere regole per la spazializzazione della stima.

Parole chiave: Altezza piezometrica, bilancio idro-climatico, risalita capillare, evapotraspirazione.

Introduzione

In questo studio viene presentata una equazione empirica per la stima dell'altezza di falda ipodermica rispetto al piano di campagna, come funzione dei soli dati giornalieri di precipitazione e temperatura (minima e massima), sviluppata partendo dall'impostazione di Freeze e Cheery (1979). La falda ipodermica è lo strato di terreno saturo nei primi metri di suolo, indotta tipicamente dalla presenza di un substrato impermeabile o semi-impermeabile. La sua presenza può influenzare l'apparato radicale delle piante, sia direttamente che per risalita capillare; si definisce 'ipodermica' per differenziarla da altri tipi di acquiferi, più profondi e non utilizzabili dalle colture. La disponibilità di dati di profondità di falda è di grande rilevanza nei modelli agro-ambientali, in particolare per la stima delle necessità irrigue.

Materiali e Metodi

Per lo sviluppo dell'equazione si assume che:

- la presenza di un substrato impermeabile impedisca la percolazione profonda;
- i flussi in entrata nel sistema per drenaggio laterale siano bilanciati dai flussi in uscita;
- i soli processi influenti sul bilancio idrico locale siano quindi l'infiltrazione e l'evapotraspirazione (*ETP*);
- l'infiltrazione in pianura sia assimilabile alla precipitazione (*P*);
- i processi siano quantitativamente più influenti sullo stato del sistema in prossimità del giorno di stima rispetto ai giorni precedenti;

pertanto, su un definito periodo temporale della durata di n giorni, la profondità della falda ipodermica rispetto al piano di campagna sia correlata con la somma (pesata nel tempo) del bilancio idro-climatico ($P-ETP$).

Definiamo la profondità di falda ipodermica H come:

$$H = H_0 + \alpha \sum_{i=-n}^0 p_i B_i$$

dove l'indice i varia lungo il periodo di n giorni precedenti la stima, H_0 è una profondità locale di riferimento, corrispondente ad un bilancio uguale a zero, α è il coefficiente della retta di regressione tra la profondità della falda ipodermica e la somma pesata del bilancio idro-climatico B , calcolato giornalmente come:

$$B_i = P_i - ETP_i$$

dove ETP_i viene calcolato in funzione delle temperature minime e massime giornaliere, seguendo l'approccio di Hargreaves e Samani (1982). Infine il peso p_i cresce linearmente nel tempo tra un minimo di 0 (n giorni prima dalla stima) ed un massimo di 1 (al giorno della stima):

$$p_i = 1 + \frac{i}{n}$$

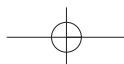
Tipicamente H è misurata dai piezometri in cm, mentre P ed ETP sono espresse in mm. Quindi è utile uniformare le unità di misura convertendo B in cm; α risulta perciò espresso in cm cm^{-1} .

L'equazione è stata inizialmente calibrata e validata (Tomei *et al.*, 2010) su una serie di 33 anni (1975-2008) di altezze piezometriche osservate nell'azienda agraria sperimentale di Cadriano (Bo), gestita dall'Università di Bologna, e successivamente testata sui dati dei piezometri della rete regionale di monitoraggio della falda ipodermica dell'Emilia-Romagna.

Nella prima analisi sono stati utilizzati come dati meteorologici le osservazioni effettuate dall'Università di Bologna nella stessa azienda sperimentale di Cadriano, mentre per il confronto con la rete regionale di monitoraggio si è utilizzato il database di analisi agro-meteorologica ERG-5, gestito da ARPA- SIMC.

Risultati

La serie storica di dati piezometrici di Cadriano è stata suddivisa in due sottoperiodi, il primo utilizzato per la calibrazione (1975-1990), il successivo per la validazione (1991-2008). La calibrazione ha evidenziato che il periodo di calcolo che mas-



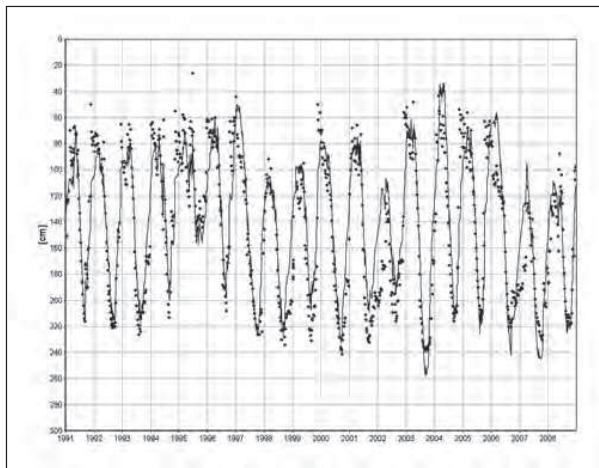


Fig. 1 - Cadriano (Bo), profondità di falda ipodermica stimata (linea continua) e osservata (punti) nel periodo di validazione 1991-2008; lo zero sull'asse sinistro equivale al piano di campagna.

simizza localmente la correlazione è pari ad un numero di giorni $n = 260$, con coefficiente della retta di regressione $\alpha = 3.17 \text{ cm cm}^{-1}$ e profondità di riferimento $H_0 = 103 \text{ cm}$.

Questi valori sono stati utilizzati nel successivo periodo di validazione (fig.1), in cui il confronto tra stima e osservazioni presenta un coefficiente di determinazione $R^2 = 0.81$, con errore quadratico medio $\text{RMSE} = 22.1 \text{ cm}$ e un indice di efficienza modellistica $\text{EF} = 0.63$, calcolato rispetto al clima dei dati osservati; i risultati sono migliori rispetto a Tomei *et al.* (2010), grazie all'inserimento nell'equazione del fattore di peso temporale p_t .

Nel confronto con i dati osservati dalla rete di monitoraggio regionale ci siamo concentrati sui piezometri che risultano ben correlati con la stima ($R^2 > 0.7$), l'obiettivo di questa seconda campagna di confronti è identificare gli intervalli di validità dei parametri locali dell'equazione per poi valutarne eventuali relazioni con le caratteristiche pedologiche, al fine di ottenere regole per la spazializzazione della stima.

Circa 50 piezometri delle rete di monitoraggio soddisfano la caratteristica richiesta e si evidenzia in particolare che il periodo ottimale di calcolo varia da un minimo di 6 mesi ($n=180$) a un massimo di due anni ($n = 730$); il coefficiente α nella quasi totalità dei casi è compreso nell'intervallo tra 2.5 e 4.5 cm cm^{-1} , con un valore mediano che si colloca a 3.3 cm cm^{-1} , mentre la profondità di riferimento H_0 varia tra il valore zero (il piano di campagna) e 150 cm.

Conclusioni

L'assunzione che la ciclicità nell'andamento della falda ipodermica sia ben correlata in pianura con il bilancio idro-climatico locale, senza particolari influssi dal sistema esterno (a meno di casi di estrema vicinanza con canali e corsi d'acqua) è suffragata dai risultati nei casi di studio in Emilia-Romagna. Risulta quindi possibile stimarne la profondità rispetto al piano di campagna a partire dai dati giornalieri di temperatura e precipitazione; l'inserimento di un fattore di peso temporale nell'equazione ha permesso inoltre di migliorare i risultati dell'equazione di stima rispetto alla sua prima versione, che ne era priva.

La campagna di confronti in atto evidenzia intervalli di validità dei parametri dell'equazione in buon accordo con il loro significato intuitivo: lo stato della falda è influenzato da un periodo di accumulo dei processi superiore ai 6 mesi, la profondità di riferimento che la falda presenta quando le piogge compensano i processi evaporativi e traspirativi è compreso tra il piano di campagna e 1.5 m (valori tipicamente osservati nel periodo invernale in Emilia-Romagna), infine il rapporto medio tra bilancio idro-climatico e profondità di falda indica che ad ogni 3 mm di variazione del bilancio idro-climatico corrisponde una variazione media di 1 cm nella profondità di falda.

È ora necessario ricercare relazioni tra i parametri dell'equazione e le caratteristiche pedologiche locali, in particolare tessitura e profondità del substrato impermeabile, al fine di ottenere regole per generalizzare ulteriormente l'equazione nonché permettere la spazializzazione della stima ed il suo inserimento nei modelli agro-ambientali.

Ringraziamenti

Si ringrazia Francesca Ventura (Università di Bologna) per i dati storici dell'azienda agraria sperimentale di Cadriano; Roberto Genovesi (Canale Emiliano-Romagnolo) e Stefano Raimondi (I.TER) per la consulenza sui dati piezometrici della rete regionale di monitoraggio.

Bibliografia

- Freeze R.A., Cherry J.A., 1979. Groundwater. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 604 pp.
- Hargreaves G.H., Samani Z.A., 1982. Estimating potential evapotranspiration. *J. Irrig. and Drain Eng.*, 108: 223-230.
- Tomei F., Antolini G., Tomozeiu R., Pavan V., Villani G. and Marletto V., 2010. Analysis of precipitation in Emilia-Romagna (Italy) and impacts of climate change scenarios. Proceedings of Statistics in hydrology (STAHY-WG) International workshop, Taormina. 23-25 May 2010.