

IL BILANCIO IDRICO TERRITORIALE COME SUPPORTO ALLE ATTIVITÀ DI PIANIFICAZIONE DEI CONSORZI DI BONIFICA

di Marina Anelli (*), Graziano Lazzaroni (*) e Luigi Mariani (*)(**)

(*) *ERSAL - Servizio Agrometeorologico della Lombardia (**)*
Presidente dell'AIAM

e mail: ersalsar@tin.it

Riassunto

Viene presentata una semplice applicazione di bilancio idrico a livello territoriale per la determinazione delle esigenze irrigue delle principali colture presenti sul territorio pianeggiante della regione Lombardia, area irrigua interessata dall'attività dei consorzi di bonifica.

I bilanci idrici sono stati redatti con l'ausilio di dati climatici, colturali e pedologici, adottando un passo temporale mensile e facendo riferimento a celle di 5x5 km.

Gli anni estremi (secco e umido) sono stati considerati applicando la tecnica dei percentili.

I dati prodotti vanno a costituire alcuni degli strati informativi del SIBITeR (Sistema Informativo Lombardo per la Bonifica, l'Irrigazione ed il Territorio Rurale) e consentono di delineare alcune interessanti prospettive per il futuro prossimo.

Abstract

A simple procedure for the production of water balances referred to wide territories is discussed in the present paper and used to determine the water requirements of the principal crops cultivated on the territory irrigated of Lombardia (Italy).

Water balances are produced by means of specific algorithms applied to climatic, cultural and soil data adopting a monthly time step and working on square elementary units of 5x5 km. Extreme years were taken in account adopting the statistical technique of percentiles.

The output data were structured as information layers of SIBIReR (Information System for reclamation, irrigation and rural territory of Lombardia) and the results show some interesting perspectives.

Introduzione

Negli ultimi decenni le tecniche di bilancio idrico si sono notevolmente affinate e ci consentono oggi di monitorare il contenuto idrico dei terreni agrari coltivati con un realismo adatto agli impieghi operativi legati alla programmazione dell'irrigazione.

Tuttavia tali tecniche sono di norma applicate soprattutto a livello di singolo campo, mentre scarso risulta ancor oggi il numero di applicazioni a livello territoriale, vale a dire a quella scala che in termini climatologici è detta scala locale. Principali limiti rispetto ad un tale approccio sono la difficoltà a reperire dati per gli strati informativi necessari (campi di parametri meteorologici, informazioni sulle colture, dati sulle caratteristiche idrologiche dei suoli) nonché un limite tecnologico imposto dalle tecniche di spazializzazione.

Oggi però tali limiti appaiono superabili grazie all'accresciuta disponibilità di basi di dati agroclimatiche e pedologiche ed all'avanzamento nelle tecniche per il trattamento geostatistico dei parametri fisici e biologici.

In ragione di quanto sopra presso l'ERSAL abbiamo sviluppato una metodologia per la redazione di bilanci idrici territoriali arrivando a fornire indicazioni di sintesi sui consumi idrici delle principali colture in Lombardia.

L'organizzazione della base di dati

Il primo passo compiuto è stato quello di procedere alla verifica delle serie storiche di dati meteorologici mensili disponibili presso l'ERSAL ed al loro aggiornamento, nonché all'informatizzazione per intero di nuove serie storiche. L'aggiornamento e l'informatizzazione dei dati mensili di temperatura e precipitazione è stato eseguito fino all'anno 1986,

ovvero alla data ultima di pubblicazione degli annali idrologici dell'Ufficio Idrografico del Po, dai quali sono state tratte quasi tutte le stazioni.

Le stazioni pluviometriche sono state scelte in modo da realizzare una distribuzione il più possibile omogenea sul territorio, il che costituisce la base per una fedele spazializzazione dei dati agroclimatici con metodi geostatistici (Matheron, 1973). Ciò in virtù della necessità di ricavare campi spaziali rispettosi delle caratteristiche del fenomeno descritto e dunque adeguati alla scala prescelta per l'indagine climatica e quanto più vicini alla realtà del fenomeno. Sono state scelte così anche stazioni esterne ai confini regionali, stazioni di montagna e di fondovalle, stazioni di bassa e di alta pianura. L'altro parametro utilizzato per la scelta delle stazioni di riferimento, oltre alla localizzazione del sito, è stata la lunghezza e la completezza delle serie storiche. Per quanto riguarda le stazioni pluviometriche si è deciso di non prendere in considerazione quelle con meno di 20 anni di osservazioni, mentre per le stazioni termometriche, considerata la maggiore uniformità del parametro e la limitatezza del numero di stazioni a disposizione, si è deciso di considerare anche serie storiche inferiori a 20 anni, ma comunque mai inferiori a 13 anni. Nella stragrande maggioranza dei casi però la lunghezza delle serie storiche è pari a 37 anni (periodo 1950-86) per i dati pluviometrici ed a 36 anni (periodo 1951-86) per quelli termometrici.

Nel complesso sono state informatizzate 79 serie storiche pluviometriche e 27 termometriche, archiviandole nel formato Microsoft Excel.

Si noti come il numero di stazioni termometriche sia pari a circa il 40% delle pluviometriche. Tale fatto non deve destare preoccupazione in quanto la temperatura, specialmente nelle aree pianeggianti, presenta una variabilità spaziale ridotta e pertanto le serie storiche disponibili, seppure in un numero più limitato, consentono di descrivere il campo termico in modo sufficientemente dettagliato per i fini del presente lavoro.

L'analisi statistica.

L'anno normale è desumibile dall'elaborazione di una serie storica sufficientemente lunga (intorno ai 30 anni) in modo da ottenere indici statistici in grado di descrivere adeguatamente il parametro in esame.

In particolare nel presente lavoro l'anno normale viene definito per la temperatura e l'evapotraspirazione attraverso il valore medio (media aritmetica annuale e dei singoli mesi) mentre per le precipitazioni l'anno normale viene individuato attraverso la mediana (valore del 50° percentile - Q50). Si noti che la mediana viene utilizzata in luogo della media aritmetica quando ci si trova di fronte a distribuzioni statistiche che si discostano significativamente da quella gaussiana. Nel caso delle precipitazioni medie annuali o mensili relative ad oltre un trentennio, ci troviamo di fronte a distribuzioni ben approssimabili ad una gaussiana, per cui le differenze fra mediana e media sono di norma alquanto ridotte. Pertanto la scelta di utilizzare la mediana in luogo della media obbedisce più che altro a ragioni di coerenza, considerato che nel descrivere le precipitazioni degli anni secco e piovoso si è fatto ricorso ai percentili (10° e 90°) frutto dello stesso metodo statistico utilizzato per ottenere la mediana (50° percentile).

Per descrivere la climatologia di un territorio non è sufficiente evidenziare i valori normali ma occorre porre in luce quelli estremi in modo da rendere conto della variabilità del clima (Mancini, 1997). Pertanto si è deciso di individuare tre diversi scenari corrispondenti rispettivamente all'anno normale, a quello secco ed a quello piovoso.

Per ottenere ciò si è fatto ricorso alla semplice ma efficace **tecnica dei percentili** ed in particolare si sono predisposte carte del decimo (Q10) e novantesimo (Q90) percentile (Houghton,1985)(Essenwanger,1986). Si rammenta che nel caso del decimo percentile valori minori di quelli riportati nelle carte si verificano con una probabilità del 10% (cioè 1 anno su 10) così come nel caso del novantesimo percentile valori maggiori di

quelli riportati nelle carte si verificano sempre con una probabilità del 10% (cioè ancora 1 anno su 10).

L'analisi geostatistica

L'analisi geostatistica è stata eseguita partendo da un modello del terreno costituito da celle di 5 x 5 Km appositamente realizzato per scopi agroclimatici. Ad ogni cella sono stati assegnati i seguenti parametri: latitudine e longitudine (coordinate UTM), quota media in metri ed esposizione prevalente.

In particolare il parametro precipitazione è stato spazializzato con l'algoritmo di Kriging del software commerciale SURFER per Windows della Golden Software. Al parametro temperatura è stato applicato invece l'algoritmo GRID7 in grado di descrivere la variabilità termica dovuta alla quota ed all'esposizione (Belloni e Pelfini,1987)(Mariani,1992). L'algoritmo di contouring utilizzato per tutti i campi generati è quello implementato in SURFER.

Precipitazioni

Le precipitazioni annue frutto delle elaborazioni dei totali pluviometrici annui sono state ottenute dalla sommatoria dei mesi che compongono ciascun anno.

Sulla popolazione formata dai totali di ciascun anno sono stati poi calcolati il Q10, Q50 ed il Q90.

Le precipitazioni semestrali frutto delle elaborazioni sui totali pluviometrici semestrali sono state ottenute dalla sommatoria dei mesi che compongono ciascun semestre, intendendo per *semestre invernale* quello costituito dai mesi di ottobre, novembre, dicembre, gennaio, febbraio e marzo e per *semestre estivo* quello costituito dai mesi di aprile, maggio, giugno, luglio, agosto e settembre.

Sulla popolazione formata dai totali di ciascun semestre si sono calcolati poi il Q10, il Q50 ed il Q90.

Va osservato che le sommatorie dei singoli valori mensili del Q10, Q50 e Q90 non producono il Q10, Q50 ed il Q90 annuo (o

semestrale) e pertanto non possono essere cumulati per ottenere i totali semestrali o annui. Infatti poiché fra i diversi mesi si verifica sempre una compensazione, il totalizzato annuale o semestrale dei singoli mesi (sommatoria del Q10 di gennaio, del Q10 di febbraio ecc.) rappresenta un caso molto più estremo, che si verifica con tempi di ritorno estremamente lunghi, dell'ordine delle centinaia di anni. Ad esempio, dall'analisi dalla serie storica di Milano Brera dal 1763 ad oggi, risulta che un valore di precipitazione totale pari alla sommatoria dei Q10 dei singoli mesi non si è mai verificato.

Per il semestre vegetativo la differenza in % tra la mediana calcolata sulla sommatoria delle mediane mensili e la mediana dell'intero semestre è rappresentata in figura 1.

In funzione di ciò, la ricostruzione dei valori mensili di precipitazione per l'anno secco e per l'anno piovoso (Q10 e Q90) del semestre, è stata operata calcolando i rapporti Q10/Q50 e Q90/Q50. Tali rapporti sono stati applicati ai Q50 dei singoli mesi in modo da ottenere i **Qp** (Q piovoso) ed il **Qs** (Q secco) relativi. L'operazione è stata ovviamente eseguita per ogni nodo della griglia.

Temperature, evapotraspirazione potenziale e deficit idrico

Nelle elaborazioni annuali e semestrali delle temperature si è ritenuto sufficiente limitarsi unicamente alle medie, senza considerare le annate Q10 e Q90, in quanto la variabilità interannuale del parametro temperatura media mensile risulta nel complesso contenuta. Tale considerazione è stata inoltre estesa ai parametri calcolati in funzione della sola temperatura ed in particolare all'evapotraspirazione potenziale (ETP).

La **temperature media annua** è stata ottenuta come media delle medie mensili mentre le **temperature semestrali** sono state ottenute come media delle medie mensili relative ai due semestri invernale ed estivo.

L'**evapotraspirazione potenziale (ETP) media annua** è stata calcolata applicando alla temperatura media mensile l'equazione di Blaney Criddle nella formulazione riportata dal Quaderno

FAO n. 33 (FAO,1979). Sono state così ottenute 12 matrici di ETP mensile la cui somma ha fornito l'**ETP annua**. L'**evapotraspirazione potenziale media semestrale** è stata calcolata sommando le 6 matrici di ETP mensili, per i sei mesi invernali e per i sei mesi estivi.

Il **deficit idrico** è un parametro agroclimatico frutto della semplice differenza fra gli apporti precipitativi e le perdite evapotraspirative e fornisce un'idea grossolana ma immediata delle necessità irrigue di un territorio. Il **deficit idrico annuale** e **semestrale** è stato così calcolato come differenza tra gli apporti precipitativi dell'anno secco, dell'anno medio e di quello piovoso (Q10, Q50 e Q90) e l'ETP.

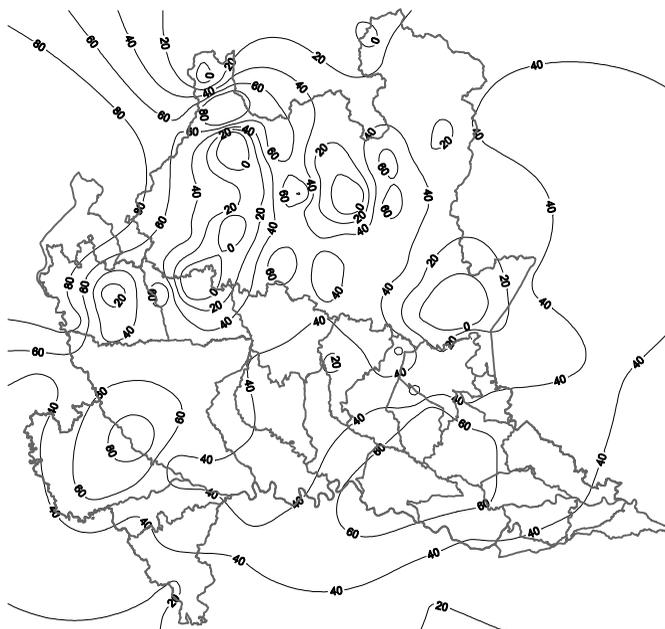


Figura 1 – differenza in % tra il Q50 delle precipitazioni del semestre vegetativo e la sommatoria dei Q50 mensili.

Il bilancio idrico colturale

Le colture per le quali è stato calcolato il bilancio idrico sono state prescelte sulla base della superficie investita nei consorzi di bonifica. Le colture così individuate sono state: mais, soia, bietola, girasole, pomodoro e, per quanto riguarda le foraggere, erba medica e loiessa. Sull'intero territorio di pianura interessato dai consorzi di bonifica è stato poi calcolato il bilancio idrico territoriale di tali colture.

Il Bilancio idrico colturale per ogni singolo mese è stato calcolato applicando la metodologia qui di seguito riportata.

La **profondità dello strato interessato da apporti irrigui** è stata fissata in 60 cm per tutte le colture ad eccezione del prato polifita per il quale si è considerata una profondità di 40 cm; ciò perché al prato vengono di norma destinati i terreni più superficiali.

La capacità del terreno di trattenere acqua è stata espressa come differenza fra capacità di campo e punto di appassimento e viene qui di seguito indicata con il termine standard di **Available Water Capacity** (AWC). I dati di AWC utilizzati sono il risultato di una conversione dei *dati poligonali* desunti dalle carte pedologiche (Servizio Suolo dell'ERSAL) in *dati raster* su un grigliato di 5 x 5 km, assegnando il valore di AWC dell'unità cartografica prevalente all'intera cella.

La conversione sopra ricordata e la diversità di scala rendono i dati di AWC solo indicativi della reale distribuzione territoriale del parametro. L'AWC è infatti un parametro caratterizzato da elevatissima variabilità spaziale, arrivando spesso a presentare valori assai diversi anche nell'ambito del singolo campo.

La **profondità radicale** è stata stimata attribuendo alle varie colture una profondità massima di 60 cm e considerando che nel periodo estivo la ricarica idrica degli strati superficiali dovuta a piogge o a irrigazioni ben difficilmente supera tali 60 cm di profondità. Nelle fasi intermedie sono stati attribuiti valori mensili di profondità radicale, secondo un metodo semplificato (Mariani,1994).

I **coefficienti culturali** (k_c) che consentono la conversione dell'ETP in **Evapotraspirazione reale** (ETR) calcolati sperimentalmente attraverso i lisimetri da vari ricercatori sono ampiamente disponibili in bibliografia. Nel presente lavoro, la scelta dei k_c è stata fatta per **mais, soia, bietola, girasole e pomodoro** sono stati poi attribuiti per i singoli mesi sulla base delle date medie di comparsa delle diverse fenofasi ricavate dalla serie storica delle osservazioni fenologiche 1989-1996 della rete di rilevamento del Servizio, che in tale occasione ha mostrato appieno la propria utilità.

In tabella 1 si riportano le caratteristiche attribuite ad ogni coltura.

Tabella 1 - k_c e profondità radicali mensili per le diverse colture

MAIS	<i>Mese</i>	<i>aprile</i>	<i>Maggio</i>	<i>giugno</i>	<i>luglio</i>	<i>agosto</i>	<i>settembre</i>
	<i>Kc</i>	0.4	0.6	0.97	1.13	0.9	0.7
	<i>Prof. radicale</i>	25	32.5	60	60	60	60
SOIA	<i>Mese</i>	<i>aprile</i>	<i>maggio</i>	<i>giugno</i>	<i>luglio</i>	<i>agosto</i>	<i>settembre</i>
	<i>Kc</i>	-	0.43	0.77	1.12	0.98	0.5
	<i>Prof. radicale</i>	-	25	45	60	60	60
BIETOLA	<i>Mese</i>	<i>marzo</i>	<i>aprile</i>	<i>maggio</i>	<i>giugno</i>	<i>luglio</i>	<i>agosto</i>
	<i>Kc</i>	-	0.56	0.9	1.13	1.0	0.9
	<i>Prof. radicale</i>	-	38	60	60	60	60
GIRASOLE	<i>Mese</i>	<i>aprile</i>	<i>maggio</i>	<i>giugno</i>	<i>luglio</i>	<i>agosto</i>	<i>settembre</i>
	<i>Kc</i>	0.5	0.77	1.1	0.86	0.4	-
	<i>Prof. radicale</i>	25	45	60	60	60	-

	<i>Mese</i>	<i>aprile</i>	<i>maggi o</i>	<i>giugn o</i>	<i>luglio</i>	<i>agost o</i>	<i>settem bre</i>
POMODORO	<i>Kc</i>	-	0.8	1.1	1.16	0.88	-
	<i>Prof. radicale</i>	-	25	60	60	60	-

Per **medica e prati polifiti**, considerato che l'unità di tempo del modello è il mese, si è optato per la scelta di un kc medio mensile che rappresenta la media tra i kc massimi precedenti lo sfalcio e i kc più bassi relativi ai giorni successivi allo sfalcio stesso, secondo quanto indicato nel Quaderno FAO n.33. Nel caso del prato polifita il kc considerato è la media tra quello di un prato di trifoglio e quello di un prato di graminacee foraggere. Si è inoltre deciso di attribuire alle colture prative una profondità radicale *costante* considerando colture in anni successivi a quello di impianto.

Tabella 2 - kc e profondità radicali attribuiti alle colture foraggere.

ERBA	<i>Mese</i>	<i>aprile</i>	<i>maggi o</i>	<i>giugn o</i>	<i>luglio</i>	<i>agost o</i>	<i>settem bre</i>
MEDICA	<i>Kc</i>	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	<i>Prof. radicale</i>	60	60	60	60	60	60
PRATO	<i>Mese</i>	<i>aprile</i>	<i>maggi o</i>	<i>giugn o</i>	<i>luglio</i>	<i>agost o</i>	<i>settem bre</i>
	<i>Kc</i>	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	<i>Prof. radicale</i>	40	40	40	40	40	40

In tabella 2 si riportano le caratteristiche attribuite ad ogni coltura foraggiera.

Per il calcolo delle **piogge utili** si è fatto riferimento ai dati pluviometrici mensili del Q50 e ai dati mensili ricostruiti del Qs e Qp.

La pioggia utile è stata poi ottenuta detraendo ai valori mensili mediani ed estremi (Qp e Qs) le seguenti quote:

- una quota di ruscellamento fissata al 5% della pioggia totale;
- una quota di infiltrazione calcolata secondo un semplice algoritmo di bilancio idrico giornaliero (Mariani,1997, comunicazione personale) applicato alle serie storiche giornaliere di Bergamo, Ghedi e Linate per il trentennio 1951-80. Le quote mensili adottate sono riportate nella tabella 3.
- una quota fissa di 2 mm, che rappresenta l'acqua di precipitazione che evapora dalla superficie fogliare della coltura prima di giungere sul terreno.

Tabella 3 - Coefficienti di infiltrazione.

	<i>aprile</i>	<i>maggi o</i>	<i>giugn o</i>	<i>luglio</i>	<i>agost o</i>	<i>settemb re</i>
<i>Coeff. infiltrazione</i>	<i>0.14</i>	<i>0.04</i>	<i>0.02</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.04</i>

L'**ETR** è stata ottenuta moltiplicando l'ETP media mensile per il **Kc** relativo alla coltura ed allo stadio fenologico raggiunto dalla stessa nel mese considerato. In tal caso sia per lo scenario medio che per quelli estremi, si sono adottati valori medi secondo quanto già indicato al par. 2.5. Tale scelta operativa deriva dalla necessità di contenere il numero di carte (frutto di tutte le possibili combinazioni tra piogge medie ed estreme e ETR medie ed estreme), ed è giustificato dalla scarsa variabilità interannuale dell'evapotraspirazione nella pianura lombarda.

Per il calcolo della **riserva totale** (allorché assume valori negativi si configura come un deficit) cumulata alla fine di ogni mese si è proceduto applicando la seguente equazione:

$$RT = (H_2O \text{ disp} + PU - ETR) + CSNE$$

dove:

RT	=	riserva totale alla fine di ogni mese
CSNE	=	contenuto dello strato non ancora esplorato dalle radici, ottenuto moltiplicando l'AWC per lo spessore dello strato che rimane da esplorare da parte dell'apparato radicale;
H ₂ O_disp	=	acqua disponibile all'inizio del mese. Si ottiene moltiplicando l'AWC per la profondità radicale. Nei mesi successivi al primo, a questa quota si aggiunge il CSNE che si rende disponibile di mese in mese, man mano che le radici si approfondiscono nel suolo;
PU	=	piogge utili del mese
ETR	=	evapotraspirazione reale media mensile.

Nel calcolo dell'equazione di bilancio sono state adottate alcune regole dettate dalla necessità di giungere a risultati che presentino validità generale:

- a tutte le colture, eccezion fatta per il prato polifita (che in genere sfrutta i terreni più superficiali) è stata attribuita una quota idrica supplementare, equivalente al contenuto idrico del suolo tra 60 e 120 cm nel periodo successivo al raggiungimento della profondità radicale di 60 cm. Con ciò si è tenuto conto del fatto che le piante raggiungono comunque con le radici più profonde i 120 cm e attingono alla riserva profonda. Nel corso della stagione però, tale riserva non viene più ripristinata in quanto il rimpinguamento mediante irrigazione viene considerato limitato ai primi 60 cm;
- si considera nullo l'apporto di falda, in quanto si tratta di un parametro con elevatissima variabilità spaziale (differenze rilevanti sono riscontrabili anche tra campo e campo) ed altrettanto grande variabilità temporale, il che ne rende praticamente impossibile il monitoraggio a livello territoriale;
- non vengono presi in considerazione i fattori di stress come ad esempio le situazioni di vento, forte che, come noto, producono un abbattimento della quota di riserva utilizzabile dalla coltura e che comunque nella pianura lombarda hanno

scarso rilievo (per inciso i casi di vento forte sono per lo più associati alle situazioni di foehn che nel semestre vegetativo hanno una incidenza media valutabile in 8-12 giorni).

Il bilancio è stato calcolato per tre diversi scenari, considerando il semestre normale (piogge Q50), il semestre piovoso (piogge Qp) e il semestre secco (piogge Qs).

Il numero di irrigazioni

Il **deficit totale cumulato** dell'intera stagione (ovvero il valore negativo della riserva) si intende riferito all'ultimo mese del ciclo vegetativo di ogni coltura. Da questo, per calcolare il numero di irrigazioni si è detratta una quota che non viene ripristinata con interventi irrigui nella fase finale della coltivazione. In particolare non si considera ripristinato il deficit del mese di settembre e dell'ultima decade di agosto (30% del deficit di agosto) per mais, soia, bietola, girasole e pomodoro. Per le colture foraggere (erba medica e loiessa) si è invece deciso di non ripristinare il solo deficit del mese di settembre.

Per mais, soia, bietola, girasole, erba medica, loiessa, con irrigazione a scorrimento, si è considerato un **volume medio di adacquamento** pari a 500 m³/ha (50 mm), mentre per il pomodoro con irrigazione ad aspersione tale valore è stato fissato pari a 300 m³/ha (30 mm).

Infine il **numero di irrigazioni** nell'anno medio e nell'anno secco è stato ottenuto dal rapporto fra il deficit, al netto della quota non ripristinata, ed il volume medio di adacquamento per ogni coltura relativo al sistema di irrigazione adottato.

Risultati

Le informazioni sul livello della **Riserva Totale** (RT) sono state utilizzate, secondo le metodologie spiegate in precedenza, per calcolare il numero di irrigazioni necessarie per mantenere la coltura in condizioni di rifornimento idrico ottimale.

Con riferimento al **mais**, la coltura irrigua di gran lunga più diffusa in Lombardia, la RT del terreno assume un andamento

molto disforme rispetto all'andamento dei parametri visti in precedenza, in quanto nella sua definizione si considerano anche i diversi valori di AWC dei suoli. Nell'anno normale, la RT presenta valori negativi (deficit) per gran parte del territorio interessato dai consorzi, ad esclusione di una piccola fascia nell'area nordoccidentale. Nell'anno secco, salvo piccole isole a nordovest dove la RT assume valori prossimi allo 0, il deficit è esteso a tutta la pianura con valori massimi di -270 mm nel mantovano. Nell'anno piovoso invece, la RT risulta essere positiva su tutta l'area interessata salvo piccole aree nell'estrema pianura sud orientale ove assume valori di poco negativi.

L'andamento spaziale del **numero medio annuo di irrigazioni** per il mais riferito all'area lombarda interessata dai consorzi di bonifica è riportato nelle figure 2 e 3 relative all'anno normale ed a quello secco. Nelle figure si osserva che il numero medio di irrigazioni nell'anno normale risulta compreso tra 0 e 5 interventi, con massimi nella bassa pianura. La isolina di 0 interventi irrigui abbraccia l'area della Brianza e giustifica la possibilità per tale area di coltivare il mais senza ricorrere all'irrigazione.

Nell'anno secco invece il numero di irrigazioni per il mais risulta compreso tra 1 e 7 interventi, con valori massimi riscontrati nella bassa pianura.

Nell'anno piovoso infine la coltura non necessita di alcun intervento irriguo. Infatti l'estremo lembo sudorientale della pianura mantovana, per il quale come detto la Riserva Totale assume a fine stagione valori lievemente negativi, beneficia in genere di significativi apporti di falda.

In tabella 3 si riporta il numero medio di irrigazioni ottenuto per le colture considerate in questo studio.

Tabella 3 - Numero di interventi irrigui nell'anno normale, nell'anno "secco" ed in quello "piovoso" sul territorio interessato dai consorzi di bonifica.

<i>Coltura</i>	<i>mm per</i>	<i>numero</i>	<i>numero</i>	<i>numero</i>
----------------	---------------	---------------	---------------	---------------

	<i>intervento irriguo</i>	<i>irrigazioni nell'anno medio</i>	<i>irrigazioni nell'anno secco</i>	<i>irrigazioni nell'anno piovoso</i>
<i>mais</i>	50	0-5	1-7	0
<i>soia</i>	50	0-4	1-5	0
<i>bietola</i>	50	0-4	1-7	0
<i>girasole</i>	50	0-4	1-5	0
<i>pomodoro</i>	30	0-6	3-12	0
<i>medica</i>	50	0-4	0-6	0
<i>prato polifita</i>	50	0-6	3-10	0

Il numero elevato di interventi irrigui previsti per il pomodoro è da ascrivere tanto agli elevati valori di coefficiente culturale che ai ridotti volumi di adacquamento fissati per tale coltura, che in genere viene irrigata per aspersione.

Conclusioni

I risultati ottenuti consentono una prima stima dei fabbisogni delle colture lombarde durante l'intera stagione irrigua.

La metodologia proposta ha nella semplicità dell'approccio uno dei suoi maggiori meriti, in quanto è proprio l'impiego di algoritmi relativamente semplici che ci consente di estendere la stima del fabbisogno irriguo all'intero territorio regionale interessato dai consorzi di bonifica.

Un elemento interessante della metodologia è inoltre rappresentato dall'idea di adottare tre diversi scenari corrispondenti rispettivamente all'anno normale, all'anno "secco" ed all'anno "piovoso".

Come è possibile osservare il passo per arrivare ad una stima dei consumi idrici annui sulla base della distribuzione reale delle colture è davvero breve, e limitato unicamente dalla disponibilità di un inventario aggiornato in tempo reale delle colture presenti

sul territorio, inventario ottenibile ad esempio con l'ausilio di tecniche di remote sensing.

E qui si evidenzia una nuova possibile applicazione del modello qui proposto, vale a dire la realizzazione di stime di fabbisogno irriguo in tempo reale. Una tale applicazione, attualmente ipotizzabile con step temporali settimanali, si baserebbe sulla disponibilità di dati di precipitazione ed evapotraspirazione delle stazioni che compongono la rete agrometeorologica nonché di dati fenologici derivati dalla rete agrofenologica lombarda.

Riferimenti bibliografici

- Baldoni R., Giardini L., 1989. *Coltivazioni erbacee*. Patron Editore, Bologna.
- Bonciarelli F., 1981. *Agronomia*, Edagricole, Bologna.
- Dooreboos J., Pruitt W.O., 1979, *Guidelines for predicting crop water requirements*, Irrigation and Drainage paper 33, FAO, Roma.
- Essenwanger O.M., 1986. *General climatology - Elements of statistic analysis*, Landsberg Editor in chief, Amsterdam.
- Houghton D., 1985. *Handbook of applied meteorology*, John Wiley e sons, New York.
- Mancini F., 1997. *La preservazione della fertilità per lo sviluppo sostenibile*, AgroAmbiente 3/4, 34-38.
- Mariani L., 1989. *Grid5 - un modello per la stima su base orografica dei campi di temperatura al suolo in Lombardia*, Atti del Convegno Agrometeorologia Agricoltura Ambiente, SIA Firenze
- Mariani L., 1992. *Dispensa di Agrometeorologia*, CLESAV, Milano
- Mariani L. 1995. *Albis 1 - procedura semplificata per il calcolo del bilancio idrico giornaliero di colture di pieno campo*, ERSAL Milano
- Matheron G., 1973, *The intrinsic random functions and their application*” *Advances in Applied Probability*, 5, 439-468
- Penning de Vries F.W.T., Van Laar H.H., 1982. *Simulation of plant growth and crop production*, PUDOC, Wageningen, NL.