MONITORAGGIO E CALCOLO DEL FABBISOGNO IDRICO DI SINGOLE COLTURE AGRARIE

Federico CAROLLO (*), Simone RINALDO (**),
Vittorio MARLETTO e Tomaso TONELLI (***),
Gabriele BONAITI (****)

(*) Consulente Inform S.r.l., Via dei Fanti, 53 - 36040 Torri di Quartesolo (Vi)
Tel. 347/9183926, Fax 0444/580576, e-mail: federico@swfstudio.it
(**) Inform S.r.l., Settore Cartografia Digitale, Via Savelli, 56 - 35129 Padova
Tel. 049/8064339, Fax 049/8064445, e-mail: rinaldos@informsrl.it
(***) ARPA Emilia-Romagna, SIM Servizio IdroMeteorologico, Viale Silvani, 6 - 40122 Bologna
Tel. 051/6497564, Fax 051/6497501, e-mail: vmarletto@arpa.emr.it
(****) Consorzio di Bonifica Riviera Berica, Via Circonvallazione, 2 - 36040 Sossano (Vi)
Tel. 0444/885217, Fax 0444/888496, e-mail: gbonaiti@rivieraberica.veneto.it

Riassunto

Veneto Agricoltura, Unione Veneta Bonifiche (U.V.B.), il Consorzio di Bonifica Riviera Berica e l'Autorità di Bacino Nazionale del Fiume Adige hanno promosso un progetto di monitoraggio ambientale finalizzo ad corretta gestione della risorsa idrica. L'applicazione è basata su un modello matematico, denominato *CRITERIA Veneto,* realizzato in collaborazione con il Servizio IdroMeteorologico dell'ARPA-Emilia-Romagna. L'applicativo consente di determinare il bilancio idrico del suolo in funzione dei dati meteo, del tipo di suolo e della coltura in atto. Rispetto a quest'ultimo aspetto, è stata realizzata una carta di copertura del suolo tramite classificazione di immagini satellitari. La metodologia adottata ha consentito di identificare i principali seminativi in rotazione con un livello di accuratezza tematica superiore al 95%.

Abstract

Veneto Agricoltura, Veneta Union Reclamations (U.V.B.), the reclamation consortia of Riviera Berica and the Authority of National River basin of the Adige River have promoted a project for the implementation of a environmental monitoring instrument for a correct management of water resource. The application is based on a mathematical model, named CRITERIA Veneto, realized in collaboration with Hydrometeorological service of ARPA-Emilia-Romagna. The software allows the determination of water balance of the soil in relation to meteorological data, soil type and annual crop. Regarding this last topic, a land cover map was realized on remote sensed images classification. The implemented methodology allowed the identification of the main annual crops with a thematic accurance of 95%.

Introduzione

A seguito delle frequenti emergenze idriche che si sono verificate negli ultimi anni e al conseguente incremento della richiesta d'acqua a fini irrigui, il Consorzio di Bonifica Riviera Berica, con il contributo dell'Autorità di Bacino Nazionale del Fiume Adige, Veneto Agricoltura e con la supervisione scientifica di Unione Veneta Bonifiche, ha commissionato uno studio per la realizzazione di uno strumento operativo su base G.I.S., a supporto dell'attività di pianificazione e di gestione della risorsa idrica. La metodologia di lavoro è articolata in tre distinte fasi operative che prevedono l'acquisizione dei dati meteorologici e pedologici, la realizzazione della carta di copertura del suolo e la modellazione idrologica.

Scopo del progetto

Il progetto si pone l'obiettivo di implementare un valido strumento di monitoraggio ambientale a "supporto delle decisioni", per una corretta politica di gestione della risorsa idrica, in un ambito territoriale a spiccata vocazione agricola. Più specificamente si tratta di definire il reale fabbisogno idrico ed irriguo delle singole colture agrarie, al fine di quantificare i reali volumi d'acqua da derivare dal canale LEB (Lessino, Euganeo, Berico), abduttore del fiume Adige, per soddisfare le esigenze irrigue di ogni singolo appezzamento agricolo.

L'area di studio

L'area di studio è sita a cavallo delle province di Vicenza e Padova e lambisce parzialmente la provincia di Verona. Quest'ambito territoriale è stato scelto in relazione alle zone attualmente irrigate dal canale LEB e ricadenti all'interno del Consorzio di Bonifica stesso (o idrologicamente afferenti al medesimo). Complessivamente la superficie è di circa 21.728,00 ha (ettari).

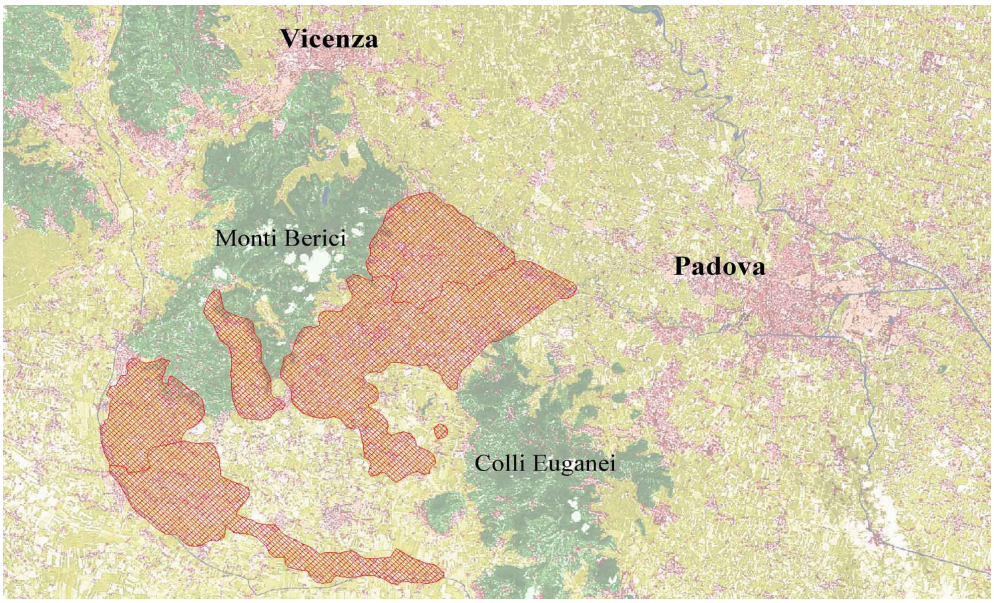


Figura 1: rappresentazione dell'area di studio (poligoni retinati in rosso);
nel riquadro in alto a destra è riportata la collocazione dell'area in riferimento al territorio della Regione Veneto.

Principali caratteristiche del modello "CRITERIA Veneto"

CRITERIA Veneto è un applicativo specifico derivato da un precedente modello (Marletto et al., 1993; Marletto e Zinoni, 1996) realizzato in *Visual Basic* ed in C++, con interfaccia GIS, che permette di simulare il bilancio idrico secondo lo schema presentato in Fig. 2.

Alcune delle quantità coinvolte nel bilancio, come la pioggia e l'irrigazione, sono facilmente misurabili, altre invece, vengono normalmente stimate mediante algoritmi più o meno complessi, a partire dai dati meteorologici, dalle caratteristiche del terreno e dalle caratteristiche specifiche delle colture agrarie.

L'utilizzo di modelli di simulazione che descrivono il movimento dell'acqua nel terreno in modo deterministico, richiede la conoscenza e la descrizione di parametri idrologici e relazioni fisiche caratteristiche del terreno. In particolare sono due le relazioni funzionali importanti nella dinamica dell'acqua nella zona non-satura del terreno: la relazione tra il *potenziale idraulico e il contenuto idrico*

e quella tra *il potenziale e la conducibilità idraulica*. In *CRITERIA Veneto* è oggetto di modellizzazione solo la prima relazione.

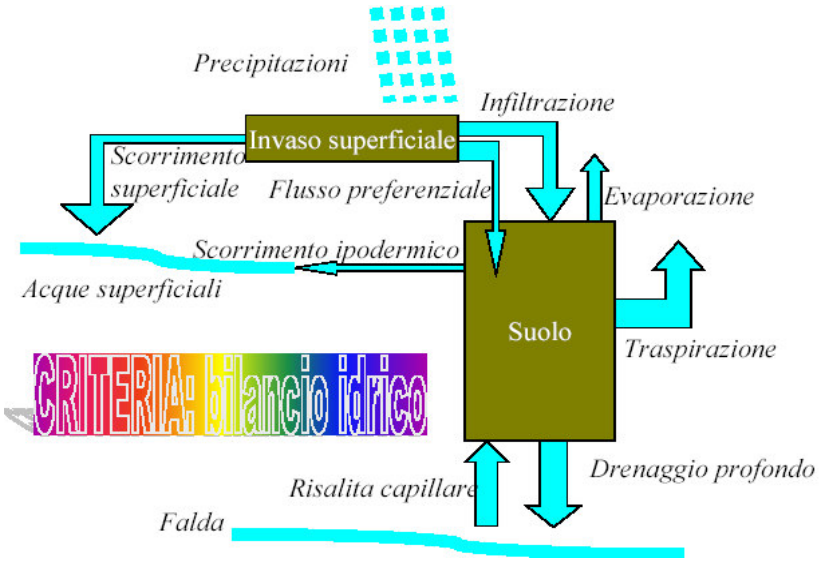


Figura 2: schematizzazione del bilancio idrico in CRITERIA.

Negli ultimi 15 anni nel mondo scientifico è stato fatto un notevole sforzo per cercare di correlare i parametri idrologici principali con caratteristiche del terreno che fossero facilmente ottenibili e di ampia acquisizione. Una delle caratteristiche che meglio risponde a questa esigenza è la granulometria, cioè la distribuzione per classi dimensionali della particelle che costituiscono la parte minerale del suolo. Le analisi granulometriche sono infatti un dato generalmente facilmente ottenibile in campo o già presente in archivi informatizzati, presentando anche il vantaggio che si può considerare un dato stabile nel tempo anche se presenta una certa variabilità spaziale. Basandosi sul presupposto che la capillarità del suolo è in funzione della dimensione e della distribuzione delle particelle del terreno sono state costruite ed implementate in *CRITERIA Veneto* una serie di pedofunzioni di trasferimento (*pedotransfer*). Esse sono equazioni che correlano i valori granulometrici con contenuti idrici a determinati livelli di potenziale o restituiscono direttamente valori dei parametri delle equazioni di interpolazione della curva tensiometrica. Gran parte delle pedofunzioni richiedono anche la conoscenza della massa volumica apparente e del tenore di sostanza organica.
Oltre a tali funzioni, *CRITERIA Veneto* associa predeterminati parametri agronomici ed una relativa "storia colturale", per ogni singola coltivazione presente sull'area di studio (poligoni di calcolo modellistico): tali equazioni, premetteranno di integrare al meglio le informazioni fisiche precedentemente descritte con quelle prettamente agronomiche (che includono le lavorazioni fisiche del terreno, variabili e caratteristiche da specie a specie, oltre che le diverse risposte in termini di fabbisogno idrico).
La scala di applicazione del modello varia dall'intero bacino idrografico (o limite amministrativo), alla specifica azienda agricola, sino al singolo appezzamento di terreno: tale funzione, totalmente a discrezione dell'utente, è strettamente collegata alla scala dei dati di *input* e agli obiettivi del progetto.
Al fine di raggiungere elevati livelli di accuratezza in riferimento ad aree di simulazione molto piccole (area minima cartografabile pari a 0,25 ha), in *CRITERIA Veneto* è stato implementato da ARPA Emilia Romagna - SIM Servizio IdroMeteorologico, un nuovo modulo che permette di utilizzare dati di calcolo vettoriali (poligoni di calcolo modellistico), derivanti dalla carta di copertura del suolo (classificazione seminativi in rotazione). Il bilancio idrico viene così calcolato dal modello a scadenza giornaliera e la somma dei vari termini dovrà sempre produrre un risultato nullo. Ciascuno dei termini

del bilancio può risultare interessante in relazione al contesto operativo. Per esempio, l'acqua residua lungo il profilo del suolo costituisce il risultato più importante quando è necessario determinare il momento in cui intervenire con l'irrigazione, mentre il drenaggio, che determina la ricarica delle falde, risulta essenziale in applicazioni agroambientali. Nel caso specifico di studio, i parametri più importanti simulati (che hanno permesso di arrivare a definire i fabbisogni e conseguentemente ai volumi di acqua da derivare) sono stati i *deficit colturali* e le *irrigazioni*. Tutte le informazioni geografiche (sia di *input* che di *output*) possono essere importate e restituite dal modello in modo georeferenziato, secondo il sistema di coordinate U.T.M. – W.G.S. 84.

Dati di input utilizzati

Dati meteorologici

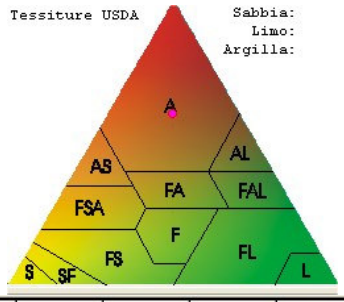
Nel presente progetto, *CRITERIA Veneto* ha elaborato i dati di quattro stazioni meteorologiche (Barbarano Vicentino, Montegalda, Noventa Vicentina e Lonigo) tutte appartenenti alla rete di telemisura di ARPAV, interpolando i dati misurati a scala territoriale, in funzione di una maglia regolare definita a "discrezione" dall'utente. I dati ed i formati utilizzati nel modello sono i seguenti:

Nome Campo	Tipo dati	Descrizione	Unità
Data	Data/ora	Giorno dell'anno	[data]
Tmin	Precisione doppia	Temperatura minima	[°C]
Tmax	Precisione doppia	Temperatura massima	[°C]
Prec	Precisione doppia	Precipitazione cumulata giornaliera	[mm]

Per consentire di avere una "storia-climatica" sufficientemente lunga dell'area oggetto di studio, si sono acquisti i dati giornalieri a partire dal gennaio 1995 al dicembre 2005, per simulare alcune variabili, sul medio e relativamente lungo periodo, ed ottenere una media pesata delle stesse.

Dati pedologici

Tutte le informazioni pedologiche (fornite dal Centro Agroambientale di ARPAV) sono organizzate su base vettoriale (poligoni di calcolo pedologici) e ancillare (tabelle dei profili stratigrafici). Il modello associa pertanto ad ogni singolo poligono, sia una classe pedologica (secondo la classificazione U.S.D.A.) sia un determinato profilo stratigrafico. Quest'ultimo, viene caricato manualmente dall'utente, in funzione dei dati pedologici che ha a disposizione, che comunque dovranno almeno sempre contenere le informazioni tessiturali (percentuali di sabbia, limo ed argilla e possibilmente la massa volumica apparente) tutti gli altri dati (in caso di mancanza di informazioni) vengono calcolati dal modello mediante pedofunzioni predefinite basate sulla classe tessiturale (Fig. 3).



	Profondità Superiore [cm]	Profondità Inferiore [cm]	Scheletro [%]	Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]	Calcare Totale [%]	Calcare Attivo [%]	Sostanza Organica [%]	CSC [cmol/kg]	MVA [kg/m3]	K Sat [cm / giorno]	pH [-]	CC [-]
1	0	30	0	20.02	19.62	60.36	0	0	2.0	0.00	1.35	6.50	0.00	0.372
0	30	200	100	0.00	0.00	0.00	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000

Figura 3: esempio di sistema di classificazione pedologica adottato da CRITERIA e relative classi dei singoli orizzonti

Dati Colturali

Il principale dato di *input* colturale è costituito da una carta di copertura del suolo con approfondimento tematico al V° livello del Sistema europeo *Corine land cover* limitatamente alla classe dei seminativi (S. Rinaldo, 2004). Tale banca dati è stata realizzata attraverso una procedura integrata di fotointerpretazione di ortofoto aeree (costruzione della componente geometrica della banca dati) e di classificazione di un *set* multi-temporale e multi-spettrale di immagini satellitari (approfondimento tematico della classe dei seminativi in rotazione). Specificatamente è stato classificato un *set* multi-temporale/multi-spettrale costituito da 2 scene SPOT, acquisite nei mesi di Maggio e Giugno 2005, e da una scena Landsat acquisita nel mese di Settembre della medesima stagione vegetativa. Le diverse tipologie di immagini sono rispettivamente caratterizzate da una risoluzione spaziale di 20 e 30 m. Il *set* satellitare è stato classificato sulla base di circa 300 rilievi a terra che hanno coperto in modo uniforme tutta l'area di studio e tutte le classi oggetto di indagine previste in legenda (barbabietola, cereali autunno-vernini, mais, orticole, risaie, soia); al fine di garantire l'esatta corrispondenza tra il dato rilevato a terra ed il *set* satellitare, la localizzazione dei rilievi è stata coadiuvata dall'utilizzo di sistemi satellitari GPS. Le immagini satellitari sono state integrate in un'unica banca dati che riunisce le registrazioni effettuate nei 3 differenti momenti del ciclo fenologico dei seminativi in rotazione (Maggio, Giugno, Settembre). Al fine di individuare la migliore tecnica di integrazione e classificazione dei dati satellitari, sono stati effettuati svariati *test* statistici in funzione del potere discriminante della banca dati generata sulla base dei rilievi di verità a terra. L'approccio di integrazione dell'informazione multitemporale si è basato su operatori logici dei valori radiometrici delle bande per ogni immagine utilizzata (*fuzzy* AND, *fuzzy* OR, MEDIA) e sull'estrazione e successiva fusione di indici di vegetazione (*Vegetation index*). Dalla valutazione statistica dei sopraccitati algoritmi di elaborazione, il maggior livello di accuratezza è stato raggiunto dal *dataset* di sintesi basato sulla fusione delle bande originali che ha generato un'immagine di 12 *layers*. Questa operazione ha consentito di aumentare il volume totale dei dati, per cui la metodologia di assegnazione del *pixel* alla classe statisticamente più idonea non è limitata all'informazione di una sola immagine stagionale. La posizione di ogni *pixel* nello spazio n-dimensionale è dipendente dai valori di radianza quantificati nelle differenti stagioni e conseguentemente dalle caratteristiche fenologiche che contraddistinguono ciascun seminativo.

L'algoritmo di classificazione scelto si basa sul teorema di Bayes o di "verosimiglianza" che utilizza come *input* le statistiche (media, varianza e covarianza) dei valori del *dataset* di sintesi sulle aree di verità rilevate a terra. Il calcolo della verosimiglianza secondo il teorema di Bayes ha prodotto una banca dati derivata che esprime per ogni punto del territorio esaminato (*pixel*) la verosimiglianza dell'appartenenza di quel punto alla classe specifica, basata su criteri di somiglianza radiometrica e di ciclo vegetazionale con le zone di verità a terra. La carta di copertura del suolo realizzata è caratterizzata da un'elevata qualità geometrica, che deriva da ortofoto 1:10.000 e C.T.R. vettoriale 1:5.000 e da accuratezza tematica di poco superiore al 95% verificata sui seminativi in rotazione per tutta l'area di analisi.

Risultati ottenuti, conclusioni e possibili sviluppi futuri

L'applicazione ha prodotto un'ampia serie di risultati che possono essere visualizzati i vari formati: nel formato G.I.S. georeferenziato (*shapefile*) le informazioni posso essere visualizzate ad una scala di rappresentazione variabile tra il singolo appezzamento agricolo a tutto l'ambito territoriale indagato e possono essere attinenti ad uno specifico giorno dell'anno oppure in maniera cumulata per un determinato periodo; nel formato grafico e tabulare viene invece rappresentata l'evoluzione temporale di una o più variabili relative ad un punto del territorio selezionato a discrezione dall'utente.

CRITERIA Veneto offre la possibilità di generare la seguente gamma di possibili *output:*

Umidità del suolo (mm)	*Drenaggio (mm)*	*Invaso colturale (cm)*
Deficit idrico (mm)	*Ruscellamento superficiale (mm)*	*Irrigazione (mm)*
Umidità percentuale (%)	*Ruscellamento totale (mm)*	*Pozzanghera (mm)*
Rapporto saturazione (m)	*Traspirazione massima (mm)*	*Precipitazione (mm)*
Acqua disponibile U-PA (mm)	*Evaporazione massima (mm)*	*Ruscellamento ipodermico (mm)*
Acqua utile (mm)	*Evaporazione reale (mm)*	*Traspirazione reale (mm)*
Bilancio (mm)	*Evapotrapirazione massima (mm)*	*Potenziale idrico medio (cm)*
Capacità invaso superficiale (mm)	*Evapotraspirazione potenziale (mm)*	*Risalita capillare giornaliera (mm)*
Deficit totale (mm)	*Frazione acqua utile (-)*	

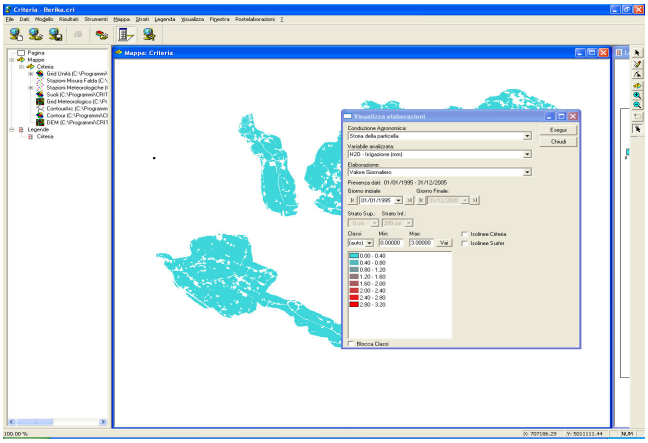


Figura 4: *output* dei fabbisogni irrigui in formato GIS.

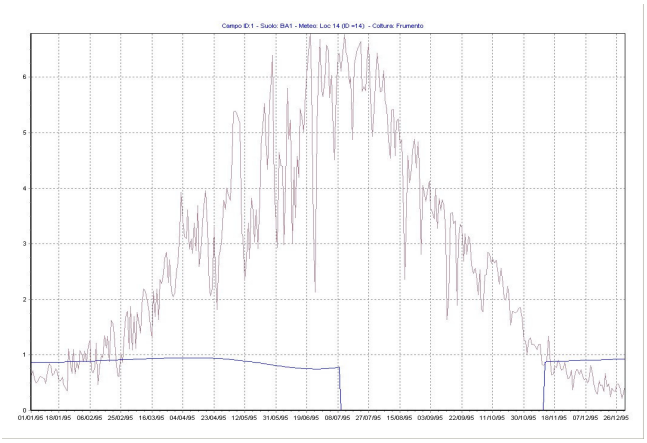


Figura 5: *output* relativo all'evapotraspirazione potenziale

L'applicazione ha dimostrato l'efficacia e la validità del modello come strumento di supporto all'ente gestore delle acque irrigue. *CRITERIA Veneto* è in grado di fornire all'utente precise informazioni legate al fabbisogno idrico di specifiche colture agrarie sia a livello di intero comprensorio che di singolo appezzamento. Nel prossimo futuro sarà interessante utilizzare il modello in tempo reale: ciò permetterà di ottimizzare al meglio il monitoraggio della risorsa idrica e di gestire con maggiore prontezza le emergenze legate ai fenomeni siccitosi.

Bibliografia

Marletto, V., Zinoni, F., 1996. The CRITERIA project: integration of satellite, radar, and traditional agroclimatic data in a GIS-supported water balance modelling environment. In: Proc. COST 77, 79, 711 Int. Symp. on Applied Agrometeorology and Agroclimatology (ed. Dalezios, N. R.), Volos, Greece, 24-26 April 1996, 173-178.

Marletto, V., Zinoni, F., Filippi, N., Angelelli, A., Laruccia, N., Lega, P. and Tonelli, T., 1993. CRITERIA: an integrated geo-graphical system for soil water monitoring. Proc. IX Symposium on Pesticide Chemistry, Mobility and Degradation of Xenobiotics, Piacenza, Italy, 12-13 October 1993, 695-706.

Rinaldo, S. 2004. Realizzazione della Carta di Copertura del Suolo del bacino scolante nella Laguna di Venezia. Atti dell'8ª Conferenza Nazionale ASITA (Roma, 14-17 Dicembre 2004, Vol. II pp. 1737-1742).