

## APPLICAZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE CROPSYST ALL'ERBA MEDICA

### *The application of Cropsyst simulation model to Alfalfa*

Roberto Confalonieri, Luca Bechini

*Dipartimento di Produzione Vegetale, Università degli Studi di Milano, via Celoria 2, 20133 Milano*

*roberto.confalonieri@unimi.it, luca.bechini@unimi.it*

#### **Riassunto**

L'erba medica è una coltura strategica, sia dal punto di vista agronomico (produzione) sia da quello ecologico (effetti positivi sull'agroecosistema). Il fatto di giocare un importante ruolo nei sistemi agro-zootecnici rende lo studio del sistema suolo-erba medica fondamentale per il confronto di alternative gestionali e per la valutazione dell'impatto di sistemi a diversa intensificazione. In questo lavoro sono mostrati i risultati dell'utilizzo del modello di simulazione CropSyst per eseguire valutazioni di questo tipo in modo integrato. Il modello ha simulato con buona precisione le rese ed il bilancio idrico del sistema. Nella simulazione del bilancio dell'azoto è risultato invece poco preciso.

#### **Abstract**

*Alfalfa is an important crop, both from an agronomic and an ecological point of view. It plays a relevant role in cropping systems for cattle breeding. For this reason it is necessary to study this system in order to make comparisons between different management strategies and to evaluate the environmental impact of different systems. In this paper we show the results of the application of the simulation model CropSyst to a cropping system including alfalfa in an integrated way. The model has shown to be able to simulate biomass accumulation and water balance. It is still not precise in simulating the nitrogen balance.*

#### **Introduzione**

L'erba medica è una coltura importante, sia dal punto di vista economico che da quello ecologico. Essa, infatti, ha effetti positivi sulla qualità del suolo grazie all'azotofissazione, al miglioramento della struttura (radici fittonanti molto profonde) ed al fatto che aumenta la sostanza organica del terreno (eventi di lavorazione

ridotti rispetto alle colture annuali e residui con un alto tenore in azoto). Inoltre, rispetto ad altre foraggere, l'erba medica è caratterizzata da rese elevate, tanto in sostanza secca quanto in proteina grezza (Bourgeois, 1990). La straordinaria adattabilità dell'erba medica è evidenziata da una notevole estensione dell'area in cui viene coltivata (dalla Scandinavia al Nord Africa; Parrini, 1981). Nell'Italia settentrionale gioca un ruolo chiave in un'ottica agro-zootecnica: in Lombardia è coltivata su un'area di 110.000 ettari (AA.VV., 1995). Per tutte queste ragioni, è importante analizzare le complesse relazioni che si instaurano tra la gestione agronomica, la crescita della coltura ed il relativo impatto ambientale nel reale contesto pedo-climatico. La comprensione di queste relazioni permetterebbe di ottimizzare i sistemi colturali e zootecnici. Nel nord Italia, ad esempio, potrebbe dare indicazioni per la gestione dell'azoto contenuto in grandi quantità nei reflui zootecnici. Per studi di questo tipo è necessario analizzare il sistema nella sua interezza e comprenderne le dinamiche nel modo il più possibile completo.

Un modello di simulazione è uno strumento valido per lo studio dei sistemi. In passato, diversi modelli sono stati utilizzati per analizzare le dinamiche legate all'erba medica. I modelli utilizzati fino ad ora sono molto dettagliati nel descrivere i processi fisiologici della coltura (Bourgeois, 1990). Questo livello di dettaglio è il risultato di due fattori: da una parte la scelta di descrivere i processi legati ad una sola coltura, dall'altra l'obiettivo di descrivere dettagliatamente la coltura dal punto di vista morfologico e fisiologico. E' ovvio che, in un'ottica orientata alla gestione del territorio, un simile livello di dettaglio può essere più un ostacolo che un vantaggio. Infatti, i modelli di questo tipo risultano spesso difficili da calibrare e generalmente non possono simulare sistemi colturali (Fick, 1984). Inoltre, i modelli che simulano la crescita dell'erba medica generalmente non sono in grado di simulare il bilancio dei nutrienti, soprattutto dell'azoto, poiché l'erba medica cresce in condizioni di azoto non limitante.

CropSyst (Stockle e Nelson, 1999) è un modello di simulazione basato su processi, che simula su base giornaliera l'evoluzione di un sistema colturale. E' stato scelto in quanto progettato per essere un

generico simulatore di colture. Da questo derivano delle caratteristiche importanti per l'utilizzo di un modello per studi di carattere gestionale. Il modello prevede che i processi di crescita e sviluppo di colture molto diverse tra loro siano simulati con lo stesso set di equazioni, mentre le differenze tra le varie colture siano descritte tramite i parametri delle equazioni stesse. In questo modo si è ottenuta una semplificazione notevole rispetto ai modelli che dettagliano maggiormente alcuni processi (ad esempio l'intercettazione della luce in SUCROS, Goudriaan e van Laar, 1984). Il fatto di poter eseguire simulazioni con una richiesta relativamente bassa di input, insieme alla possibilità di interazione con un GIS, lo rende adatto ad eseguire simulazioni per studi su scala territoriale.

In questo lavoro sono mostrati i risultati della calibrazione dei parametri colturali dell'erba medica. La calibrazione dei parametri coinvolti nella simulazione delle dinamiche proprie degli altri comparti dell'agroecosistema (terreno) ci ha permesso di valutare l'affidabilità del modello nel simulare l'intero sistema.

## **Materiali e metodi**

### I dati sperimentali

I dati utilizzati in questo lavoro sono stati raccolti nel corso di una prova sperimentale condotta a Lodi presso l'Istituto Sperimentale per le Colture Foraggere, iniziata nell'aprile 1995 e tuttora in corso, che prende in esame due avvicendamenti a diversa intensificazione: loglio italico-mais da trinciato in omosuccessione capace di fornire foraggio atto a garantire il mantenimento di 6 UBA (Unità bovino adulto)  $\text{ha}^{-1}$ ; avvicendamento sessennale con tre anni di prato di erba medica e tre anni di loglio italico – mais da trinciato atto a mantenere 4 UBA  $\text{ha}^{-1}$ . Per ogni avvicendamento sono state adottate le fertilizzazioni derivanti dalle combinazioni di: concimazione organica con letame o liquame da effettuare nei due avvicendamenti utilizzando le quantità producibili dalle UBA potenzialmente allevabili; presenza o assenza di concimazione minerale azotata in copertura (con esclusione dell'erba medica). La concimazione

organica per l'erba medica è stata prevista solo per l'anno di impianto.

Il terreno è franco-sabbioso, con presenza di sostanza organica medio-bassa, pH subacido, scarsamente dotato di potassio scambiabile e mediamente ben dotato di fosforo assimilabile. Lo strato di terreno preso in esame durante la sperimentazione è stato quello compreso tra 0 e 60 cm di profondità (profilo culturale). Il campionamento del terreno è stato effettuato per determinare i contenuti di acqua e di azoto nitrico ed ammoniacale, e cercare di comprenderne le dinamiche spazio-temporali. La frequenza di campionamento è stata generalmente mensile ed il campionamento è stato eseguito a due profondità: per lo strato da 0 a 30 cm di profondità e per quello da 30 a 60 cm.

#### I dati sperimentali utilizzati per i processi di calibrazione e test del modello

Per la calibrazione dei parametri colturali per l'erba medica sono stati utilizzati i dati di biomassa misurata ad ogni sfalcio dei primi due anni dei medicaei seminati nel 1996 e 1997. Per la validazione degli stessi parametri sono stati utilizzati i terzi anni dei due medicaei sopra citati. Per la calibrazione dei parametri coinvolti nell'asportazione di azoto della coltura sono stati utilizzati i valori misurati nel primo e terzo anno del medicaio seminato nel 1996, dal momento che per il secondo anno non si disponeva di dati misurati. La validazione della concentrazione di azoto nella coltura è stata eseguita sul secondo anno del medicaio seminato nel 1996. Un'ulteriore validazione è stata poi condotta sulle rotazioni sessennali con semina della medica nel 1996, nel 1997 e nel 1998.

Per la calibrazione delle caratteristiche idrologiche del suolo sono stati utilizzati i dati di contenuto idrico del terreno misurati nel primo anno della monosuccessione loglio italico – mais da trinciato e nel primo anno del medicaio seminato nel 1996. I dati utilizzati per la calibrazione delle dinamiche dell'azoto minerale nel suolo appartengono agli stessi periodi di quelli utilizzati per la calibrazione delle caratteristiche idrologiche. La validazione del contenuto idrico del terreno e del contenuto di azoto minerale dello stesso è stata

condotta sui dati raccolti nel 1997 sia nelle parcelle su cui era in corso la monosuccessione, sia su quello delle parcelle sulle quali erano in corso le rotazioni sessennali con erba medica seminata nel 1996 e nel 1997. I dati a nostra disposizione si fermano al 1997.

Al fine di presentare sinteticamente e con maggior rigore i risultati ottenuti sono stati utilizzati gli indici Relative Root Mean Square Error (RRMSE), Modelling Efficiency (EF), Coefficient of Residual Mass (CRM), Coefficient of Determination (CD) (Loague e Green, 1991) ed i parametri della regressione (pendenza, intercetta ed  $R^2$ ), in grado di descrivere l'accordo tra dati misurati e simulati.

### Il modello di simulazione

Il modello di simulazione utilizzato è CropSyst (Stockle e Nelson, 1999) nella versione 2.02.31 del 14 settembre 1999. CropSyst è un modello deterministico e basato su processi che simula su base giornaliera l'evoluzione di sistemi colturali in diverse condizioni pedo-climatiche. Le principali variabili in input sono: il tipo di coltura (descritta in base all'interazione con i fattori ambientali); le caratteristiche pedologiche del terreno in esame; i dati meteorologici giornalieri (precipitazioni, temperature massima e minima dell'aria, radiazione solare globale); il tipo e la quantità di fertilizzanti utilizzati e la loro epoca di applicazione.

In seguito alla simulazione il modello fornisce vari output, tra i quali rivestono particolare importanza gli andamenti nel tempo della biomassa e superficie fogliare, l'evoluzione della tipologia e della quantità di azoto nel sistema, i movimenti d'acqua e soluti nel terreno, l'evapotraspirazione e gli effetti degli stress idrici e azotati sulla crescita della coltura.

In questo lavoro, per la simulazione dei movimenti di acqua nel suolo, è stata utilizzata la modalità *cascade*, dimostratasi più affidabile. Nonostante la descrizione del profilo sia stata seguita dalla determinazione in laboratorio della capacità di campo e del punto di appassimento permanente, si è deciso di effettuare la calibrazione in quanto la capacità di campo è stata misurata con un metodo soggetto ad un errore di misura non trascurabile (campione "disturbato").

## Risultati

### Calibrazione dei parametri colturali per l'erba medica (biomassa)

La calibrazione è stata condotta sui parametri più significativi tra quelli caratterizzanti la coltura (*Specific Leaf Area*, *Stem/Leaf Partition Coefficient* e *Above Ground Biomass – Transpiration Coefficient*, *Optimum Mean Daily Temperature for Growth*), identificati attraverso l'analisi di sensitività. Questa consiste nel restringere il numero di variabili da gestire durante la calibrazione, permettendo di eliminare quelle che, in un realistico intervallo di valori, non apportano significative variazioni alle rese previste dal modello.

I risultati della calibrazione rappresentano il compromesso tra i risultati ottenuti sul primo e sul secondo set di dati (Figura 1, Tabella 1).

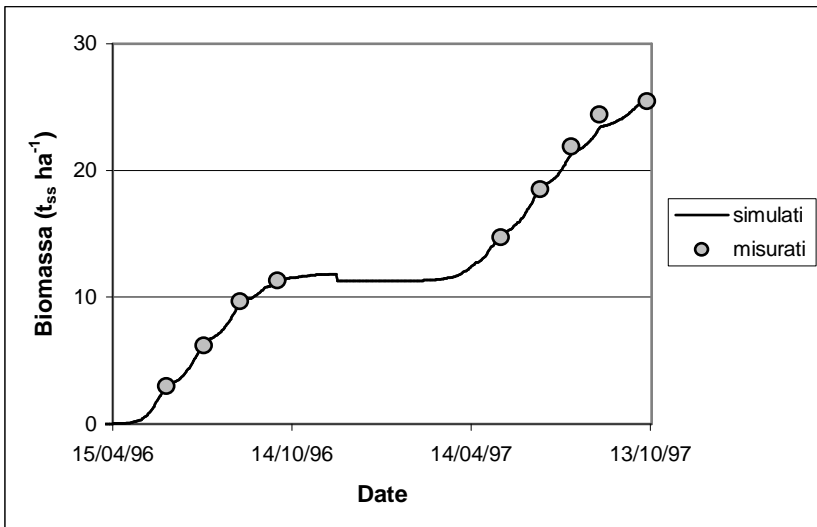


Figura 1. Calibrazione dei parametri colturali di erba medica (biomassa). Primi due anni del medicaio seminato nel 1996

Parametri	RRMSE(%)	EF	CRM	CD	pendenza	intercetta	R2
Val. minimo	0	-inf.	-inf.	0	-inf.	-inf.	-inf.
Val. massimo	+inf.	1	+inf.	+inf.	+inf.	+inf.	+inf.
Val. ottimale	0	1	0	1	1	0	1
Semina 1996	20	0.6	0.0	2.8	1.3	-1.1	0.6
Semina 1997	40	-0.5	-0.1	1.1	0.3	1.7	0.1

Tabella 1. Calibrazione dei parametri colturali di erba medica (biomassa). Primi due anni dei medicaei seminati nel 1996 e nel 1997. Indici di fitting

### Calibrazione dei parametri colturali per l'erba medica (contenuto in azoto della coltura)

I parametri su cui è stata eseguita la calibrazione sono stati *Maximum Nitrogen Concentration During Early Growth*, *Minimum Nitrogen Concentration of Harvested Material* e *Nitrogen Availability Adjustment*. I risultati della calibrazione sono esposti in Figura 2 ed in Tabella 2.

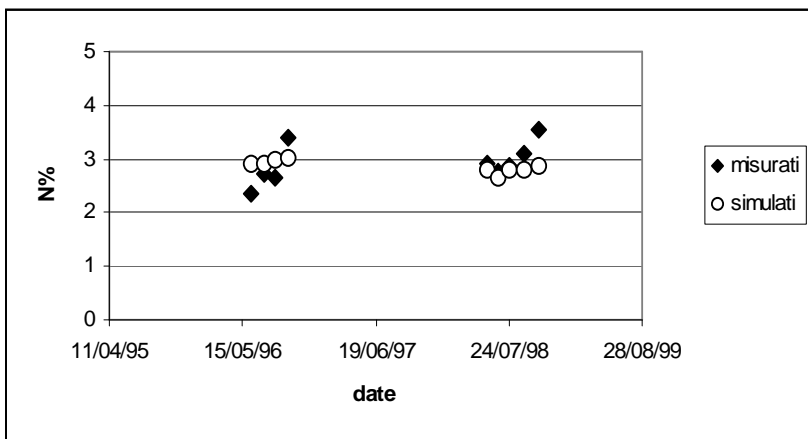


Figura 2 – Calibrazione dei parametri colturali per l'erba medica (concentrazione di azoto nella coltura). Primo e terzo anno del medicaio seminato nel 1996.

Parametri	RRMSE(%)	EF	CRM	CD	Pendenza	Intercetta	R2
Val. minimo	0	-inf.	-inf.	0	-inf.	-inf.	-inf.
Val. massimo	+inf.	1	+inf.	+inf.	+inf.	+inf.	+inf.
Val. ottimale	0	1	0	1	1	0	1
Calcolato	12	0.0	0.0	7.4	0.5	1.6	0.0

Tabella 2. Calibrazione dei parametri colturali per l'erba medica (concentrazione di azoto nella coltura). Primo e terzo anno del medicaio seminato nel 1996. Indici di fitting

Nonostante i valori simulati siano, come ordine di grandezza, molto vicini a quelli misurati, il modello non riesce a simulare l'andamento nel tempo dei valori di concentrazione di azoto nella pianta. Questo è messo in evidenza da un valore relativamente alto dell'indice CD.

### Calibrazione delle caratteristiche idrologiche del terreno

In tabella 3 sono mostrati i risultati della calibrazione, eseguita modificando la capacità di campo dei vari strati in cui il modello divide lo spessore del terreno. La figura 3 mostra un grafico di esempio.

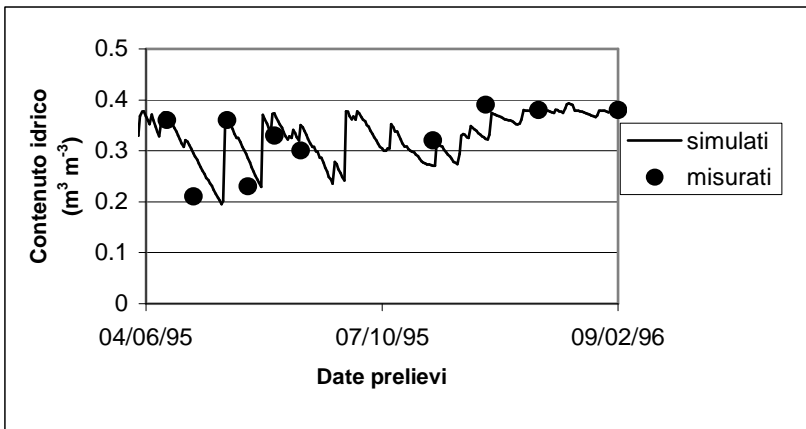


Figura 3. Calibrazione delle caratteristiche idrologiche del terreno. Primo anno della monosuccessione. Strato da 0 a 30 cm di profondità.



Parametri	RRMSE(%)	EF	CRM	CD	Pendenza	Intercetta	R2
Val. minimo	0	-inf.	-inf.	0	-inf.	-inf.	-inf.
Val. massimo	+inf.	1	+inf.	+inf.	+inf.	+inf.	+inf.
Val. ottimale	0	1	0	1	1	0	1
mono 0-30 cm	11	0.6	-0.1	1.8	1.4	-0.1	0.8
mono 30-60 cm	11	0.6	0.1	1.1	0.9	0.0	0.7
sess 0-30 cm	17	0.4	0.0	0.9	0.7	0.1	0.5
sess 30-60 cm	23	0.1	0.0	1.9	0.7	0.1	0.2

Tabella 3. Calibrazione delle caratteristiche idrologiche del terreno. Primo anno della monosuccessione e della rotazione sessennale con erba medica seminata nel 1996

### Calibrazione dei parametri che descrivono le trasformazioni dell'azoto nel terreno

La calibrazione è stata effettuata a partire dai parametri calibrati in via preliminare da Bechini (1999), corrispondenti a valori di *Mineralization Rate Adjustment* e *Nitrification Rate Adjustment* rispettivamente di 0.4 e 0.15. Un esempio di simulazione dei fenomeni relativi è mostrato in figura 4. I valori dei due parametri alla fine della calibrazione sono risultati, rispettivamente, di 1 e 0.05.

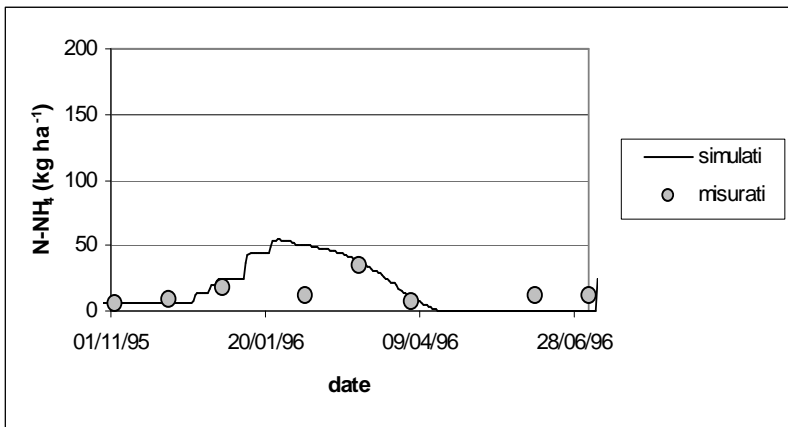


Figura 4. Calibrazione dei parametri relativi alle trasformazioni dell'azoto nel suolo. Contenuto di azoto ammoniacale nel terreno. Primo anno della monosuccessione. Strato da 30 a 60 cm di profondità

Le concentrazioni simulate di azoto ammoniacale nello strato da 0 a 30 cm di profondità sono abbastanza vicine a quelle reali; la situazione peggiora per i valori simulati nello strato da 30 a 60 cm. L'ordine di grandezza dei valori misurati per l'azoto nitrico è simulato meglio dal modello.

#### Validazione dei parametri colturali per l'erba medica (biomassa)

I risultati delle validazioni sono mostrati in tabella 4. Sono mostrati solo i risultati delle calibrazioni per le tesi letamate in quanto il modello non è in grado per il momento di simulare l'effetto inibitore dell'ammonio sulla crescita della medica (rilevato al primo anno per le mediche liquamate) e, dal momento che la medica in queste condizioni di gestione cresce in condizioni di sufficiente disponibilità di azoto, il modello non ha simulato differenze tra le rese delle tesi letamate e di quelle liquamate.

<b>Parametri</b>	<b>RRMSE(%)</b>	<b>EF</b>	<b>CRM</b>	<b>CD</b>	<b>Pendenza</b>	<b>Intercetta</b>	<b>R2</b>
Val. minimo	0	-inf.	-inf.	0	-inf.	-inf.	-inf.
Val. massimo	+inf.	1	+inf.	+inf.	+inf.	+inf.	+inf.
Val. ottimale	0	1	0	1	1	0	1
Semina 1996	34	-0.3	-0.2	0.7	0.5	1.2	0.3
Semina 1997	44	-1.4	-0.1	0.6	0.1	2.4	0.0

*Tabella 4. Validazione dei parametri colturali per erbe medica (biomassa). Terzo anno dei medicaei seminati nel 1996 e nel 1997. Indici di fitting*

In generale il modello simula con sufficiente precisione i valori di biomassa prodotta tranne nell'ultimo taglio dell'anno nel 1997 e nel quarto del 1998, probabilmente a causa di una sovrastima dell'azoto fissato, processo per il quale non è possibile effettuare calibrazione. La precisione dimostrata dal modello nella simulazione delle rese del primo anno dopo la ripresa primaverile è invece un chiaro segno dell'affidabilità nella simulazione dei processi riguardanti la dormienza e la successiva ripresa vegetativa primaverile. Le rese simulate nel terzo anno del medicaio seminato nel 1997 sono molto più basse di quelle reali. Non si è trovata una spiegazione plausibile per questo fenomeno.

Validazione dei parametri colturali per l'erba medica (concentrazione di azoto nella coltura)

La validazione è stata effettuata sul secondo anno del medicaio seminato nel 1996. La validazione è stata condotta, in questo caso, solo sulla tesi letamata, per il già citato effetto inibitore sulla crescita dell'erba medica da parte dell'ammonio contenuto nei liquami. In questa validazione è stata rilevata una buona precisione del modello per quanto riguarda l'ordine di grandezza dei valori simulati, anche se la tendenza ad "appiattirne" l'andamento nel tempo, già riscontrata in fase di calibrazione, è stata confermata. I risultati della validazione sono illustrati in Tabella 5.

<b>Parametri</b>	<b>RRMSE(%)</b>	<b>EF</b>	<b>CRM</b>	<b>CD</b>	<b>Pendenza</b>	<b>Intercetta</b>	<b>R2</b>
Val. minimo	0	-inf.	-inf.	0	-inf.	-inf.	-inf.
Val. massimo	+inf.	1	+inf.	+inf.	+inf.	+inf.	+inf.
Val. ottimale	0	1	0	1	1	0	1
Calcolato	12	-0.2	0.0	3.9	0.3	2.1	0.0

*Tabella 5. Validazione della concentrazione di azoto in erba medica. Medicaio seminato nel 1996. Indici di fitting*

Validazione delle caratteristiche idrologiche del terreno

In Figura 5 ed in Tabella 6 sono mostrati i risultati della validazione delle caratteristiche idrologiche del terreno.

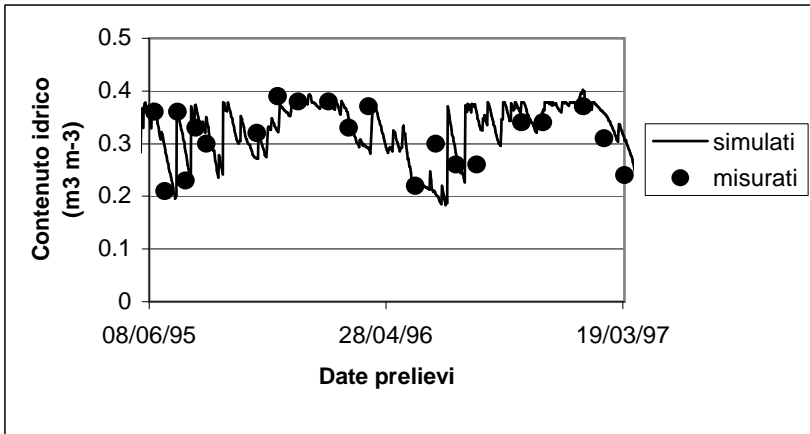


Figura 5. Validazione delle caratteristiche idrologiche del terreno. Primo e secondo anno della monosuccessione. Strato da 30 a 60 cm di profondità.

Parametri	RRMSE(%)	EF	CRM	CD	Pendenza	Intercetta	R2
Val. minimo	0	-inf.	-inf.	0	-inf.	-inf.	-inf.
Val. massimo	+inf.	1	+inf.	+inf.	+inf.	+inf.	+inf.
Val. ottimale	0	1	0	1	1	0	1
no, sess 0-30	17	0.3	0.0	1.0	0.7	0.1	0.4
no, sess 30-60	19	0.2	-0.1	1.8	0.8	0.0	0.3

Tabella 6. Validazione delle caratteristiche idrologiche del terreno. Indici di fitting.

Il modello si è dimostrato affidabile nel simulare i processi legati ai movimenti di acqua nel terreno, soprattutto per lo strato da 0 a 30 cm di profondità.

### Discussione e conclusioni

Nonostante i dati utilizzati in questo lavoro non siano stati raccolti per parametrizzare un modello di simulazione, è stato possibile utilizzare CropSyst per simulare i processi legati alle colture poliennali. Sono stati calibrati i parametri morfologici e fisiologici della coltura e quelli connessi con bilancio idrico e bilancio azotato. Tuttavia, la validazione ha mostrato che i dati utilizzati non sono sufficienti per una calibrazione ottimale, soprattutto per quanto

riguarda il bilancio dell'azoto nel sistema suolo – coltura. Per la modellistica sono infatti necessari dataset di ottima qualità. Inoltre, incertezze nella simulazione della resa dell'ultimo taglio di ogni anno fanno ipotizzare una semplificazione eccessiva nella simulazione dei processi. CropSyst si è invece dimostrato efficace nella simulazione del bilancio idrico.

### **Ringraziamenti**

*Si ringraziano i dottori Cesare Tomasoni e Lamberto Borrelli (ISCF Lodi), Pietro Marino Gallina (Di.Pro.Ve., Università degli Studi di Milano).*

### **Bibliografia**

- AA.VV., 1995. L'agricoltura lombarda nel 1995, in Lombardia Verde, anno XII, n.10, ottobre 1996.
- Bechini, L., 1999. Utilizzo di un GIS ed di un modello di simulazione per la previsione a scala territoriale dell'eventuale inquinamento delle acque generato dalla distribuzione di reflui zootecnici. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Milano, Facoltà di Agraria, pp. 160.
- Bocchi, S., Mariani, L., Maggiore, T., 1998. Modellistica di produttività per la medica e modello ALFALFA. AIAM 98 – Applicazioni di modelli di bilancio idrico e di produttività delle colture. 28-41.
- Bourgeois, G., Savoie, P., Girard, J.M., 1990. Evaluation of an ALFALFA Growth Simulation Model under Quebec conditions. Agric.Sys. 32, 1990, 1-12.
- Fick, G.W., 1984. Simple simulation models for yield prediction applied to alfalfa in the Northeast. Agron.J. 76, 1984, 235-238.
- Goudriaan, J., van Laar, H.H., 1984. Modelling Crop Growth Processes. Textbook with Exercises, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 238 pp.
- Loague, K.M., Green, R.E., 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. Journal of Contaminant Hydrology, 7, 51-53.
- Stockle, C.O., Nelson, R., 1999. CropSyst User's Manual. BSYSE, Washington State University, Pullman, WA, USA.