

# APPLICAZIONE DEL SISTEMA ARCVIEW-CROPSYST NELLA VALUTAZIONE DELLA PERCOLAZIONE DI ACQUA E DELLA LISCIVIAZIONE DI NITRATI

R. Francaviglia<sup>1</sup>, M. Donatelli<sup>2</sup>, C. Stöckle<sup>3</sup>, A. Marchetti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante, Via della Navicella 2, 00184 Roma

<sup>2</sup> Istituto Sperimentale per le Colture Industriali, Via di Corticella 133, 40128 Bologna

<sup>3</sup> Dep. of Biological Systems Engineering, WSU, Pullman, WA 99164-6120, USA

## Riassunto

Nel presente studio è stata considerata un'area della Regione Lazio in provincia di Frosinone, della superficie di circa 58 000 ha, con precipitazioni atmosferiche medie di circa 1200 mm. Con il modello per sistemi colturali CropSyst sono state simulate per un cinquantennio alcune rotazioni colturali tradizionalmente attuate nell'area in esame, esaminando prevalentemente il bilancio idrico e dell'azoto nei diversi sistemi.

Lo studio ha consentito di produrre sia la cartografia di base (carta dei suoli e delle pendenze), sia una cartografia derivata per ogni combinazione suolo-rotazione colturale-livello di concimazione (carte della percolazione di acqua e della lisciviazione di azoto), quest'ultima ottenuta associando i risultati delle simulazioni del modello CropSyst con il software GIS ArcView. I risultati ottenuti hanno evidenziato che il fenomeno della lisciviazione di azoto presenta un'elevata variabilità annuale e non deve essere attribuito necessariamente a tutti i sistemi colturali, anche in caso di somministrazioni di azoto elevate e di condizioni pedologiche e climatiche sfavorevoli. Questo risultato indica come l'uso di modelli può fornire indicazioni utili a minimizzare l'impatto ambientale delle pratiche agricole, senza rischiare di penalizzare la potenzialità produttiva.

## Introduzione

In Italia esistono numerosi esempi di cartografia della vulnerabilità degli acquiferi (Aru et al., 1990; Bellon e Gardi, 1991; Zavatti et al., 1992; Gardi e Vianello, 1993), che esaminano comunque il problema da un punto di vista statico sulla base delle caratteristiche globali dell'ambiente. In questi casi, il suolo è considerato come un fattore generico di attenuazione dell'impatto ambientale delle attività antropiche (Marcolongo e Pretto, 1987).

Inoltre le stime di pericolosità dei sistemi colturali, e quindi le pratiche agricole consigliate per limitare i rischi ambientali, sono spesso basate su informazioni che non tengono conto dell'interazione specifica tra clima dell'annata e sistema colturale in atto. I modelli di simulazione consentono invece di:

- valutare quantitativamente le conseguenze di differenti scelte di gestione colturale;
- verificare le scelte agronomiche eseguite su periodi medio-lunghi, tenendo conto della variabilità climatica;
- stimare gli effetti a carico di variabili non misurabili sperimentalmente;
- esaminare in modo rapido ed economico le numerose combinazioni suolo-clima-sistema colturale.

Con il modello per sistemi colturali CropSyst (Stockle e Nelson, 1994; Stockle e Donatelli, 1997; Donatelli et al., 1998) sono state simulate per un cinquantennio alcune rotazioni colturali tradizionalmente attuate nell'area in esame, esaminando prevalentemente il bilancio idrico e dell'azoto nei diversi sistemi. Il software ArcView è stato utilizzato per la cartografia dei risultati delle simulazioni.

CropSyst simula il bilancio idrico e quello dell'azoto nel sistema suolo-pianta, la produzione di sostanza secca e l'accrescimento della copertura vegetale (biomassa ed indice fogliare) e

dell'apparato radicale, la produzione e la decomposizione dei residui colturali, l'erosione. Le opzioni di gestione colturale comprendono la scelta della cultivar, la rotazione colturale, l'irrigazione, la fertilizzazione azotata, le lavorazioni e la gestione dei residui colturali.

## Materiali e metodi

Come accennato lo studio ha riguardato un'area della provincia di Frosinone con una superficie topografica di circa 58 000 ha, di cui circa 52 000 di utilizzazione agraria e una SAU di circa 39 000 ha. L'area coincide con la Valle del fiume Sacco, interposta tra l'apparato del Vulcano Laziale e le catene montuose dei Monti Lepini ed Ernici. Data la particolare morfologia della zona, le simulazioni sono state eseguite solo sui suoli con pendenza inferiore al 10 %, che rappresentano circa il 60 % della superficie ad utilizzazione agraria e sono occupati prevalentemente da seminativi. I dati pedologici utilizzati nelle simulazioni, sono il risultato di una convenzione tra la Regione Lazio e l'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante (1985). I dati meteorologici giornalieri (precipitazioni e temperatura massima e minima dell'aria) sono stati generati con il software ClimGen (Stockle e Nelson, 1998) per un periodo di 50 anni a partire dai dati rilevati negli ultimi 15 anni<sup>1</sup>. I dati giornalieri di radiazione solare sono stati stimati con il modello proposto da Donatelli e Campbell (1998).

Le simulazioni sono state effettuate con la versione 2.02.11 del modello CropSyst. In particolare l'evapotraspirazione potenziale è stata valutata con l'equazione Penman-Monteith e la calibrazione dei parametri relativi al ciclo dell'azoto è stata eseguita in modo da ottenere una mineralizzazione netta dall'humus stabile di 40-60 kg/ha/anno di azoto.

Per lo studio sono state considerate sei rotazioni colturali con le colture di silomais, mais da granella, frumento, barbabietola da zucchero, girasole ed erba medica), e due livelli di concimazione azotata (Tabella 1), per un totale di 480 combinazioni suolo-sistema colturale.

Tabella 1. Rotazioni simulate (il simbolo <sup>†</sup> indica le colture irrigate) ed apporti medi annuali di azoto in kg/ha/anno.

Rotazione	Durata (anni)	Input N "alto"	Input N "medio"
Silomais <sup>†</sup> - silomais <sup>†</sup> - frumento	3	313	237
Frumento - mais <sup>†</sup> - frumento	3	233	137
Barbabietola <sup>†</sup> - silomais <sup>†</sup> - frumento	3	233	167
Barbabietola <sup>†</sup> - frumento	2	165	100
Barbabietola <sup>†</sup> - frumento - girasole - frumento	4	158	95
Barbabietola <sup>†</sup> - frumento - erba medica 4 anni + mais - frumento	7	140	94

Le concimazioni sono state eseguite tutte in presemina sulle colture di barbabietola, girasole, mais da granella ed erba medica, in presemina ed in copertura per il silomais e tutte in copertura per il frumento (due applicazioni). I residui colturali sono stati incorporati nel terreno per tutte le colture, escluso il silomais. Le irrigazioni sono state eseguite con la modalità automatica del modello a 0.5-0.6 di deficit rispetto alla capacità di campo, con volumi corrispondenti a quelli della comune pratica agricola. I valori dei parametri colturali usati nelle simulazioni sono stati ottenuti per calibrazione con i dati sperimentali raccolti nell'area.

Ogni combinazione suolo-sistema colturale è stata simulata per 50 anni senza reinizializzare le variabili di stato. Data l'incertezza delle condizioni iniziali in termini di contenuto idrico, nitrati, humus stabile e residui colturali, sono stati analizzati soltanto gli ultimi 40 anni delle simulazioni, considerando che il primo decennio sia sufficiente per raggiungere un equilibrio ragionevole. I

<sup>1</sup> Si ringrazia l'UCEA per aver messo a disposizione i dati grezzi non elaborati della stazione di rilevamento di Frosinone.

risultati sono riferiti in termini di percolazione di acqua e lisciviazione di azoto al fondo del profilo di terreno.

## Risultati e discussione

I risultati presentati sono illustrativi del tipo di output che si può ottenere da uno studio di questo tipo. Data la notevole quantità di dati, nella Tabella 2 si riportano i risultati, relativi ai due livelli di concimazione, per percolazione, lisciviazione, irrigazioni ed evapotraspirazione, e per i due terreni estremi (Tabella 3), a bassa e alta capacità di ritenzione idrica (WHC).

Tabella 2. Valori medi annuali di percolazione di acqua, lisciviazione di azoto, irrigazioni ed evapotraspirazione delle rotazioni simulate per il livello medio di concimazione azotata (tra parentesi i valori del livello alto). Precipitazioni medie 1221 mm/anno

	Rotazioni					
	S-S-F	M-M-F	B-S-F	B-F	B-F-G-F	B-F-E+M-F
<i>Percolazione (mm/anno)</i>						
WHC bassa	526 (516)	544 (533)	518 (512)	506 (492)	490 (481)	521 (513)
WHC alta	426 (412)	449 (433)	416 (403)	410 (391)	408 (386)	421 (404)
<i>Lisciviazione N (kg/ha/anno)</i>						
WHC bassa	14 (19)	22 (23)	18 (21)	19 (21)	18 (19)	21 (29)
WHC alta	13 (21)	20 (19)	18 (20)	19 (20)	18 (19)	17 (24)
<i>Irrigazioni (mm/anno)</i>						
WHC bassa	231 (231)	185 (228)	204 (226)	131 (165)	62 (77)	86 (91)
WHC alta	150 (150)	120 (149)	125 (140)	66 (99)	32 (44)	60 (65)
<i>Evapotraspirazione (mm/anno)</i>						
WHC bassa	789 (799)	723 (778)	767 (796)	704 (754)	655 (687)	653 (665)
WHC alta	805 (819)	751 (796)	787 (817)	734 (787)	707 (740)	734 (748)

S=silomais; F=frumento; M=mais da granella; B=barbabietola; G=girasole; E=erba medica.

Tabella 3. Principali parametri idropedologici di input dei due terreni estremi

Suolo	Pendenza %	Strato cm	S %	L %	A %	Densità apparente g/cm <sup>3</sup>	FC % vol	WP % vol	pH	CSC cmoli/kg	C org. %
WHC bassa	5-10	0-25	14	32	54	1.32	0.43	0.31	6.50	17.88	1.76
		25-55	4	18	78	1.07	0.46	0.36	6.70	22.38	1.06
		55-100	30	24	46	1.41	0.41	0.29	7.20	18.16	0.76
WHC alta	2-5	0-40	23	54	23	1.35	0.32	0.14	5.88	22.66	2.94
		40-120	18	50	32	1.47	0.37	0.21	5.50	19.52	0.73
		120-150	30	44	26	1.52	0.33	0.19	5.87	26.96	0.43

S=sabbia; L=limo; A=argilla; FC=capacità di campo; WP=punto di appassimento; CSC=capacità di scambio cationico

La percolazione di acqua è sempre piuttosto elevata (da 386 a 544 mm/anno), e risulta evidente la differenza tra i due terreni estremi, che è dell'ordine dei 100 mm anno. Tra le rotazioni, la M-M-F presenta la percolazione più elevata, come era da attendersi visto il lungo periodo in cui il terreno rimane incolto. La Figura 1 mostra un esempio di distribuzioni cumulate delle frequenze per la percolazione di acqua e la lisciviazione di azoto delle varie rotazioni simulate. Per quanto riguarda

la percolazione, esiste circa il 10 % di probabilità di superare i 600 mm/anno.

Per la lisciviazione di azoto i risultati delle simulazioni rientrano in un range di 19-29 kg/ha/anno: anche in questo caso la rotazione M-M-F presenta mediamente i valori più elevati. Le quantità medie di azoto lisciviato non sono comunque elevate, anche se la variabilità annuale è molto elevata. Praticamente per tutte le rotazioni esiste il 35-40 % di probabilità di superare un valore di lisciviazione annuale di circa 30 kg/ha (Figura 1). Per le rotazioni B-F, B-F-G-F e B-S-F, il valore massimo di lisciviazione, anche se con un livello di probabilità bassissimo, è dell'ordine dei 40 kg/ha/anno, per S-S-F e M-M-F è di poco superiore a 50 e solo per la rotazione B-F-E+M-F arriva a 70 kg/ha/anno. Le irrigazioni oscillano da circa 30 mm/anno per la rotazione B-F-G-F ai circa 230 mm/anno per S-S-F. L'evapotraspirazione varia da circa 650 per le rotazioni B-F-G-F e B-F-E+M-F a 805 mm/anno per S-S-F.

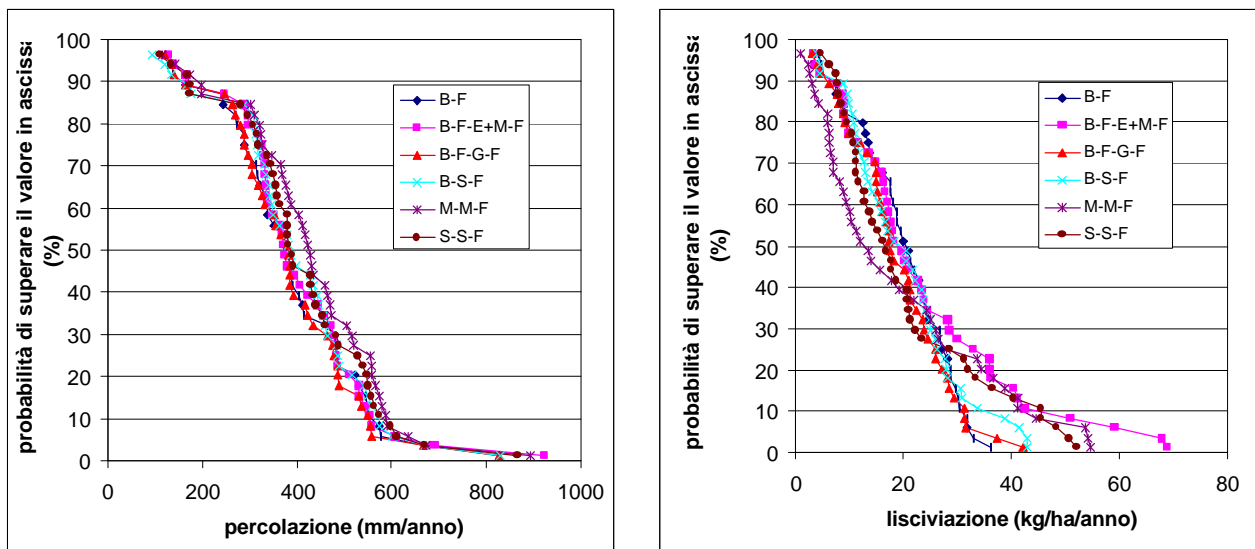


Figura 1. Distribuzioni di probabilità della percolazione di acqua (a sinistra) e della lisciviazione di azoto (a destra) per le simulazioni delle rotazioni con livello "alto" di concimazione ed a capacità di ritenzione idrica elevata.

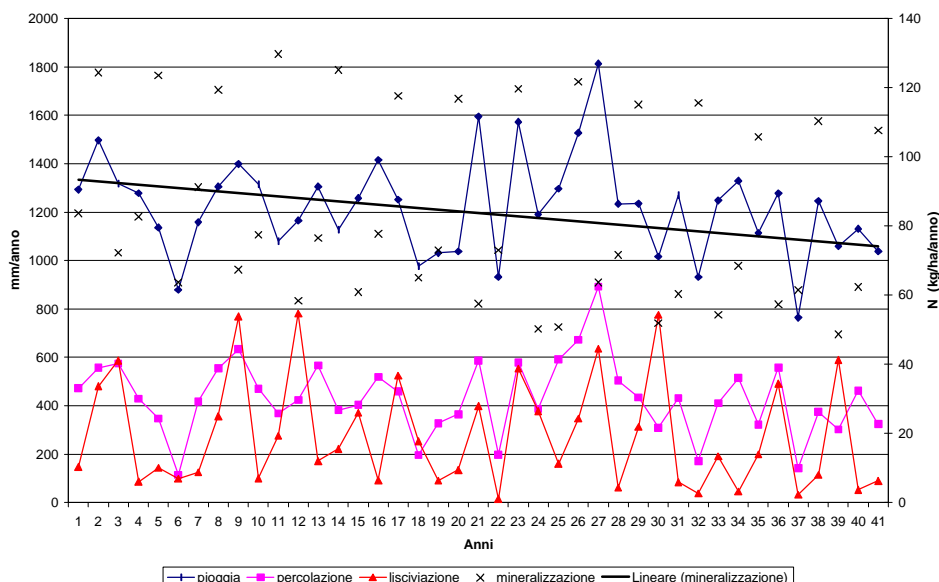


Figura 2. Trend annuali di precipitazioni, percolazione di acqua, lisciviazione di nitrati e mineralizzazione per la rotazione M-M-F a livello "alto" di concimazione ed a capacità di ritenzione idrica elevata.

Un ulteriore esempio della variabilità annuale dei parametri studiati è messa in evidenza nella Figura 2. La linea nera continua indica la tendenza negativa della mineralizzazione totale (humus stabile e mineralizzazione dei residui colturali). Probabilmente gli scenari simulati, nonostante i

livelli produttivi relativamente stabili (Figura 3), non sono in equilibrio e hanno la tendenza a spostarsi verso tenori inferiori di sostanza organica.

La cartografia di base (carta dei suoli e delle pendenze) è riportata nella Figura 4. Le simulazioni sono state eseguite solo sui suoli appartenenti alle classi di pendenza I, II e III.

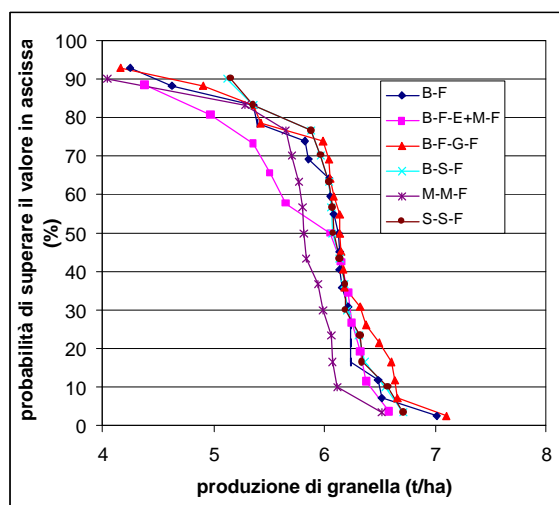


Figura 3. Distribuzioni di probabilità della produzione di granella del frumento per le simulazioni delle rotazioni con livello "alto" di concimazione ed a capacità di ritenzione idrica elevata.

La cartografia derivata per ogni combinazione suolo-rotazione colturale-livello di concimazione (carte della percolazione di acqua e della lisciviazione di azoto), è stata ottenuta associando i risultati delle simulazioni del modello CropSyst con il software GIS ArcView. Un esempio è riportato nella Figura 5 (i valori sono le medie di 40 anni di simulazione).

## Conclusioni

L'uso del modello di simulazione CropSyst associato con il software ArcView per la mappatura dei risultati ha consentito di eseguire una valutazione esplorativa di alcune rotazioni colturali in un ambiente pedoclimatico rappresentativo dell'Italia centrale. I risultati presentati sono ovviamente validi per le rotazioni simulate e per la scala di dettaglio adottata nello studio.

Le simulazioni indicano chiaramente che non è possibile definire le pratiche agricole migliori, in termini ambientali, senza tenere conto della variabilità climatica. Nel caso particolare in esame, date anche le caratteristiche climatiche tipiche di un ambiente semiarido nel periodo estivo, che esaltano i processi di evapotraspirazione, non è stato possibile individuare la rotazione colturale "migliore" in termini assoluti. Ciononostante, anche se la percolazione di acqua per l'area studiata è risultata elevata, i risultati delle simulazioni indicano che la lisciviazione di azoto è molto contenuta come valori medi (da 13 a 29 kg/ha/anno), con punte che nell'esempio discusso della rotazione M-M-F superano di poco i 50 kg/ha/anno ma con probabilità molto bassa (dell'ordine del 10 % dei casi).

Nella versione del modello CropSyst utilizzata nello studio, la concimazione è stata effettuata sulla base di dosi fisse per ogni coltura delle rotazioni, ed è venuta a mancare la definizione di livelli ottimali di concimazione azotata dipendenti dalla dinamica del sistema e dalla componente stocastica del clima. Questo significa anche che, come regola generale, per limitare la lisciviazione di azoto non è realistico fornire consigli di concimazione basati sulla produzione attesa di biomassa o su standard prefissati.

Un miglioramento di questo aspetto delle simulazioni è già possibile con una versione del modello CropSyst successiva a quella utilizzata, che impiega una caratteristica che permette di dosare la concimazione azotata in rapporto alla quantità di nitrati presente nel suolo alla data in cui si effettua la concimazione. L'attivazione della concimazione vincolata come quantità alla presenza

di nitrati nel suolo, può diminuire drasticamente il rischio di lisciviazione anche nei sistemi ad input elevato attuati in suoli superficiali. Quest'ultimo risultato indica che l'uso di modelli fornisce indicazioni utili a minimizzare l'impatto ambientale senza rischiare di penalizzare la potenzialità produttiva.

Le possibilità applicative della metodologia utilizzata, ulteriormente sviluppata e perfezionata, ne suggeriscono l'impiego sia come strumento di pianificazione degli ordinamenti colturali, sia per il dosaggio della concimazione azotata.

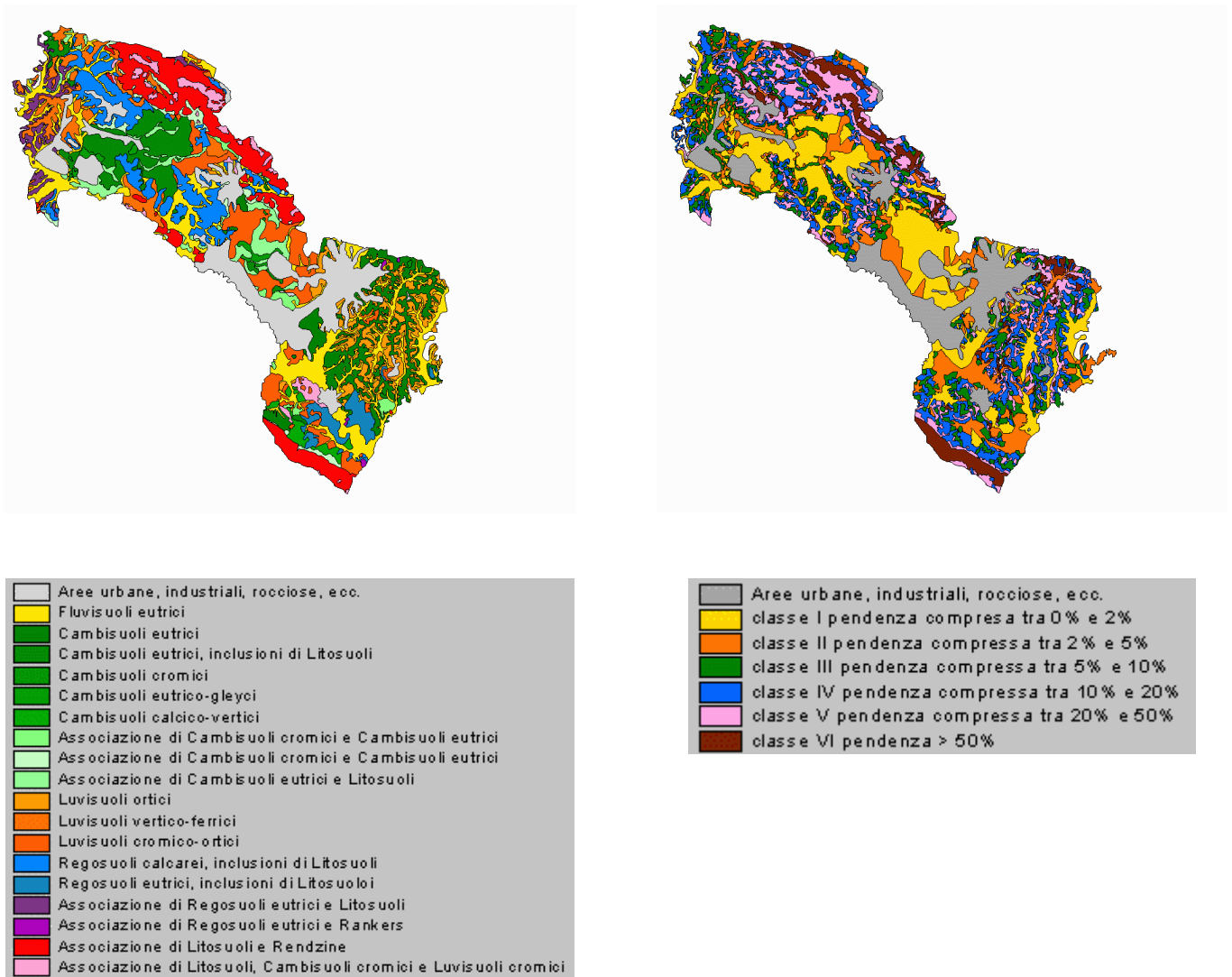


Figura 4. Carta dei suoli (a sinistra) e carta delle pendenze (a destra).

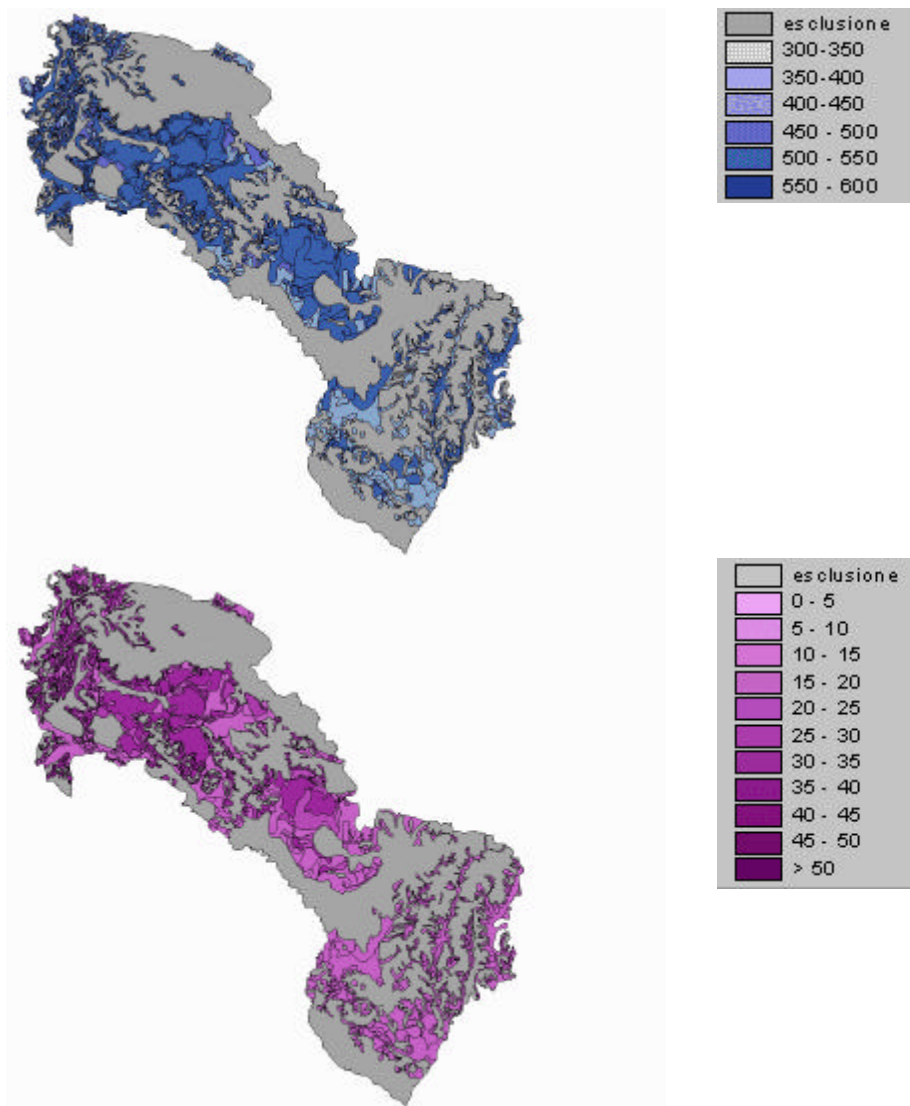


Figura 5. Percolazione (in alto) e lisciviazione di nitrati (in basso) per la rotazione M-M-F a livello "alto" di concimazione.

## Bibliografia

- Aru A., Barbieri G., Baroccu G., Chiarini E., Pani G., Sanna R.M., Uras G., e Vernier A. 1990. Applicazioni di cartografia automatica per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi di Oristano. Proc. I Conv. Nat. "Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: Metodologie, Tecnologie e Obiettivi". Marano sul Panaro 1: 41-60.
- Bellon B. e Gardi C. 1991. Utilizzazione di un sistema informativo per la realizzazione di carte della vulnerabilità ambientale, Boll.Ass. Italiana Cartografia n.83, Todi.
- Donatelli M., Stockle C.O., Nelson R., Francaviglia R. 1998. Evaluating cropping systems in lowland areas of Italy using the cropping systems simulation model CropSyst and the GIS software ArcView. 7th ICCTA Conference, Computer Technology in agricultural management and risk prevention, Firenze, p 114-121.
- Donatelli M. e Campbell G.S. 1998. A model to estimate global solar radiation using daily air temperature. Proceedings of the 5th European Society of Agronomy Congress, Nitra, Slovakia.
- Gardi C. e Vianello G. 1993. Valutazione del grado di vulnerabilità ambientale in funzione dei diversi impatti agricoli ed extragricoli. In: "L'impatto delle agrotecnologie nel bacino del Po", Franco Angeli, Milano.

- Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante - Regione Lazio, Assessorato Agricoltura, Foreste, Caccia e Pesca 1985. Produttività potenziale e classificazione dei terreni. Nota I. Valle del fiume Sacco. Allegati n. 4. Supplemento Annali ISNP, Roma.
- Marcolongo B. e Pretto L. 1987. Vulnerabilità degli acquiferi nella pianura a nord di Piacenza. Pubbl. GNDCI-CNR, no. 28, Edizioni grafiche Erre10, Padova.
- Stöckle C.O. e Donatelli M. 1997. The CropSyst Model: A brief description. In: Plentinger, M.C. & F.W.T. Penning de Vries (Ed.), 1997. Rotation models for ecological farming. CAMASE/PE workshop report. Quantitative Approaches in Systems Analysis No. X. AB-DLO, P.O.Box 14, 6700 AA Wageningen, The Netherlands. p 35-43.
- Stöckle C.O. e Nelson R. 1994. The CropSyst User's manual. Biological Systems Engineering Department, Washington State University, Pullman, WA, USA.
- Stöckle C.O. e Nelson R. 1998. ClimGen, a weather generator program. User's Manual. Biological Systems Engineering Department, Washington State University, Pullman, WA, USA.
- Zavatti A., Grana P., Castagnetti M., e Annovi A. 1992. Carta delle aree di possibile alimentazione delle sorgenti censite nell'Appennino modenese. Scala 1:50000. GNDCI-CNR pubbl.4415, Litofototecnica Barbieri, Parma.