

## **AGROMETEOROLOGIA E GESTIONE DEL TERRITORIO** **Agrometeorology and territorial management**

Luca Bechini e Stefano Bocchi

*Dipartimento di Produzione Vegetale - Facoltà di Agraria*

*Università degli Studi di Milano*

*Email: luca.bechini@unimi.it*

### **Riassunto**

Vengono mostrate alcune applicazioni in cui modelli di simulazione e procedure geostatistiche sono state combinate per effettuare valutazioni agrometeorologiche territoriali. In particolare, si mostra come è stato possibile procedere a stime territoriali della radiazione solare globale, della lisciviazione di nitrati di origine agricola e dei fabbisogni irrigui del mais da granella. Gli esempi proposti si riferiscono ad aree di studio del Nord Italia.

### **Abstract**

*The paper reports some example applications of the combined use of simulation models and geostatistical procedures for regional-scale agrometeorological evaluations. The case studies presented here are referred to Northern Italy and include: global solar radiation estimate, simulation of nitrate leaching and estimate of irrigation water requirements for grain maize.*

### **Introduzione**

I modelli di simulazione dei sistemi colturali rivestono hanno importanza crescente per la possibilità di estrapolare ad un territorio ampio le descrizioni fisiche dei processi già validate a scala più ridotta. La geostatistica consente inoltre di interpolare gli input o gli output dei modelli di simulazione e di dare quindi supporto all'applicazione territoriale dei modelli stessi.

In questa relazione si presentano alcuni esempi di applicazioni agrometeorologiche, sia di tipo pianificatorio (scala spazio-temporale elevata: metodologie che consentono di tenere in considerazione la variabilità climatica di lungo periodo), sia di tipo operativo (scala spazio-temporale ridotta: possibili applicazioni previsionali a breve termine applicate all'agroecosistema). In particolare, l'attenzione sarà centrata sull'analisi dell'interazione del sistema clima-suolo-cultura;

i metodi e i risultati presentati sono ancora preliminari, a causa della complessità e della variabilità dei sistemi studiati.

### **Applicazioni a livello di pianificazione Stima della radiazione solare globale**

La radiazione solare globale è una variabile di grande importanza agrometeorologica, in virtù ad esempio del suo ruolo nella fotosintesi e nel bilancio idrico. Purtroppo, tale variabile è misurata in poche stazioni e per brevi periodi di tempo; esistono quindi validi motivi per sviluppare e calibrare algoritmi di stima della radiazione a partire dalle temperature dell'aria. In letteratura sono numerosi gli approcci di questo tipo (vedi ad es. Bindi e Miglietta, 1991; Brinsfield et al., 1984; Bristow e Campbell, 1984; Donatelli e Marletto, 1994; Donatelli e Campbell, 1998; Elizondo et al., 1994; Hargreaves et al., 1985; Hodges et al., 1985; Hook and McClendon, 1992; Hunt et al., 1998; McCaskill, 1990; Nikolov e Zeller, 1992; Reddy, 1987). Essi sono generalmente basati sul principio fisico che l'escursione termica giornaliera è più alta in giornate di cielo chiaro e diminuisce con la copertura nuvolosa, sia per il minore riscaldamento diurno (è infatti minore l'energia radiante a corta lunghezza d'onda che raggiunge il terreno), sia per la maggiore temperatura minima notturna, dovuta alla più alta emissività delle nuvole rispetto al cielo chiaro.

L'algoritmo da noi applicato è quello proposto da Donatelli e Campbell (1998), che stima la trasmissività atmosferica giornaliera in funzione delle temperature massime e minime giornaliere, e di due coefficienti empirici. Applicato ai dati di radiazione di 29 stazioni dell'Italia settentrionale, il modello ha funzionato in modo molto soddisfacente (Tabella 1).

L'applicazione territoriale del modello è stata effettuata in modi diversi. Da un lato (Ducco et al., 1998) i due coefficienti empirici del modello sono stati stimati a) in base all'escursione termica media annuale e all'escursione termica del mese di luglio e b) con la Trend Surface Analysis, una regressione tra la variabile stimata e le coordinate geografiche X e Y. Entrambi i metodi di stima dei coefficienti empirici hanno fornito errori di previsione della radiazione solare globale sufficientemente contenuti (RMSE = 2.94

MJ m<sup>-2</sup> giorno<sup>-1</sup> nel caso **a** e 3.01 MJ m<sup>-2</sup> giorno<sup>-1</sup> nel caso **b**); essi consentono quindi di applicare il modello anche a stazioni per le quali non si hanno dati di radiazione misurati.

*Tabella 1 - Performance del modello di Donatelli e Campbell (1998) per la stima della radiazione globale. Applicazione a 29 stazioni del Nord Italia*

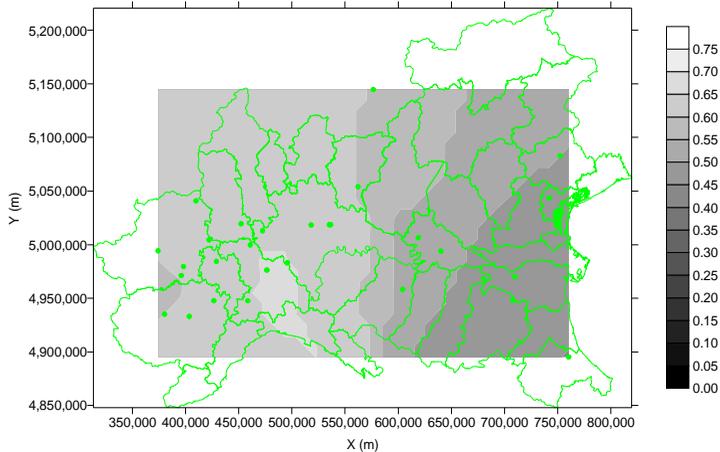
	<b>Pendenza</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>RMSE (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	<b>CRM (-)</b>
Media	0.91	0.88	2.91	0.01
Minimo	0.83	0.79	2.34	-0.01
Massimo	1.01	0.92	3.92	0.05
Deviazione standard	0.04	0.03	0.36	0.02

*L'accordo tra dati osservati e misurati è espresso tramite pendenza ed R<sup>2</sup> della retta di regressione, RMSE (Root Mean Squared Error) e CRM (Coefficiente di Massa Residua: valori vicini a 0 indicano che non c'è né sovrastima né sottostima).*

Un secondo metodo di applicazione territoriale del modello è quello che si ottiene applicando il kriging ordinario nel dominio spaziale o spazio-temporale (Bechini et al., 2000a), interpolando gli input del modello prima di applicarlo ("Interpolare prima, Calcolare dopo" = IC) oppure, viceversa, applicando il modello e successivamente interpolandone gli output ("Calcolare prima, Interpolare dopo" = CI; Stein et al., 1991). Con la procedura IC venivano interpolate le temperature massime e minime, i due coefficienti empirici e la trasmissività atmosferica a cielo chiaro. Con la procedura CI veniva interpolata solo la trasmissività atmosferica reale. In entrambi i casi, l'errore di stima (confrontando i dati calcolati con quelli misurati per un set di dati indipendenti) è risultato sensibilmente maggiore per le procedure IC e CI, rispetto all'applicazione del modello su singola stazione (errore quadratico medio della trasmissività atmosferica pari a 0.006 nel caso di applicazione su singola stazione, e pari a 0.064 e 0.036 per IC e CI rispettivamente). Questo metodo, anche se teoricamente più corretto, si è mostrato meno efficace a causa della

scarsa densità spaziale dei dati disponibili. Il suo sviluppo appare tuttavia interessante quando siano disponibili dati distribuiti nello spazio e nel tempo. Una mappa di trasmissività atmosferica esemplificativa, ottenuta per il 3 settembre 1994 con la procedura CI, è mostrata in figura 1.

*Figura 1 - Stima della trasmissività atmosferica del 3 settembre 1994 nell'Italia settentrionale*



### **Vulnerabilità dei suoli del Parco Agricolo Sud Milano all'inquinamento da nitrati**

L'obiettivo di questa applicazione è la valutazione della vulnerabilità dei suoli di diverse aree del Parco Agricolo Sud Milano all'inquinamento della falda da nitrati di origine agricola. La metodologia, estremamente semplificata, prevedeva l'utilizzo di un modello di simulazione dei sistemi colturali (CropSyst: Stockle e Nelson, 1999) applicato a una gestione agronomica intensiva, uguale per tutta l'area: i risultati ottenuti per le diverse zone indagate possono quindi essere ricondotti alla diversa tipologia pedologica. La gestione agronomica prevedeva l'utilizzo dei reflui zootecnici prodotti da un allevamento bovino (6 capi adulti per ettaro) su un avvicendamento di loglio italo - mais da trinciato. Il modello è stato utilizzato per un periodo molto lungo (35 anni) allo scopo di

valutare gli effetti della variabilità delle condizioni meteorologiche sulla variabile studiata.

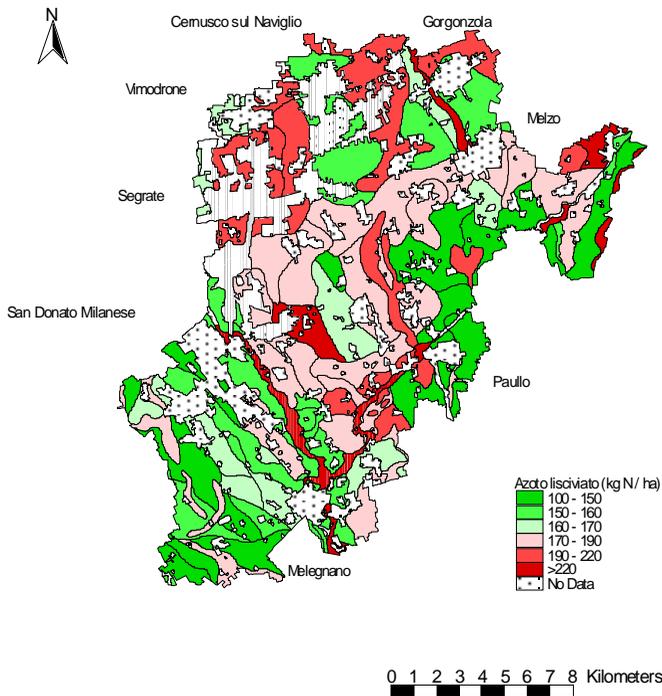
*Figura 2 - Mappa dell'azoto lisciviato per il settore Orientale del Parco Agricolo Sud Milano. Stima condotta con il modello CropSyst*

### Parco Sud Milano - Settore Orientale

### Risultati della simulazione pluriennale loglio italico - mais da trinciato

Liquami distribuiti per il 60% su mais e il 40% su loglio. Irrigazione per scorrimento. Risultati annuali

Azoto lisciviato (valore medio)



In figura 2 è rappresentata una mappa della media dell'azoto lisciviato nell'area in studio. Si possono notare i valori più elevati nell'area settentrionale (suoli non idromorfi, ben drenati) e i valori più ridotti per i suoli su sedimenti sabbiosi senza scheletro nell'area orientale. Una simulazione condotta utilizzando l'irrigazione per aspersione invece di quella a scorrimento ha mostrato una evidente riduzione dei volumi di acqua drenata dal profilo. Nell'ambito del progetto SITPAS (Sistema Informativo Territoriale per il Parco Agricolo Sud Milano) si stanno ora raccogliendo dati di dettaglio molto maggiore sull'uso del suolo, le agrotecniche e gli allevamenti, che consentiranno di effettuare una stima della vulnerabilità reale, applicando una metodologia simile a quella mostrata.

### **Stima dei fabbisogni irrigui**

Nell'area di studio del Sud Milano l'acqua irrigua è spesso di cattiva qualità, a causa della vicinanza della metropoli. Può essere quindi interessante valutare, a scopo pianificatorio, quale è il fabbisogno di acqua irrigua di certe combinazioni suolo-coltura; a titolo di esempio, con il modello CropSyst è stata simulata per 10 anni una coltura di mais da granella e se ne sono calcolati per ogni anno i fabbisogni irrigui. I parametri idrologici del terreno sono stati stimati sulla base dei dati di tessitura, in un caso utilizzando i valori medi di sabbia, limo e argilla riportati dalla carta pedologica, nell'altro interpolando con il kriging ordinario i valori misurati in campionamenti georeferenziati dello strato arato condotti a supporto della stesura di piani di concimazione. I risultati sono stati mediati per il decennio e confrontati (Bechini et al., 2000b).

Le differenze tra le metodologie impiegate non sono generalmente evidenti né per i valori medi dei fabbisogni di acqua irrigua per ogni tipologia pedologica né per la loro variabilità temporale. La procedura basata sulla geostatistica fornisce in aggiunta una stima della variabilità spaziale della variabile studiata all'interno di ogni unità cartografica; tuttavia, tale valore è di circa un ordine di grandezza inferiore rispetto alla variabilità temporale. Nelle figure 3 e 4 sono mostrati degli esempi di mappe del fabbisogno idrico stimato con le due metodologie.

Figura 3 - Stima del fabbisogno idrico del mais da granella nel Sud Milano, sulla base dei dati della carta pedologica (1 risultato per unità cartografica)

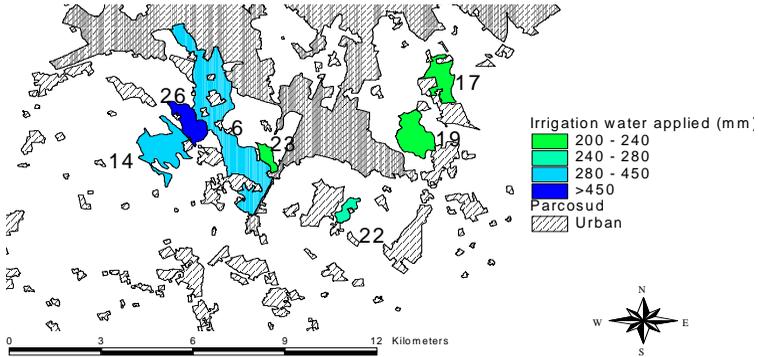
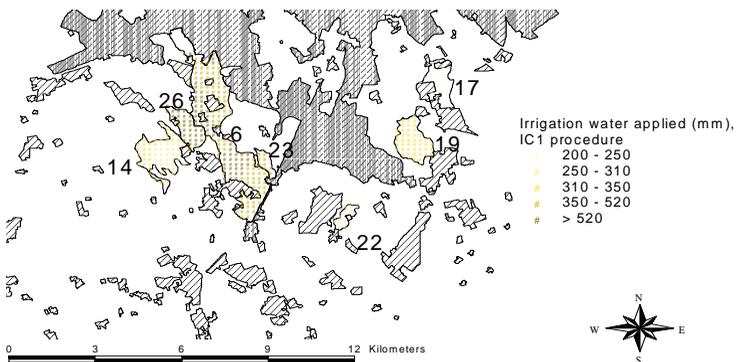


Figura 4 - Stima del fabbisogno idrico del mais da granella nel Sud Milano, sulla base di analisi dei terreni georeferenziate (più risultati per unità cartografica)



## **Altre applicazioni**

### Altri esempi di possibili applicazioni

- quella proposta da Mariani su rischio climatico e lavorabilità dei suoli (stima dei giorni in cui i terreni sono lavorabili in base al contenuto idrico; erano assunti come giorni lavorabili quelli nei quali il contenuto idrico del terreno fosse inferiore alla capacità di campo);
- quelle che potrebbero essere sviluppate per pianificare il corretto dimensionamento del parco macchine (ad esempio per i contoterzisti), con l'obiettivo da un lato di poter intervenire con terreno in tempera e dall'altro di non possedere un numero eccessivo di macchine;
- quelle per impostare o rivisitare sistemi colturali (es. la gestione delle operazioni di raccolta e la simulazione della biomassa e delle proteine prodotte potrebbero essere confrontate per una rotazione di loglio italo-mais e per una rotazione di un cereale vernino-mais), ricordando che i vincoli sono relativi allo stadio di sviluppo in cui deve avvenire la raccolta delle colture, e all'andamento climatico che condiziona l'eventuale permanenza in campo del foraggio tagliato prima della raccolta.

### Esempi di applicazioni a livello operativo

Come riportato da Craveri et al. (1999), nell'ambito del progetto SIC il Servizio Agrometeorologico dell'Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia (ERSAL-SAR), in collaborazione con i servizi agrometeorologici di Emilia, Veneto e Friuli, produce delle previsioni di resa del mais da granella utilizzando il modello CropSyst, per la Lombardia, il Veneto e l'Emilia-Romagna. Le previsioni di resa per il 1999 (espresse come variazioni percentuali rispetto al 1998) erano in accordo con i dati reali.

L'ERSAL-SAR ha anche emesso, nel corso degli inverni 1998-1999 e 1999-2000 (periodo 15 dicembre - 28 febbraio), un bollettino di orientamento alla distribuzione dei liquami zootecnici, basato su previsioni meteorologiche a breve termine. In sintesi il bollettino,

emesso quotidianamente, conteneva l'indicazione sulla possibilità di spandimento per i cinque giorni successivi al giorno di emissione. I vincoli contenuti erano basati sulle previsioni di precipitazione per i giorni successivi al giorno di emissione, valutando la possibilità di interrare i reflui zootecnici con un'aratura. In particolare, lo spandimento veniva considerato ammesso in periodi di almeno 3 giorni consecutivi in cui non erano previste precipitazioni significative.

### **Conclusioni**

Si è mostrato che i modelli di simulazione e la geostatistica possono essere combinati per valutare scenari diversi. Gli approcci proposti possono essere ulteriormente migliorati e resi più aderenti alla realtà, attraverso una migliore conoscenza del territorio (raccolta di dati puntuali georeferenziati, conoscenza dell'uso del suolo e dei sistemi agro-zootecnici), attraverso un opportuno sviluppo di modelli che consentano di simulare più processi e attraverso un miglioramento delle procedure di interpolazione spaziale dei dati (geostatistica).

### **Bibliografia**

- Bechini, L., 1999. Utilizzo di un GIS e 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.
- Bechini, L., Ducco, G., Donatelli, M., Stein, A., 2000a. Modeling, interpolation and stochastic simulation in space and time of global solar radiation. *Agriculture, Ecosystems and Environment (in corso di stampa)*.
- Bechini, L., Bocchi, S., Maggiore, T., 2000b. Spatial interpolation of soil physical properties for irrigation planning. A case study in northern Italy (*inviato all'European Journal of Agronomy*).
- Bindi, M., Miglietta, F., 1991. Estimating daily global solar radiation from air temperature and rainfall measurements. *Climate Research* 1, 117-124.
- Brinsfield, R., Yaramanoglu, M., Wheaton, F., 1984. Ground level solar radiation prediction model including cloud cover effects. *Solar Energy* 33, 493-499.
- Bristow, R.L., Campbell, G.S., 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agriculture and Forest Meteorology* 31, 159-166.

- Craveri, L., Mariani, L., Russo, M., 1999. Previsione delle rese di mais in pianura padana. *AIAM News*, 4, p. 4.
- Donatelli, M., Campbell, G.S., 1998. A Simple Model to Estimate Global Solar Radiation. In: *Proceedings of the 5th Congress of the European Society for Agronomy*, Nitra, Slovak Republic, pp. 133-134.
- Donatelli, M., Marletto, V., 1994. Estimating surface solar radiation by means of air temperature, In: *Proceedings of the 3rd Congress of the European Society for Agronomy*, Padova, Italy, pp. 352-353.
- Ducco, G., L. Bechini, M. Donatelli, V. Marletto, 1998. Estimation and spatial interpolation of global solar radiation in the Po valley, Italy, 5th ESA Congress - Nitra, Slovakia.
- Elizondo, D., Hoogenbom, G., McClendon, R.W., 1994. Development of a neural network to predict daily solar radiation. *Agricultural and Forest Meteorology* 71, 115-132.
- Hargreaves, G.L., Hargreaves, G.H., Riley, J.P., 1985. Irrigation water requirements for Senegal River Basin. *Journal of Irrigation & Drainage Engineering* 111, 265-275.
- Hodges, T., French, V., LeDuc, S., 1985. Estimating solar radiation for plant simulation models. *AgRISTARS Tech. Rep. JSC-20239; YM-15-00403*.
- Hook, J.E., McClendon, R. W., 1992. Estimation of solar radiation data missing from long-term meteorological records. *Agronomy Journal* 88, 739-742.
- Hunt, L. A., Kuchar, L., Swanton, C.J., 1998. Estimation of solar radiation for use in crop modelling. *Agricultural and Forest Meteorology* 91, 293-300.
- McCaskill, M.R., 1990. Prediction of solar radiation from rainy day information using regionally stable coefficients. *Agricultural and Forest Meteorology* 51, 247-255.
- Nikolov, N.T., Zeller, K.F., 1992. A solar radiation algorithm for ecosystem dynamic models. *Ecological Modelling* 61, 149-168.
- Reddy, S.J., 1987. The estimation of global solar radiation and evaporation through precipitation - a note. *Solar Energy* 38, 97-104.
- Stein, A., Staritsky, I.G., Bouma, J., van Eijnsbergen, A.C., Bregt, A.K., 1991. Simulation of Moisture Deficits and Areal Interpolation by Universal Cokriging. *Water Resources Research* 27, 1963-1973.
- Stockle, C.O., Nelson, R.L., 1999. *CropSyst User's Manual*. Biological Systems Engineering Department, Washington State University, Pullman, WA, USA