

I MODELLI DI PRODUTTIVITÀ E DI BILANCIO IDRICO IN AGROMETEOROLOGIA: ASPETTI GENERALI

di Luigi Mariani

Presidente dell'AIAM

Dirigente ERSAL - Servizio Agrometeorologico della Lombardia
[e_mail: mariani_volpi@iol.it](mailto:mariani_volpi@iol.it)

Riassunto

I modelli matematici sono classici strumenti dell'agrometeorologo, progettati e realizzati sulla base di un set di algoritmi che ci vengono dall'agronomia, dalla micrometeorologia, dalla fisiologia dei vegetali, dalla fitopatologia, dalla pedologia ecc.

Tema specifico di questo workshop sono alcuni modelli deterministici di simulazione dinamica (modelli di bilancio idrico e di produttività delle colture). Il sistema di riferimento per tali modelli è l'agro - ecosistema, i cui principali sottosistemi sono suolo, copertura vegetale e strato limite atmosferico.

Nel caso dei modelli deterministici di simulazione dinamica l'approccio algoritmico standard è stato definito molti anni orsono e stabilisce che le variabili (quantità che variano con il tempo) siano classificate nelle quattro categorie di variabili di stato, v. di flusso, v. guida e v. ausiliarie. In estrema sintesi lo stato del sistema è completamente definito dalle v. di stato ed il passo temporale del modello è adottato in modo che il tasso di variazione delle v. di stato sia pressoché costante in tale intervallo.

E' poi importante sottolineare il rilievo che hanno i sistemi informativi geografici (GIS) e un approccio di tipo geostatistico nell'estensione dei risultati dei modelli ad un dato territorio.

Abstract

Mathematical models are classical agrometeorological tools designed and implemented on the basis of a set of algorithms describing processes coming from agronomy, micrometeorology,

plant physiology and plant ecology, phytopatology, soil science, etc.

The specific themes of this workshop are some dynamic deterministic models (water balance models and crop models) working on a reference system given by the agro - ecosystem, whose main subsystems are soil, crop and atmospheric boundary layer.

In the case of dynamic deterministic models the standard algorithmic approach was defined many years ago and states that the considered variables are quantities that change during time and can be classified under the four categories of state, rate, auxiliary and driving variables. The state of the system at a given point of time is completely defined by state variables and the time step of the model is adopted under the assumption that the rate of change of state variables is nearly constant during this time interval.

Moreover we can outline the necessity of a GIS approach to the information layers involved in crop simulation modelling (i.e. meteorological fields, soil maps, administrative units) in order to delineate and manage the Elementary Mapping Units.

Furthermore we can outline the importance of a geostatistical approach to process crop model variables for a realistic analysis of the spatial variability of cropping system in a given territory.

Generalità

Le tecniche modellistiche sono utilizzate ormai da oltre mezzo secolo nei settori della fisica e dell'ingegneria (Finzi, 1939) e negli ultimi decenni il loro uso si è fatto massiccio anche nelle scienze agrarie ed in agrometeorologia.

Se l'approccio algoritmico standard appare ben consolidato e ben documentato in bibliografia (de Wit, 1978; Brockington, 1979) può essere comunque conveniente fornire alcune sintetiche definizioni.

Il **modello** è una rappresentazione semplificata di un **sistema** e cioè di una porzione della realtà che contiene elementi fra loro interrelati e che al contempo è abbastanza semplice da essere

rappresentata con un modello. In particolare un **modello matematico** è costituito da una o più equazioni che rappresentano il comportamento del sistema e la **simulazione** è l'arte di costruire modelli matematici.

I modelli matematici possono essere classificati secondo vari criteri: ad esempio in base al tipo di risultato parleremo di **modelli stocastici** e **modelli deterministici**, con questi ultimi che, al contrario di quelli stocastici, forniscono un risultato preciso senza una associata distribuzione di probabilità.

In base alla capacità di descrivere il sistema parleremo di **modelli empirici** e **modelli meccanicistici** mentre in base alla presenza o meno della variabile tempo parleremo di **modelli statici** e **modelli dinamici**.

I **modelli dinamici di simulazione** rappresentano una delle punte avanzate della scienza modellistica ed in particolare sono dotati non solo di potenzialità descrittive ma anche predittive.

In tali modelli le variabili considerate rientrano in 4 categorie:

- **le variabili di stato**, che definiscono lo stato del sistema in un dato istante. Tali variabili sono in genere quantità (es: masse, energie) ed in prima istanza sono le sole variabili che restano misurabili allorché il tempo è fermo (... nel castello della bella addormentata);
- **le variabili di flusso** e cioè i "rubinetti" che regolano i flussi di materia ed energia fra le variabili di stato. Si tratta in genere di quantità per unità di tempo;
- **le variabili guida** e cioè quelle variabili che influenzano il sistema senza esserne influenzate (es: vari parametri meteorologici quali le precipitazioni o la radiazione solare);
- **le variabili ausiliarie** e cioè le variabili aggiuntive che migliorano il grado di descrizione del sistema da parte del modello.

La risoluzione dei modelli dinamici avviene di norma attraverso una **integrazione per passi successivi** ed il passo temporale del modello dev'essere scelto in modo conveniente, sia rispetto ai

dati di base che alle caratteristiche del sistema che si è chiamati a modellizzare.

In sintesi il passo temporale del modello deve essere adottato in modo tale che il tasso di cambiamento delle variabili di stato sia all'incirca costante durante l'intervallo di tempo prescelto.

L'agrometeorologia e i modelli di simulazione

Il campo d'elezione della modellistica agrometeorologica (Yao, 1981, WMO, 1983, Decker, 1985) è costituito dal sistema suolo - copertura vegetale - atmosfera e fondamentale è l'interazione del modellista con le conoscenze tipiche delle discipline che indagano le singole componenti di tale sistema. E nel caso del sottosistema suolo gli interlocutori d'elezione possono essere ad esempio pedologi e idrologi (JRC, 1996, King et al., 1995) mentre per il sottosistema copertura vegetale sono coinvolte competenze di tipo agronomico, ecofisiologico (Larcher, 1983), fitopatologico, entomologico, ecc. ed infine per il sottosistema atmosfera sono cruciali le competenze legate alla fisica dell'atmosfera ed in particolare alla micrometeorologia (Geiger, 1997).

La modellistica agrometeorologica ha fin qui trovato applicazione ad un ampio set di problemi, come appare evidente dall'analisi della tabella 1, la quale evidenzia anche i dati in input richiesti e la scala di elezione dei modelli.

Gli scopi del workshop

Abbiamo pensato di dedicare la giornata ai modelli di bilancio idrico e di produttività delle colture poiché costituiscono due dei principali pilastri su cui si reggono oggi le applicazioni agrometeorologiche operative. L'agrometeorologia è da tempo impegnata nella messa a punto di strumenti in grado di garantire un uso razionale delle risorse idriche tanto a livello di azienda agraria (approccio puntuale) che di consorzio di bonifica (approccio territoriale).

Tabella 1 - esempi di modelli agrometeorologici

MODELLO	SCOPO	DATI DI BASE			
		Suolo	Meteo	Cultura	Altri
<i>Fenologico</i>	<i>stima e previsione fasi fenologiche</i>	<i>(si)</i>	<i>si</i>	<i>si</i>	
<i>di Bilancio idrico</i>	<i>stima e previsione esigenze idriche colturali</i>	<i>si</i>	<i>si</i>	<i>si</i>	
<i>di Produttività vegetale</i>	<i>stima e previsione produzione colture</i>	<i>si</i>	<i>si</i>	<i>si</i>	
<i>di produttività animale</i>	<i>stima e previsione produzioni animali (latte, carne...)</i>		<i>si</i>		<i>si</i>
<i>di valutazione del rischio climatico</i>	<i>rischi per colture e operazioni colturali</i>	<i>(si)</i>	<i>si</i>	<i>(si)</i>	
<i>Fitosanitari</i>	<ul style="list-style-type: none"> <i>stima e previsione delle fasi del ciclo di parassiti animali e vegetali e dei danni alle colture</i> 	<i>(si)</i>	<i>si</i>	<i>si</i>	
<i>Zoosanitari</i>	<ul style="list-style-type: none"> <i>stima e previsione delle fasi del ciclo di parassiti e dei danni</i> <i>stima del pericolo di epidemie</i> 	<i>(si)</i>	<i>si</i>		<i>si</i>
<i>Incendi</i>	<i>stima e previsione del rischio di</i>	<i>si</i>	<i>si</i>		<i>Si</i>

	<i>incendi boschivi</i>				
<i>Gelate</i>	<i>stima del rischio di gelate e previsione del minimo termico notturno</i>	<i>si</i>	<i>si</i>		
<i>Energie</i>	<i>stima possibilità di impiego di energia eolica e solare</i>		<i>si</i>		
<i>Inquinanti acqua/aria</i>	<i>stima e previsione dispersione inquinanti</i>	<i>si</i>	<i>si</i>	<i>(si)</i>	<i>si</i>

Legenda: T = scala territoriale , P = sul singolo punto (singolo campo)

La stima dei consumi idrici delle colture ha una storia ormai lunga. Dalle classiche esperienze di determinazione dei consumi idrici stagionali delle colture dei primi decenni del secolo (in Italia ricordiamo i lavori di Manzoni e Puppo) siamo passati negli anni 40 e 50 all'approccio innovativo di Penman e Thornthwaite basato sul concetto di evapotraspirazione potenziale per giungere poi negli anni '70 agli approcci pragmatici che vedono la loro sintesi nei quaderni FAO di irrigazione e drenaggio (Doorembos & Pruitt, 1979).

In parallelo, anche se più spesso limitate all'ambito della ricerca, procedevano le esperienze di tipo micrometeorologico basate sulla stima degli elementi dell'equazione del bilancio energetico di superficie (i lavori di Bowen sono degli anni '20).

La modellistica di simulazione dinamica dello sviluppo e della produzione dei vegetali è oggi profondamente influenzata da alcune scuole (in particolare quella statunitense e quella olandese) che costituiscono l'elemento trainante a livello mondiale.

La modellistica di produttività poggia su alcuni concetti cardine, uno dei quali è quello di **produzione potenziale** (de Wit, 1978) definibile come la produzione di sostanza secca da parte di un vegetale che per l'intero periodo di crescita, è rifornito in modo

ottimale di acqua e nutrienti e non subisce interferenze da parte di malerbe, parassiti e patogeni.

Lo sviluppo di modelli per la stima della produzione potenziale è possibile descrivendo lo sviluppo di una particolare specie e cultivar sulla base dei fattori meteorologici (in particolare temperatura e radiazione) e indicando le associate quote di ripartizione della sostanza secca fra i vari organi del vegetale (fusto, radici, foglie, organi di riserva).

Il principio di una tale procedura è lo svolgimento di sequenze di calcolo per la stima dei processi fisiologici di rilievo (quali l'assimilazione e la respirazione) ad iniziare da quando lo stato della coltura - peso delle radici, del fusto e delle foglie - può essere descritto in termini quantitativi (per le erbacee di solito si parte dall'emergenza o dal trapianto).

In termini molto generali ad ogni passo del modello p e per ogni quantità Q considerata viene risolta la seguente equazione:

$$Q(t+dt)=Q(t)+Rq*dt$$

dove:

Q = quantità vista rispettivamente al tempo t e $t+dt$ (Q è una variabile di stato);

Rq = tasso di variazione di Q nel tempo dt (Rq è una variabile di flusso).

I calcoli sono svolti fino alla fine del ciclo produttivo della coltura e per ogni passo del modello viene ricavato il peso dei diversi organi della pianta.

Per passare poi dalla produzione potenziale alla **produzione reale** occorre tenere sotto controllo quanto meno il **bilancio idrico** (*lupus in fabula...*) ed il **bilancio dei nutrienti** tramite appositi modelli che consentono di evidenziare eventuali carenze o eccessi di acqua o nutrienti e le relative ripercussioni sulla coltura.

Pertanto il modello di produttività viene ad essere composto da un modello di coltura, da un modello di bilancio dei nutrienti e da un modello di bilancio idrico; a tali tre modelli fondamentali

potranno poi affiancarsi modelli in grado di valutare ad esempio l'effetto delle malerbe, dei parassiti e dei patogeni.

E' ovvio che buoni modelli di produttività sono frutto del lavoro di buoni modellisti ma sono fortemente influenzati dalla disponibilità di dati di input (parametri fisici e biologici) di buona qualità. Tali dati sono infatti molto utili tanto per la messa a punto dei modelli (calibrazione e validazione) che nel corso dell'impiego operativo dei modelli stessi.

E qui viene spontaneo sottolineare l'importanza di mantenere e valorizzare le reti osservative dei parametri fisici (reti meteorologiche) e di quelli biologici (reti agrofologiche), mettendo inoltre a frutto il patrimonio di dati offerto dalle moderne tecnologie di telerilevamento.

Non scordiamo infine che l'utilità dei risultati dei modelli di simulazione per un dato territorio diviene elevata a condizione che l'approccio modellistico di simulazione venga integrato da un approccio basato su sistemi informativi geografici (GIS) agli strati informativi coinvolti nella simulazione (es: campi meteorologici, mappe pedologiche, unità amministrative, ecc.) in modo da giungere a delineare e a gestire le Unità cartografiche elementari. E in tale quadro è altresì cruciale l'applicazione di tecniche di tipo geostatistico all'elaborazione delle variabili puntuali in modo da ridurre l'errore compiuto nella valutazione della variabilità spaziale dei parametri oggetto di studio.

Riferimenti bibliografici

Boons-Prins, E.R., G.H.J. de Koning, C.A. van Diepen and F.W.T. Penning de Vries, 1993. *Crop specific simulation parameters for yield forecasting across the European Community*, Simulation Reports CABO-TT, no. 32, DLO - Centre for Agrobiological Reserach, DLO - Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands.

Brockington, N.R., 1979. *Computer modelling in agriculture*. Oxford Univ. Press, Oxford.

- Chiarappa L. (editor), 1981. *Crop loss assessment methods*, CAB-FAO, Page Bros, Norwich (UK).
- Choisnel E., de Ville O., 1992. *Une approche uniformisee du calcul de l'evapotranspiration potentielle pour l'ensemble des Pays de la Communaute Europeenne*, Joint Research Centre, Report EUR 14223 FR.
- Decker W.L., 1985. *Agriculture*, in Handbook of applied meteorology, D.H. Houghton (edited by), John Wiley & Sons, New York.
- de Wit C.T., 1978. *Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops*, PUDOC Wageningen, the Netherlands.
- Donatelli. M., Acutis M., Laruccia N., 1996. *Evaluation of methods to estimate soil water content at field capacity and wilting point*. Proc. 4th European Society of Agronomy Congress, Veldhoven, The Netherlands, 86-87.
- Doorembos J., Pruitt W.O., 1979, *Guidelines for predicting crop water requirements*. Irrigation and Drainage paper 33, FAO, Roma.
- Finzi B., 1939. *Notizie sui modelli*. in Periodico di Matematiche, serie IV, vol. XIX, n.4, ott. 1939, N.Zanichelli, Bologna.
- France J., J.H.M. Thornley, 1984. *Mathematical models in agriculture*. Butterworths, London.
- Geiger R., Aron R.H., Todhunter P., 1997. *The climate near the ground*, (fifth edition), Vieweg, Braunschweig, Weisbaden.
- Joint WMO/EPPO, NAPPO, 1991. *Symposium on practical applications of agrometeorology in plant protection*, Florence (IT), 1990-12-04/07. In Bulletin OEPP, Sept. 1991, Blackwell Scientific Publications.
- JRC, 1994 (a). *System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS*, vol. 1 – theory and algorithms, Supit I., Hooijer A.A., van Diepen C.A. (edited by), Joint Research Centre, Report EUR 15956 EN.
- JRC, 1994 (b). *The MARS project, overview and perspectives* (proceedings of the Conference), Villa Carlotta, Belgirate, 17-18 November 1993, Joint Research Centre, Report EUR 15599 EN.

- JRC, 1995. *Early crop assessment of the EU countries: the system implemented by the Joint Research Centre*, P.Vossen and D.Rijks (edited by) , Joint Research Centre, Report EUR 16318 EN.
- JRC, 1996. *Soil geographical database for Europe at scale 1:1.000.000 Versione 3.1 beta*. European Community - JRC - European Soil Bureau.
- Hatfield J.L., Thomason I.J., 1982. *Biometeorology in integrated pest management*, Academic Press,
- King, D., Burrill, A., Daroussin, J., Le Bas, C., Tavernier, R., van Ranst, E., 1995: *The EU Soil Geographic Database, European Land Information Systems For Agro-Environmental Monitoring*, Eur 16232 EN, pp 43-60
- Larcher W., 1983. *Physiological plant ecology*, Springer Verlag, Berlin.
- Narciso G., Ragni P., Venturi A., 1992. *Agrometeorological aspects of crops in Italy, Spain and Greece (a summary review for common and durum wheat, barley, maize, rice, sugar beet, sunflower, soya bean, rape, tobacco, cotton, olive and grape crops)*, Joint Research Centre, Report EUR 14124 EN.
- Ndlovu, L.S., 1994. *Development and evaluation of a weather generator for crop simulation models*. Ph. D. Dissertation, Department of Biological Systems Engineering, Washington State University, Pullman, Washington.
- Oerke E.C., Dehne H.W., Schoenbeck F., Weber A., 1994. *Estimated losses in major food and cash crops*. In *Crop production and crop protection*, Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Pedgley D.E., 1982. *Windborne pests and diseases*, John Wiley & Sons, New York.
- Riou C., 1995. *The effect of climate on grape ripening: application to the zoning of sugar content in the EC*, Joint Research Centre, Report EUR 15863 FR/EN.
- Russel G., 1990. *Barley knowledge base*, Joint Research Centre, Report EUR 13040 EN.

- Russel G., Wilson G.W., 1994. *An agro – pedo - climatological knowledge base of wheat in Europe*, Joint Research Centre, Report EUR 15789 EN.
- WMO, 1980. *Guide to meteorological instruments and methods of observation*, WMO n. 8, Geneva.
- WMO, 1983. *Guide to agricultural meteorological practices*, WMO n. 134, Geneva.
- Yao A.Y.M., 1981. *Agricultural climatology*. In world survey climates, vol 3, General Climatology, H.E.Landsberg (edited by), Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.

STIMA DEL BILANCIO IDRICO A DIVERSE SCALE SPAZIALI E TEMPORALI

di Francesca Ventura

Dipartimento di Agronomia, Università di Bologna

[e mail: fventura@pop.agrsci.unibo.it](mailto:fventura@pop.agrsci.unibo.it)

Riassunto

Il bilancio idrico è uno strumento efficace a diverse scale, sia spaziali che temporali, per ottenere stime del deficit o del surplus idrico, che permettono a livello territoriale la gestione delle acque allo scopo di prevenire o ridurre i danni legati a nubifragi e inondazioni o per una migliore gestione delle acque, e a livello aziendale per migliorare l'efficienza irrigua e conseguentemente le rese produttive. In questo lavoro vengono presentate e confrontate tra loro le più conosciute tecniche di misura ed equazioni di stima dei termini del bilancio, e ne vengono indicati i limiti. Tra tutti i termini i più interessanti e difficili da misurare o stimare sono l'umidità del terreno e l'evapotraspirazione. Dalla modalità scelta per la loro misura o stima dipendono strettamente sia la validità spaziale che quella temporale del risultato.