



Cereti, Carlo Fausto; Miglietta, Francesco; Bullitta, Pietro; Cavallero, Andrea; Santilocchi, Rodolfo; Talamucci, Paolo; Ziliotto, Umberto (1987) *Modello empirico semplificato della produzione di pascoli e prati-pascoli artificiali e possibilità di previsione dell'andamento produttivo*. Rivista di agronomia, Vol. 21 (2), p. 103-110. ISSN 0035-6034.

<http://eprints.uniss.it/4637/>

RIVISTA DI

AGRONOMIA

ANNO XXI - N. 2 - APRILE-GIUGNO 1987



Consiglio Direttivo:

SALVATORE FOTI - Presidente
GIUSEPPE RIVOIRA - Vice Presidente
FRANCO LORENZETTI - Membro
FERDINANDO PIMPINI - Membro
ATTILIO LOVATO - Segretario tesoriere

© 1987 Edagricole S.p.A.

Direzione: Istituto di Agronomia dell'Università di Perugia - Borgo XX Giugno - 06100 Perugia - *Redazione, Pubblicità, Abbonamenti, Amministrazione:* Via Emilia Levante, 31 - 40139 Bologna - Tel. 051/49.22.11 (10 linee) - Telegrammi e Telex: EDAGRI 510336 Telefax (051) 493660. Cas. Post. 2157-40139 Bologna - Ufficio di Milano: 20133 - Via Bronzino 14 - Tel. 02/222.840-222.864 - Ufficio di Roma: 00187 - Via Boncompagni 73 - Tel. 06/461.098-475.12.40.
Direttore responsabile: Prof. Francesco Bonciarelli - Reg. Tribunale di Bologna n. 3236 del 12-12-1966 - In questo numero la pubblicità non supera il 70%. *Abbonamenti e prezzi Italia* (c/c postale 366401): Abbonamento annuo L. 36.000 - Un numero L. 9.000 - Arretrati: il doppio - Annate arretrate L. 52.000 - *Estero:* Abbonamento annuo L. 48.000 - Con spedizione via aerea L. 70.000 - *Rinnovo abbonamenti Italia:* Attendere l'avviso che l'Editore farà pervenire un mese prima della scadenza. In mancanza di comunicazioni dell'abbonato verrà inviato, alla scadenza, un c/assegno per l'importo dell'abbonamento annuo. Per Enti e Ditte che ne facciano richiesta l'avviso verrà inoltrato tramite preventivo - *Escluso da IVA ai sensi dell'Art. 2 del D.P.R. 26/10/'72 nr. 633.* La ricevuta di pagamento del conto corrente postale è documento idoneo e sufficiente ad ogni effetto contabile e pertanto non si rilasciano fatture.
Tutti i diritti sono riservati: nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, memorizzata o trasmessa in nessun modo o forma, sia essa elettronica, elettrostatica, fotocopia, ciclostile, senza il permesso scritto dell'Editore.

Stampato dalla TIBERGRAPH s.r.l. - Città di Castello (Perugia).

A cura della Società Italiana di Agronomia
col Contributo finanziario del Consiglio Nazionale delle Ricerche

Comitato scientifico e direttivo:

ANGELO CALIANDRO
GIUSEPPE LA MALFA
RENZO LANDI
FRANCO LORENZETTI
ENRICO MOSCHINI
PAOLO PARRINI
GIOVANNI TODERI
PAOLO TALAMUCCI

Direttore responsabile: FRANCESCO BONCIARELLI

Segretario di redazione: ROBERTO ANDERLINI

Numero dedicato all'Incontro scientifico del Gruppo Nazionale di Coordinamento FAAPE-SIA sugli «Orientamenti agronomici dell'organizzazione di sistemi foraggeri basati su pascoli e prati-pascoli (Roma, 21 novembre 1985)

S O M M A R I O

- 81 Le motivazioni di ricerca su sistemi foraggeri e l'articolazione delle prove del gruppo nazionale di coordinamento FAAPE
Paolo Talamucci
- 91 Analisi dell'accrescimento e produzione di pascoli e prati-pascoli artificiali di diversa precocità in sei ambienti italiani
Umberto Ziliotto, Pietro Bullitta, Andrea Cavallero, Carlo Fausto Cereti, Carlo Grignani, Francesco Miglietta, Rodolfo Santilocchi e Paolo Talamucci
- 103 Modello empirico semplificato della produzione di pascoli e prati-pascoli artificiali e possibilità di previsione dell'andamento produttivo
Carlo Fausto Cereti, Francesco Miglietta, Pietro Bullitta, Andrea Cavallero, Rodolfo Santilocchi, Paolo Talamucci e Umberto Ziliotto
- 111 Individuazione di sistemi foraggeri mediante le curve di produttività di pascoli e prati-pascoli artificiali ottenute in cinque ambienti marginali
Andrea Cavallero, Francesco Miglietta, Pietro Bullitta, Carlo Fausto Cereti, Rodolfo Santilocchi, Paolo Talamucci e Umberto Ziliotto
- 119 Aspetti qualitativi e valore nutritivo della produzione foraggera di pascoli e prati-pascoli artificiali
Rodolfo Santilocchi, Pietro Bullitta, Andrea Cavallero, Carlo Fausto Cereti, Francesco Miglietta, Paolo Talamucci e Umberto Ziliotto
- 134 Dinamica della nutrizione minerale di foraggiere prative in ambienti marginali
Ermanno Zanini e Enza Arduino
- 146 Influenza dell'andamento meteorologico e della concimazione azotata sulla produttività totale e stagionale di un pascolo in Sardegna
Pietro Bullitta, Salvatore Caredda e Giuseppe Rivoira
- 152 Esempio di applicazione dell'analisi di crescita e di un modello di simulazione produttiva ad una cotica erbosa artificiale
Giampiero Maracchi, Francesco Miglietta e Concetta Vazzana

Modello empirico semplificato della produzione di pascoli e prati-pascoli artificiali e possibilità di previsione dell'andamento produttivo ⁽¹⁾

Carlo Fausto Cereti ⁽²⁾, Francesco Miglietta ⁽³⁾, (coordinatori), Pietro Bullitta ⁽⁴⁾, Andrea Cavallero ⁽⁵⁾, Rodolfo Santilocchi ⁽⁶⁾, Paolo Talamucci ⁽⁷⁾ e Umberto Ziliotto ⁽⁸⁾

Riassunto

Viene messa in evidenza l'utilità di disporre di modelli dell'andamento produttivo delle colture nel settore foraggero, facendo distinzione fra modelli empirici o statistici e modelli deterministici sia dal punto di vista dell'approccio che di quello del loro impiego pratico. I fattori che influenzano prevalentemente la produzione nelle aree marginali alle nostre latitudini, sono lo stato idrico del suolo, non essendo prevedibile alcun intervento irriguo, e la temperatura dell'aria. Lo stato idrico del suolo viene stimato come potenziale idrico partendo i dati idrologici caratteristici di ogni località tenendo conto, nell'equazione del bilancio, delle piogge e dell'evapotraspirazione. La produzione viene quindi messa in relazione lineare con la variabilità composta dal prodotto fra la somatoria dei valori stimati del potenziale idrico del suolo e la somatoria termica, entrambe calcolati a partire da un determinato giorno. Questo prodotto riduce la complessità della relazione pur mantenendo buoni i risultati della stima della produzione ottenuti con il modello (coefficiente di correlazione compresi fra 0,70 e 0,95).

Viene inoltre proposto un metodo di calcolo previsionale della produzione che, sulla base dei dati stimati dal modello e della relazione con il tempo, consente, con differenti gradi di precisione, a seconda dell'anticipo della previsione, di approssimare i successivi dati produttivi.

I metodi proposti, compatibilmente con la precisione dei rilievi di campagna e le semplificazioni usate nella descrizione dei processi, mostrano un buon adattamento e un discreto grado di utilizzabilità; in tal modo viene realizzato un accettabile compromesso fra la semplicità dello strumento e la sua affidabilità.

Parole chiave: Modello di produzione, gestione pascoli.

Summary

A SIMPLE GRASSLAND PRODUCTION EMPIRICAL MODEL AND PRODUCTIVE FORECAST EVALUATION

Usefulness of productivity models in grassland management is outlined the differences are between empirical and deterministic model, both from a theoretical point of view and for application are defined. Soil water balance and air temperature are considered as the main physical forces which regulate rangeland production. Soil water balance was computed as soil matric potential taking rainfall and potential evapotranspiration into account, in the balance equation. So, production can be expressed as a linear function of the product of soil water potential and thermal summations, which were cumulated starting from a defined day of the year. Using a multiplicative variable estimate, good results were obtained (correlation coefficients ranged from 0,70 to 0,95).

A production forecast method was also presented. Operating on model estimates and their relation with time, it is possible to have predictive values of production with a different accuracy depending, the on preview period.

(1) Relazione presentata all'incontro scientifico del Gruppo Nazionale di Coordinamento F.A.A.P.E. — S.I.A. "Orientamenti agronomici nell'organizzazione di sistemi foraggeri basati su pascoli e prati-pascoli" C.N.R. Roma, 21 novembre 1985. Ricerche eseguite con il contributo dei C.N.R. presso le Istituzioni indicate con gli Autori.

(2) Professore associato di Coltivazioni erbacee speciali presso l'Istituto di Agrotecnica di Viterbo.

(3) Ricercatore presso lo IATA-CNR di Firenze.

(4) Professore ordinario di Foraggicoltura presso l'Istituto di Agronomia di Sassari.

(5) Professore straordinario di Alpicoltura I presso l'Istituto di Scienza delle Coltivazioni di Torino.

(6) Ricercatore presso l'Istituto di Agronomia di Perugia.

(7) Professore ordinario di Alpicoltura presso l'Istituto di Agronomia di Firenze.

(8) Professore straordinario di Foraggicoltura presso l'Istituto di Agronomia di Padova.

Il lavoro è da attribuirsi in parti uguali ai diversi autori.

Presented methods show a good fit with experimental data and good applicability. An acceptable compromise was obtained between accuracy and simplicity.

Key words: Productivity models, grassland management.

Introduzione

La produzione di un pascolo o di un prato pascolo può essere interpretata come l'effetto di una serie di fattori ambientali e biologici. Queste relazioni dinamiche fra ambiente, genotipo e produzione possono essere schematizzate in modelli empirici o in modelli deterministici. Nel secondo caso solo approfondite conoscenze ecofisiologiche relative al funzionamento del sistema biologico possono condurre a formalizzazioni corrette ed efficienti, mentre nel primo caso le estrapolazioni statistiche consentono di disporre di modelli agili e semplici di più facile trasferimento nella pratica. Un modello deterministico, inoltre, necessita di sistemi di calcolo adeguati, di operatori specificatamente preparati e di una fase iniziale di taratura. È doveroso però ricordare che questo genere di modelli, una volta soddisfatte queste esigenze, rappresenta uno strumento molto efficace per la simulazione e per la previsione dei fenomeni produttivi, e può fornire altresì delle indicazioni fattive in sede di programmazione delle attività agricole (Maracchi *et al.*, 1985 (a)). Un modello empirico, pur con i pregi che abbiamo citato, rimane comunque uno strumento incompleto ed ampiamente condizionato dal campionamento, dagli errori sperimentali di rilevazione. Ed è proprio l'interazione complessa fra i fattori della produzione a rendere i modelli empirici relativamente affidabili ed insensibili a queste interazioni.

In molti casi, nel passato ed anche recentemente si è cercato di mettere in relazione, in modo lineare, le variabili dell'ambiente con il comportamento di un genotipo o di consociazioni produttive vegetali. La gran parte di questi tentativi si è basato sulle relazioni fra la sommatoria termica e la produzione e più recentemente sulle relazioni (Forest *et al.*, 1985) fra evapotraspirazione e produzione. Quest'ultimo approccio si è talvolta rivelato molto efficace soprattutto in zone climatiche dove la disponibilità idrica della stagione estiva è fortemente limitata (Galbraith *et al.*, 1980; Van Keulen *et al.*, 1981). Proprio in queste zone l'interazione acqua-suolo diventa determinante. Ogni stima dell'umidità del suolo, non può prescindere dalla formalizzazione di processi essenziali quali l'infiltrazione, il ruscellamento superficiale e il drenaggio. Le caratteristiche idrologiche del suolo, a loro volta, interagiscono con l'andamento climatico nel determinare l'evoluzione del potenziale idrico. Lo scopo di un modello empirico è quello di evidenziare i fattori che agiscono in modo più sostanziale sul fenomeno, considerarli fattori limitanti e correlarli in modo semplice con la produzione. Un modello empirico trascurerà sempre, quindi, gli effetti secondari e le interazioni fra i fattori, ma sarà uno strumento pratico per la gestione e per la previsione di massima dei fenomeni. È evidente come in molti ambienti climatici ed agricoli italiani, pur nella loro variabilità, la limitazione di disponibilità idrica del suolo sia il fattore limitante per eccellenza della produzione forag-

gera. Questo problema assume connotati più forti nelle zone centro-meridionali della penisola e in tutte quelle zone definite come marginali nelle quali una migliore utilizzazione di sistemi foraggeri pascolivi consentirebbe uno sviluppo o un recupero economico. I dati delle prove sperimentali citate (Ziliotto *et al.*, 1987) ci hanno permesso di mettere a punto un modello empirico molto semplice e di uso agevole basato essenzialmente su una stima della disponibilità d'acqua nel suolo. In una precedente nota (Talamucci *et al.*, 1985), era già stato messo a punto un modello simile, che utilizzava però un gran numero di variabili composte in una regressione multilineare. La complessità della stima delle variabili e la difficoltà di utilizzazione della funzione hanno reso necessaria una drastica semplificazione del modello, che mantenesse peraltro la buona approssimazione di stima raggiunta.

L'opportunità di disporre di modelli che, colgano l'evoluzione temporale della produzione foraggera, deriva dalla necessità di stimare, in diversi ambienti, il potenziale produttivo di pascoli e prato-pascoli, naturali e artificiali, in modo da poter progettare sistemi foraggeri efficienti e con buona affidabilità, superando quindi il vincolo dei rilievi diretti, generalmente lunghi ed onerosi, sull'erba e con gli animali utilizzatori.

Parte 1 - Modello empirico

Materiali e metodi

Metodi di calcolo: 1) Bilancio idrico del suolo

I metodi di stima del bilancio idrico del suolo sono stati da tempo ampiamente sviluppati come supporto alle decisioni in materia di irrigazione (Puech *et al.*, 1968). La letteratura è molto ricca di metodi a diverso grado di complessità. Un modello di bilancio idrico del suolo si può basare sulla stima del rapporto ETR/ETP (Eagleman, 1971; Maracchi *et al.*, 1983) o su più complesse relazioni meccanicistiche che consentono di analizzare, in dettaglio, i processi dinamici acqua-suolo. (Feddes *et al.*, 1978; Hillel, 1975; Maracchi *et al.*, 1985 (b); Kirby, 1985). L'approccio usato in questo caso è molto semplice ed usa solo approssimazioni lineari nella stima delle complesse relazioni dinamiche che regolano il processo.

Il deficit idrico del suolo può essere descritto come il risultato di un bilancio dinamico secondo l'equazione

$$\frac{dR}{dt} = R_0 + (P_0 - F_t) - ETR_t \quad (1)$$

dove

dR/dt = variazione del contenuto idrico del suolo nel tempo, espresso in volume.

R_0 = contenuto idrico del suolo al momento t_0 , espresso in volume

P_o = quantità di pioggia caduta
 F_t = ruscellamento superficiale e drenaggio profondo
 ETR_t = evapotraspirazione reale

Sulla base di questa equazione (1), che approssima in modo molto grossolano il bilancio idrico del suolo, è possibile avere una stima del potenziale idrico del suolo su base giornaliera, tenendo presente che nel calcolo dell'evapotraspirazione reale un ruolo essenziale è giocato dalle caratteristiche fisiche del suolo, e quindi dalla curva tensione/umidità e dalla profondità del suolo esplorabile dalle radici, che è stata stimata proporzionale alla quota di materiale grossolano nella composizione granulometrica del suolo (scheletro + sabbia grossa). Ipotizzando una relazione lineare fra il rapporto ETR/ETP e il potenziale del suolo (Maracchi *et al.*, 1984), possiamo scrivere:

$$ETR = \frac{ETP}{(y_{max} - y_{min})} (y_{max} - y_a)$$

dove

y_{max} = potenziale idrico del punto di appassimento
 y_{min} = potenziale idrico alla capacità di campo
 y_a = potenziale idrico attuale
 ETP = Evapotraspirazione potenziale

La quantità d'acqua in grado di infiltrarsi nel suolo sarà funzione dell'intensità di pioggia (volume/durata) e di un coefficiente di infiltrabilità empirico basato sull'esperienza diretta che si ha del terreno in oggetto (che per tutte le località esaminate è stato approssimato in 20,0 mm h⁻¹) secondo l'equazione;

$$P_t = \frac{P_o Dt}{1/C}$$

dove

C = permeabilità del suolo (mm/Dt)
 P_t = acqui infiltrata

Il ruscellamento superficiale e il drenaggio profondo (F) possono essere globalmente stimati come differenze fra l'acqua caduta e quella infiltrata. L'equazione di bilancio (1) può essere riscritta ed integrata nel tempo

$$R_t = R_{t-1} + P_t - ETR_t \quad (2)$$

dove

R = riserva idrica del suolo
 t = (% umidità × profondità del suolo)

Dalla curva tensiometrica, infine, facendo un'approssimazione lineare negli intervalli fra i punti sperimentali, è possibile risalire al potenziale attuale del suolo. Per semplicità di trattamento ne viene eseguita la normalizzazione rispetto all'intervallo fra il potenziale idrico e capacità di campo e quello al punto di appassimento:

$$Y' = \frac{1}{y_{max} - y_{min}} (y_{max} - y_a)$$

Questa stima del potenziale idrico, trascura, nel complesso molti fattori, legati soprattutto alla conducibilità e alla dinamica del flusso dell'acqua in regime insaturo. L'approssimazione che è stata scelta ci consente però di semplificare il calcolo e renderlo agevolmente trattabile con una calcolatrice programmabile.

Metodi di calcolo: 2) Il modello di regressione lineare

Una volta si disponga, per ogni località e per ogni anno di sperimentazione, dei dati giornalieri stimati di potenziale idrico del suolo e dei valori massimo e minimo giornaliero di temperatura dell'aria, è possibile, impostare una regressione lineare e verificarne l'adattamento ai dati sperimentali di produzione. A questo scopo, scegliendo una data fissa (21 marzo) come giorno di partenza, vengono calcolate le sommatorie del potenziale idrico del suolo normalizzato e della temperatura media dell'aria. Questa seconda variabile è calcolata tenendo conto delle temperature minime ed ottimali delle diverse specie in modo da definire un intervallo termico favorevole alla crescita, (tab. 1) e utilizzando le seguenti sommatorie:

$$Z = \sum T \quad (3) \quad \text{per } T_{min} < T < T_{max}$$

$$W = \sum Y' \quad (4)$$

dove

T = temperatura media giornaliera dell'aria

Utilizzando il prodotto fra il logaritmo della (3) e la (4) si ottiene una sola variabile e quindi una equazione di regressione lineare fra questa variabile e la sommatoria della produzione, espressa in sostanza secca. L'equazione risulta della forma:

$$PR = a + bx \quad (5)$$

dove

PR = \sum Produzione giornaliera di sostanza secca
 $x = \ln(Z) W$

Presentazione e discussione dei risultati

Un modello empirico di questo genere, trascura, come già abbiamo avuto modo di accennare, molti aspetti che influenzano la produttività di un sistema

TABELLA 1 - Temperature minime (T_{min}) e massime (T_{max}) per lo sviluppo vegetativo delle specie, espresse in °C utilizzate per il calcolo della sommatoria termica nell'equazione (3)

TABELLA 1 - Minimum (T_{min}) and maximum (T_{max}) temperatures, in °C, for forage growth, that were utilized for thermal summation in equation (3)

Specie e cultivar	T_{min}	T_{max}
<i>Festuca arundinacea</i> cv. Manade/Ludion	5,0	28,0
<i>Dactylis glomerata</i> cv. Daprime	5,0	25,0
<i>Phleum pratense</i> cv. Toro	3,0	20,0

prativo. Ciò ne determina da una parte il pregio di esser uno strumento semplice e funzionale, dall'altra il difetto di non essere mai uno strumento che risolva ogni situazione reale. Così ad esempio sfuggono alla stima gli effetti depressivi sulla crescita di un basso livello radiativo, di un ridotto apporto nutritivo, di un elevato indice di competitività fra le specie siano esse coltivate che infestanti, l'effetto di particolari stagioni precedenti su quelle successive o ancora l'interazione fra alcuni di questi aspetti, che come è noto, possono determinare sia uno straordinario sia un limitatissimo sviluppo della vegetazione.

Infatti dall'analisi dei dati a disposizione (Ziliotto *et al.*, 1987) appare evidente come l'andamento delle curve di crescita dell'erba a Feltre nel 1983 sia stato influenzato da una situazione climatica particolare nel periodo compreso fra marzo e maggio, dove il ridotto livello radiativo dovuto all'intensa nuvolosità, ha drasticamente limitato lo sviluppo dell'erba. A Chieri, invece, la stagione primaverile del 1983, accoppiata alla siccità estiva dell'annata precedente, ha determinato un'interazione fra i fattori tale da indurre, nelle associazioni prative, uno sviluppo straordinario, che ha raggiunto livelli produttivi addirittura inconsueti per colture foraggere. Questo effetto ha avuto evidenza soprattutto nel trattamento prato-pascolo dove la fase di poco precedente la spigatura ha mostrato velocità di accrescimento massima.

Entrambi questi casi, non utilizzati nel calcolo dei coefficienti di regressione, confermano quanto accennato a proposito dei limiti di questo modello; esso risulta infatti applicabile solo in condizioni normali di crescita e non può tener conto dell'azione di fattori diversi da quello idrico e termico, o di casi climatici estremi favorevoli o sfavorevoli che siano.

Negli esempi citati, il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale per l'equazione (2) è stato effettuato secondo Thornthwaite, essendo disponibili, su base giornaliera, i soli dati termopluviometrici.

L'analisi dei risultati ha posto in evidenza che esiste, a livello della stima, una certa differenza tra i trattamenti pascolo e prato-pascolo e fra le singole associazioni della prova. Infatti i coefficienti *a*, *b* della regressione sono diversi e diversi sono i coefficienti di correlazione (tab. 2).

Nella tabella 3 sono indicate, località per località, le correlazioni esistenti fra i dati di produzione osser-

TABELLA 2 - Coefficienti di regressione e di correlazione dell'equazione (5) per i diversi trattamenti e per le diverse associazioni.

TABLE 2 - Regression and correlation coefficients in equation (5) for different treatments and different mixtures.

Associazione		Pascolo	Prato-pascolo
<i>Festuca cv. Manade</i>	a	14,423012	19,233997
	b	0,069407	0,065309
	r	0,95»»	0,90»»
<i>Dactylis cv. Daprime</i>	a	13,438962	26,123899
	b	0,063288	0,054397
	r	0,95»»	0,90»»
<i>Phleum cv. Toro</i>	a	15,930038	58,330601
	b	0,064477	0,037852
	r	0,94»»	0,70»»

vati e quelli stimati, mentre nella figura 1 sono rappresentate graficamente le distribuzioni dei punti sperimentali per varie specie e per i vari trattamenti.

Parte 2 - Previsione della produzione

La previsione della produttività di un pascolo o di un prato-pascolo può essere un elemento essenziale in sede di programmazione dell'attività agricola sia a livello aziendale che territoriale. Di solito tale procedimento basato sull'esame delle sommatorie termiche è stato utilizzato per la gestione della raccolta di colture agro-industriali. La previsione della produzione si può basare su due approcci fondamentali, cioè di previsione meteorologica o su base statistica. Nel

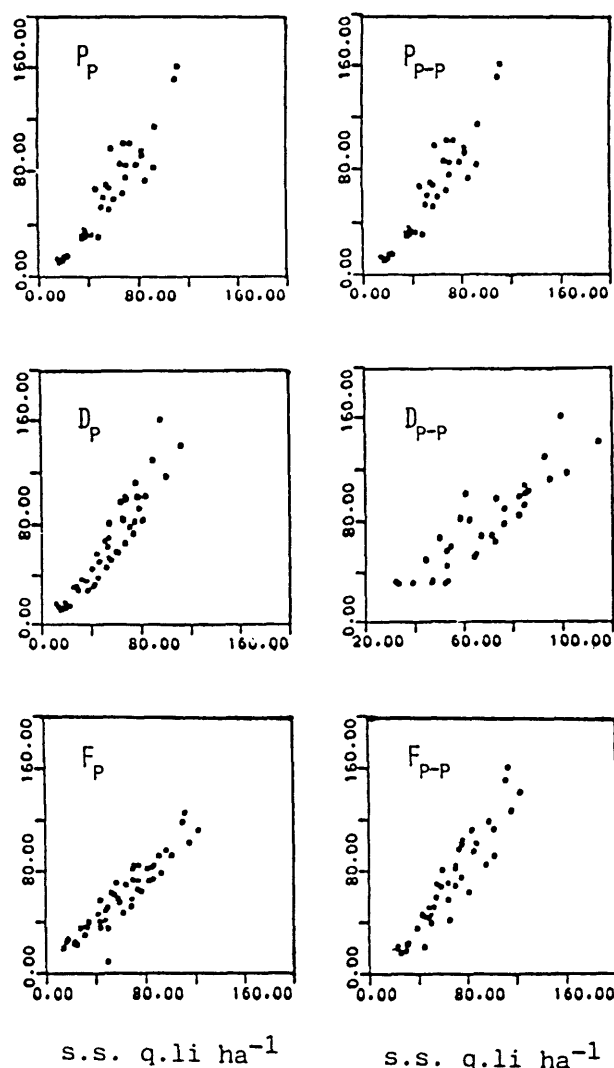


Fig. 1 - I grafici mostrano la buona correlazione esistente per le varie località, specie ed anni fra la variabile calcolata con il modello e la produzione di biomassa osservata.

Fig. 1 - Plots show his correlatin for stations, species and years, between the model-derived variable and dry matter production. P = *Phleum pratense*; D = *Dactylis glomerata*; F = *Festuca arundinacea*; p = trattamento pascolo; p-p = trattamento prato-pascolo;

TABELLA 3 - Coefficienti di correlazione fra dati stimati e osservati e percentuale di errore medio nelle varie località per i diversi trattamenti, specie ed anni.

TABLE 3 - Correlation coefficients of fitted and observed values and percentage of mean error in different stations, treatments species and years.

Località e anno	Pascolo.			Prato-pascolo		
	F	D	P	F	D	P
Chieri 1982	0,99 27%	0,98 19%	0,96 24%	0,99 14%	0,99 10%	0,99 35%
Chieri 1983	0,99 8%	0,99 19%	0,99 20%	—	—	—
Novi 1982	0,99 20%	0,99 15%	0,99 9%	0,99 20%	0,94 8%	0,97 5%
Novi 1983	0,99 16%	0,98 17%	0,97 20%	0,99 25%	0,99 13%	0,99 10%
Feltre 1982	0,98 8%	0,97 9%	0,98 6%	0,98 6%	0,98 5%	0,99 5%
S. Piero 1982	0,98 20%	0,96 20%	0,97 19%	0,99 10%	0,97 28%	0,98 6%
S. Piero 1983	0,99 16%	0,97 12%	0,99 7%	0,99 10%	0,99 26%	0,99 20%
Deruta 1982	0,99 9%	0,99 11%	—	0,99 8%	0,99 9%	—
Deruta 1983	0,95 12%	0,99 13%	—	0,98 9%	0,99 11%	—

Legenda:

F = *F. arundinacea* "MANADE"

D = *D. glomerata* "DAPRIME"

P = *P. pratense* "TORO"

primo caso, essendo il processo produttivo legato intimamente con l'andamento stagionale, e in particolare modo con regime pluviometrico, la tecnica di previsione produttiva può essere associata a forme di previsione meteorologica a grande-media scala, sulla base di modelli di grande circolazione atmosferica (GCM-Global Circulation Models) e di analisi climatiche seriali. Nel secondo caso, non disponendo di analisi meteo a medio termine, la previsione può essere desunta da una tendenza pregressa e statisticamente estrapolata a periodi successivi. Si tratta comunque di una tecnica probabilistica che non può prendere in esame nella previsione particolari andamenti meteorologici estremi o episodici.

Materiali e metodi

Sulla base della stima effettuata attraverso il modello è possibile, ad un dato momento dello sviluppo della coltura, calcolare quale potrà essere la produzione nel periodo successivo con un diverso anticipo (ad esempio i = 10, 20, 30, 40 giorni) e con diverso grado di precisione.

I valori di produzione stimati con il modello, vengono dinamicamente posti in relazione con il tempo; ciò rende possibile avere l'equazione di una retta interpolante, funzione dei giorni di crescita, con cui estrapolare, come previsione, il valore della produzione ad un dato giorno successivo. Maggiore sarà la distanza fra il primo dei giorni noti e il giorno di cui si vuole prevedere la produzione, maggiore sarà l'errore percentuale medio della previsione, non essendo

costante per ogni intervallo il coefficiente angolare della tangente alla curva di produzione, che può essere definita come non monotona. Questo rende necessario, per l'efficienza della previsione, di tenere conto, nella funzione interpolante, della variazione continua nella pendenza, assumendo questa variazione come valore da aggiungere al coefficiente angolare della interpolazione precedente per definire la retta successiva di previsione. Ciò consente di avere, per ogni ulteriore giorno in cui sia possibile stimare o rilevare la produzione, una nuova retta interpolante, e quindi un'ulteriore previsione.

Il procedimento di calcolo si sviluppa come segue:

1. calcolo del coefficiente angolare della retta interpolante i primi n-1 punti noti:

$$tg a_{n-1} = x_1 + x_2 + \dots + x_{n-1} / y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1}$$
2. ricerca del coefficiente angolare della retta interpolante i primi n punti noti:

$$tg a_n = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n / y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n$$
3. ricerca dell'incremento del coefficiente angolare:

$$incr tg a = tg a_n - tg a_{n-1}$$
4. ricerca del valore della produzione (y) al giorno n+m, con m definito come un'indice compreso fra 1 ed i, periodo della previsione:

$$tg a_{n+m} = tg a_n + m \cdot incr tg a$$

da cui

$$y_{n+m} = n+m \cdot tg a_{n+m}$$

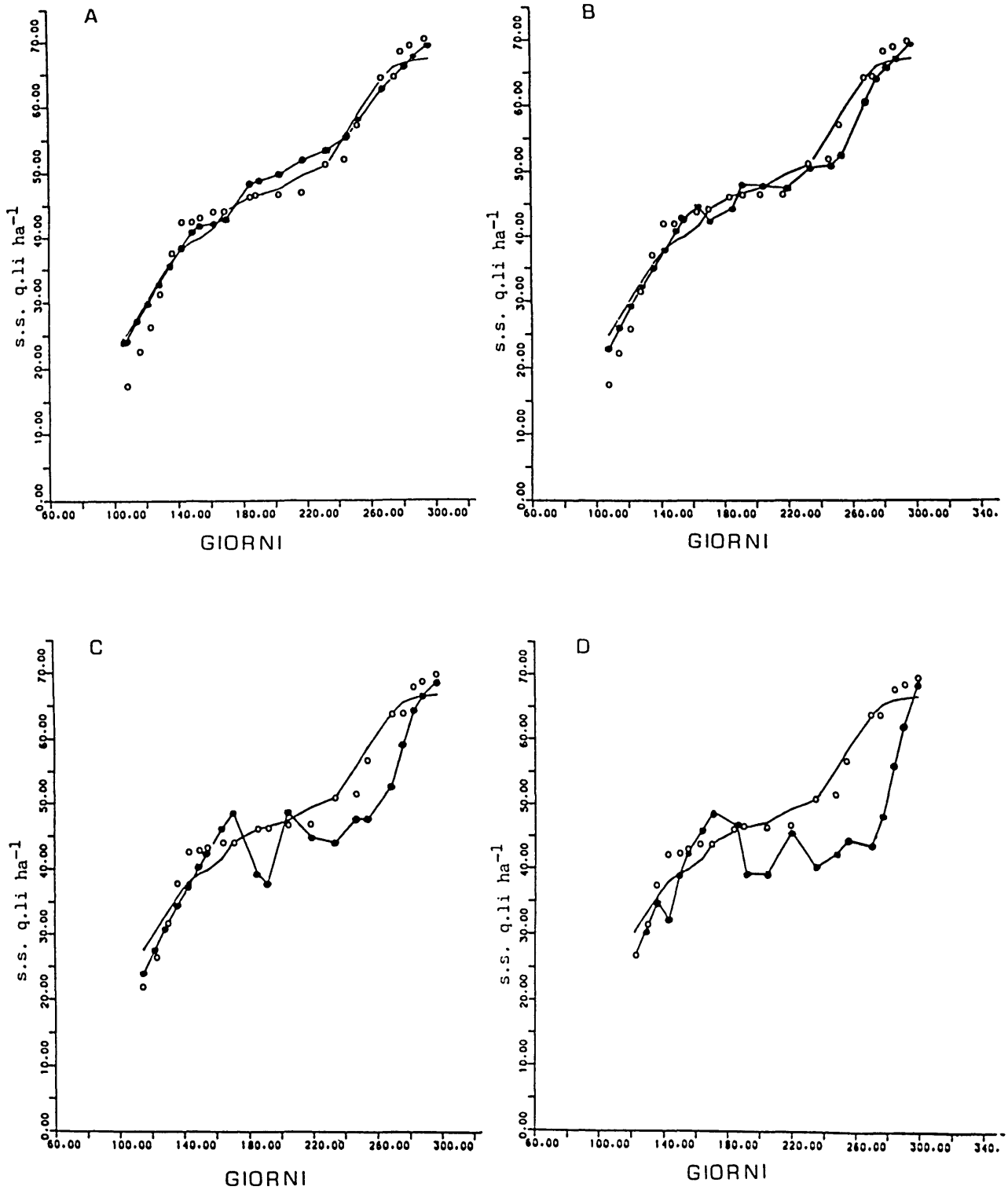


Fig. 2 - Valori osservati di biomassa [o], i valori stimati con il modello [—] e valori previsti [●] con diversi anticipi di tempo [A = 10 d; B = 20 d; C = 30 d; D = 40 d] a Chieri 1982, *Festuca arundinacea* cv. "Manade" trattamento pascolo.

Fig. 2 - Observed values [o], model estimates [—], and forecasted values [●], with different preview periods [A = 10 d; B = 20 d; C = 30 d; D = 40 d] at Chieri, 1982 for *Festuca arundinacea* cv. "Manade" used for grazing.

Presentazione e discussione dei risultati

Un corretto uso del sistema di previsione descritto, non può prescindere da una buona stima dei dati reali di produzione. In questo esempio, e per i dati

sperimentali rilevati il modello empirico consente una sufficiente approssimazione delle curve di crescita. Il procedimento di previsione, però è di applicazione flessibile e può essere usato con qualsiasi altro modello o altro metodo di stima della produzione, ivi

compresi anche regolari rilievi sperimentali. La sua efficienza sarà chiaramente più alta ove si possano integrare procedimenti di stima e rilevazioni dirette della biomassa, nella logica di una costante verifica dei modelli di crescita.

I risultati ottenuti in un caso concreto (Chieri 1982, *F. arundinacea* cv. "Manade", trattamento pascolo) con l'uso combinato del modello empirico e del procedimento di previsione, sono illustrati nella tabella 4; vengono confrontate le previsioni fatte con diversi anticipi di tempo nella loro correlazione con i dati stimati con il modello e viene riportato lo scarto percentuale medio, fra i valori previsti e quelli stimati. Nella tabella 5, infine, sono riportati per l'intera stagione di crescita gli scarti percentuali fra i valori previsti e quelli osservati. Inoltre nella figura 2 sono pre-

sentati gli andamenti reciproci di osservazioni, stime e previsioni fatte con diversi anticipi.

Si tratta di un esempio di applicazione la cui ri-

TABELLA 4 - Coefficienti di correlazione e scarti percentuali del sistema di previsione della produzione rispetto ai dati stimati con il modello per diversi periodi, a Chieri 1982, per la *F. arundinacea* cv. "Manade" utilizzata a pascolo.

TABLE 4 - Correlation coefficients and residuals of the forecasting method for different periods at Chieri 1982 for *F. arundinacea* cv. Manade used for grazing.

	Scarto della previsione			r
	min.	max.	medio	
Previsione a 10 gg.	0,03%	5,0%	2,7%	0,994
Previsione a 20 gg.	0,00%	23,3%	4,7%	0,980
Previsione a 30 gg.	0,03%	38,5%	9,1%	0,913
Previsione a 40 gg.	0,10%	32,3%	14,5%	0,703

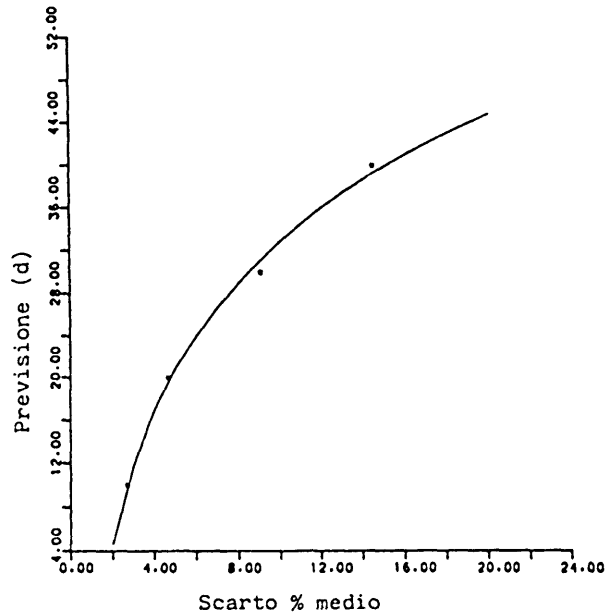


Fig. 3 - L'effetto di diversi anticipi di previsione sullo scarto percentuale medio fra stime e previsioni, ha un'andamento logaritmico secondo la funzione: $[y = -7,41 + 17,46 \ln X; r = 0,998]$.

Fig. 3 - The effect of different preview periods on forecast accuracy; fitted to the logarithmic curve; $[y = -7,41 + 17,46 \ln X; r = 0,998]$.

TABELLA 5 - Scarti percentuali per diversi periodi di previsione calcolati rispetto alle osservazioni sperimentali a Chieri 1982, per *F. arundinacea* cv. "Manade" utilizzata a pascolo.

TABLE 5 - Percentages of residuals for different preview periods as compared to experimental data at Chieri 1982 for *F. arundinacea*, cv. "Manade" used for grazing.

Data	Valori osservati q/ha	Errore della previsione a			
		10 d	20 d	30 d	40 d
18-04	17,34	40%	32%	—	—
25-04	22,54	20%	16%	7%	—
2-05	26,37	13%	11%	5%	1%
9-05	31,53	4%	2%	1%	3%
16-05	37,64	6%	7%	8%	7%
23-05	42,61	10%	11%	12%	24%
30-05	42,61	4%	4%	5%	8%
4-06	43,27	3%	1%	2%	2%
13-06	44,07	4%	2%	5%	5%
20-06	44,07	3%	4%	11%	11%
5-07	46,46	4%	4%	15%	1%
11-07	46,46	5%	3%	18%	15%
24-07	46,63	7%	3%	5%	15%
8-08	46,79	11%	1%	4%	2%
23-08	51,14	4%	1%	14%	21%
5-09	51,89	7%	2%	8%	18%
12-09	57,09	1%	8%	16%	22%
27-09	64,29	3%	6%	18%	32%
4-10	64,29	0	0	8%	25%
11-10	68,28	3%	4%	5%	18%
17-10	69,12	2%	3%	3%	10%
26-10	70,03	1%	1%	1%	1%

producibilità in ogni ambiente è assicurata dal metodo di calcolo usato, che a partire da dati di produzione reali o stimati approssima sempre nello stesso modo la previsione.

L'analisi degli scarti percentuali medi ottenuti con diversi periodi di previsione, ci consente, infine, di calcolare una curva logaritmica di regressione (fig. 3) avente la seguente equazione:

$$i = -7,41 + 17,46 \cdot \ln S$$

dove

i = lunghezza del periodo di previsione in giorni
 S = scarto percentuale medio della previsione

L'esame di questa relazione ci permette, prescelto un margine medio di errore accettabile nella previsione, di ottenerne il periodo di anticipo; così per non superare uno scarto percentuale medio del 10% bisognerà restare al di sotto di circa 33 giorni di previsione.

Conclusioni

I maggiori pregi del modello empirico proposto, realizzato attraverso il calcolo di una sola variabile composta che tiene conto dell'evoluzione dell'umidità del suolo e della temperatura, sono la sua semplicità e la sua maneggevolezza. Queste sono raggiunte con l'uso di variabili ambientali e pedologiche facilmente disponibili anche sul nostro territorio. Va peraltro ricordato che esso realizza un compromesso fra questa semplicità e l'efficienza della stima dei valori della produzione foraggera, con una riduzione della sua affidabilità in casi climatici anomali.

Il sistema di previsione è invece più complesso nel suo impiego pratico, molto preciso e formalmente indipendente dal modello precedente; può essere perciò usato sia utilizzando dati stimati in altro modo che rilevazioni dirette della biomassa foraggera.

L'interesse manifestato dagli operatori agricoli verso questo genere di applicazioni della ricerca, che possono consentire di migliorare la gestione di problemi complessi come quelli del pascolamento, fa supporre che ulteriori verifiche e miglioramenti dei procedimenti proposti, possano essere alla base di una loro completa trasferibilità.

Bibliografia

- EAGLEMAN, F., 1971. *An experimental derived model for actual evapotranspiration*. Agri. Meteor. 8, 385-394.
- FEDDES, R.A., KOWALIK, P.J. e ZARADNY, H., 1978. *Simulation of field water use and crop yield*. Center for agriculture publishing and documentation, Wageningen.
- FOREST, F. e REYNIERS, F.N., 1985. *Proposals for the classification of agroclimatic situations of upland rice in terms of water balance*. IRAT - International Upland Rice Conference - Jakarta
- FRANCE, J. e THORNLEY, J.H.M., 1984. *Mathematical models in agriculture*. Butterworths, London
- HILLEL, D., 1975. *Simulation of evaporation from bare soil under steady and diurnally fluctuating evaporativity*. Soil Science, 120, 3, 231-237.
- KIRBY, J.M., 1985. *A note on the use of a simple numerical model for vertical, unsaturated fluid flow*. Soil Science, 139-5, 462-467.
- MARACCHI, G., MIGLIETTA, F., ZANCI, C. e ZIPOLI, G., 1983. *Un modello della dinamica dell'acqua nel terreno* Annali ist. Sperimentale Studio e Difesa del Suolo, Firenze vol. XIV, 379-392.
- MARACCHI, G., MIGLIETTA, F., 1984. *Agroclimatic classification of Central Italy* in "Current Issues in Climatic Research" D. Reidel Publishins Company.
- MARACCHI, G., MIGLIETTA, F. e VAZZANA, C., 1987. *Esempio di applicazione dell'analisi di crescita e di un modello di simulazione produttiva ad una cotica erbosa artificiale* Riv. di Agr. 2.
- MARACCHI, G., MIGLIETTA, F., RASCHI, A., VAZZANA, C. e BACCI, L., 1985. *A crop model based on simple meteorological inputs, for large scale agriculture productivity simulation*. Proceedings of the IASTED International Symposium "MODELLING AND SIMULATION" Lugano June 24-26, Acta Press.
- PUECH, J., MAERTENS, C., FIORAMONTI, S., MARTY, S.R. e COUREAU, C., 1968. *Comparaison des consommations d'eau et des productions de matiere seche de quelques cultures irriguees*. Ann. Agro. 19 (3), 365-377.
- RIJTEMA, P.E., 1969 *Soil moisture forecasting*. Institut voor Cultuurtechniek en Waterhuishoudins, Wageningen.
- TALAMUCCI, P., BONCIARELLI, F., BULLITTA, P. CAVALLERO, A., CERETI, C.F., MIGLIETTA, F., SANTILOCCHI, R. e ZILLOTTO, U., 1985. *Sward evaluation in different italian environments to model productivity*. Proceedings of XV International Grasslands Congress - Kyoto - Japan (in corso di stampa).
- ZILLOTTO, M., BULLITTA, P., CAVALLERO, A., CERETI, C.F., GRIGNANI, C., MIGLIETTA, F., SANTILOCCHI, R. e TALAMUCCI, P., 1987. *Distribuzione della produzione di pascoli e prati-pascoli artificiali di diversa precocità in sei ambienti italiani*. Riv. di Agron. 2.