

UN NUOVO CRITERIO PER VALUTARE IL BILANCIAMENTO DI MODELLI AGROAMBIENTALI BASATO SU TECNICHE MONTE CARLO DI ANALISI DI SENSITIVITÀ

Roberto Confalonieri*

¹ Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Produzione Vegetale, via Celoria 2, 20133 Milano

* roberto.confalonieri@unimi.it

Riassunto

La valutazione di modelli di simulazione agroambientali sta assumendo il ruolo di una vera e propria disciplina. Dalla semplice analisi dell'accuratezza si è passati a valutazioni integrate dei modelli, in grado di considerare aspetti – quali robustezza e complessità – che completano l'informazione fornita dalla pura valutazione di performance. In questo lavoro viene presentato un criterio per valutare il bilanciamento dei modelli di simulazione, basato su tecniche Monte Carlo per l'analisi di sensitività (SA) e sulla valutazione dell'omogeneità della rilevanza dei parametri. Il criterio è stato recentemente proposto ed applicato a WOFOST e CropSyst. In questo lavoro, lo stesso criterio viene applicato a WARM. I risultati sono discussi alla luce delle differenze concettuali e strutturali dei tre modelli.

Parole chiave: WARM, CropSyst, WOFOST, riso, Sobol', test di Grubbs.

Introduzione

La valutazione di modelli di simulazione biofisici è una branca della modellistica che negli ultimi anni sta fortemente catalizzando l'attenzione della comunità scientifica internazionale (e.g., Mayer e Butler, 1993). Inizialmente, i modelli erano valutati solo in termini di agreement tra dati misurati e simulati. Questo ha portato a definire molti indici statistici per valutare diverse tipologie di errore, alcuni maggiormente incentrati su quantificazioni dell'errore medio commesso dal modello (e.g., errore quadratico medio relativo); altri specifici per la valutazione delle differenze tra l'andamento dei dati misurati e quello dei dati simulati (efficienza di modellizzazione).

Negli ultimi anni, i modellisti hanno iniziato a concentrarsi su altri aspetti legati all'uso dei modelli, valutando problematiche relative al loro utilizzo, non più – quindi – concentrandosi unicamente sui risultati della loro applicazione. Akaike (1974) ha proposto un indice di complessità, che premia modelli in grado di ben funzionare con un basso numero di input. Confalonieri *et al.* (2010) hanno presentato un indicatore di robustezza, che valuta la stabilità nel livello di accuratezza al variare delle condizioni di applicazione. Un modello robusto non è quindi necessariamente accurato ma semplicemente "prevedibile" in termini di grado di incertezza nell'interpretare la realtà se utilizzato in condizioni diverse da quelle nelle quali è stato messo a punto.

Confalonieri (2010) ha messo a punto un criterio per valutare il bilanciamento dei modelli e l'ha applicato a due simulatori colturali molto diversi: WOFOST e CropSyst. Il primo è molto raffinato nella rappresentazione dei processi, mentre il secondo interpreta la realtà con un approccio meno oneroso in termini di dati necessari per effettuare le simulazioni. In questo lavoro, lo stesso criterio per il bilanciamento è stato applicato al modello WARM. I risultati sono discussi considerando le caratteristiche strutturali e funzionali dei tre modelli.

Materiali e metodi

Il criterio proposto da Confalonieri (2010) per valutare il bilanciamento dei modelli è basato sull'omogeneità o meno

degli indici di sensitività – dei vari parametri – stimati utilizzando il metodo Monte Carlo per la SA proposto da Sobol' (1993). L'omogeneità degli indici di sensitività è valutata con il test di Grubbs (1969) per l'individuazione di outliers. In pratica, se uno o più indici di sensitività sono considerati significativamente più alti degli altri, il modello viene considerato non bilanciato, in quanto una parte preponderante della varianza dei suoi output è determinata dalla variabilità di uno o pochi parametri.

Per la descrizione del modello WARM, si rimanda alla letteratura di riferimento (e.g., Confalonieri *et al.*, 2009). L'esperimento di SA è stato condotto utilizzando lo stesso scenario utilizzato da Confalonieri (2010), relativo a riso seminato il 24 maggio 2004 ad Opera (MI).

I parametri sui quali è stata effettuata la SA ed i settaggi statistici utilizzati sono presentati in tabella 1.

Risultati

I risultati della SA sono presentati in figura 1 (le aree grigie corrispondono a valori dell'indice di sensitività maggiori di 0.05). È evidente dal grafico l'assenza di un parametro (o di pochi in rapporto al numero totale di parametri) al quale il modello è decisamente più sensibile. L'impressione è confermata

Tab. 1 – Parametri di WARM e settaggi statistici utilizzati per la SA.

| Parametro | media | dev. st. |
|--|-------|----------|
| RUE (g MJ ⁻¹) | 3 | 0,4 |
| k (-) | 0,5 | 0,04 |
| T _{base} (°C) | 12 | 0,6 |
| T _{opt} (°C) | 28 | 2 |
| T _{max} (°C) | 42 | 2 |
| LAI _{ini} (m ² m ⁻²) | 0,01 | 0,005 |
| SLA _{ini} (m ² kg ⁻¹) | 27 | 2 |
| SLA _{fill} (m ² kg ⁻¹) | 18 | 3 |
| RipL0 (-) | 0,7 | 0,1 |
| LeafLife (°C-day) | 700 | 80 |
| H _{max} (cm) | 100 | 20 |

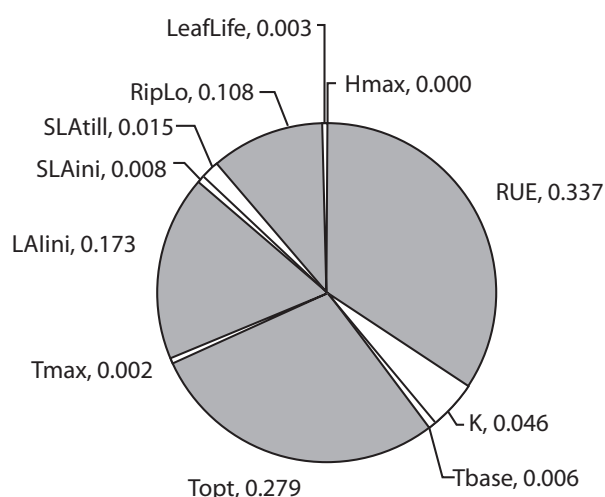


Fig. 1 - Indici di sensitività di Sobol' (total order effect) per i parametri di WARM.

dal test di Grubbs, che non rileva differenze significative tra gli indici di sensitività calcolati per i vari parametri. WARM, nelle condizioni esplorate, può quindi considerarsi bilanciato.

Discussione e conclusioni

La dipendenza della variabilità degli output di un modello da una percentuale molto bassa dei suoi parametri può apparire una caratteristica positiva, in quanto la parametrizzazione risulta fortemente facilitata. In realtà, l'utilizzo di un modello di questo tipo è molto rischioso, in quanto incertezze nella stima di quel parametro (dovute, e.g., a differenze varietali nella caratteristica morfologica o fisio-

logica descritta dal parametro stesso) possono portare ad errori notevoli. Confalonieri (2010) ha valutato il bilanciamento di CropSyst e WOFOST, concludendo che l'estrema semplificazione del primo nel riprodurre i processi legati alla crescita portava, almeno nelle condizioni esplorate, ad un sostanziale sbilanciamento del modello. L'estremo livello di complessità di WOFOST, invece, si traduceva in un modello molto più bilanciato. Stesso risultato (buon bilanciamento) è stato qui ottenuto per il modello WARM, caratterizzato da un livello di dettaglio intermedio nella rappresentazione dei processi.

Questo lavoro dimostra l'importanza di andare oltre la semplice valutazione basata sull'agreement tra dati misurati e simulati, aggiungendo un tassello al set di tecniche per l'analisi della struttura e del comportamento dei modelli.

Bibliografia

- Akaike H., 1974. A new look at statistical model identification. *IEEE Trans. Autom. Control.*, 19, 716-416.
- Confalonieri R., 2010. Monte Carlo based sensitivity analysis of two crop simulators and considerations on model balance. *Eur. J. Agron.* In press.
- Confalonieri R., Acutis M., Bellocchi G., Donatelli M., 2009. Multi-metric evaluation of the models WARM, CropSyst, and WOFOST for rice. *Ecol. Modell.*, 220, 1395-1410.
- Confalonieri R., Bregaglio S., Acutis M., 2010. A proposal of fan indicator for quantifying model robustness based on the relationship between variability of errors and of explored conditions. *Ecol. Modell.*, 221, 960-964.
- Grubbs, F.E., 1969. Procedures for detecting outlying observations in samples. *Technometrics*, 11, 1-21.
- Mayer D.G., Butler D.G., 1993. Statistical validation. *Ecol. Modell.*, 68, 21-32.
- Sobol' I.M., 1993. Sensitivity estimates for nonlinear mathematical models. *Math. Modell. Comput. Exp.*, 1, 407-414.