



Sistemi culturali analizzati e gestiti con modelli di simulazione (2)



Sistemi Culturali

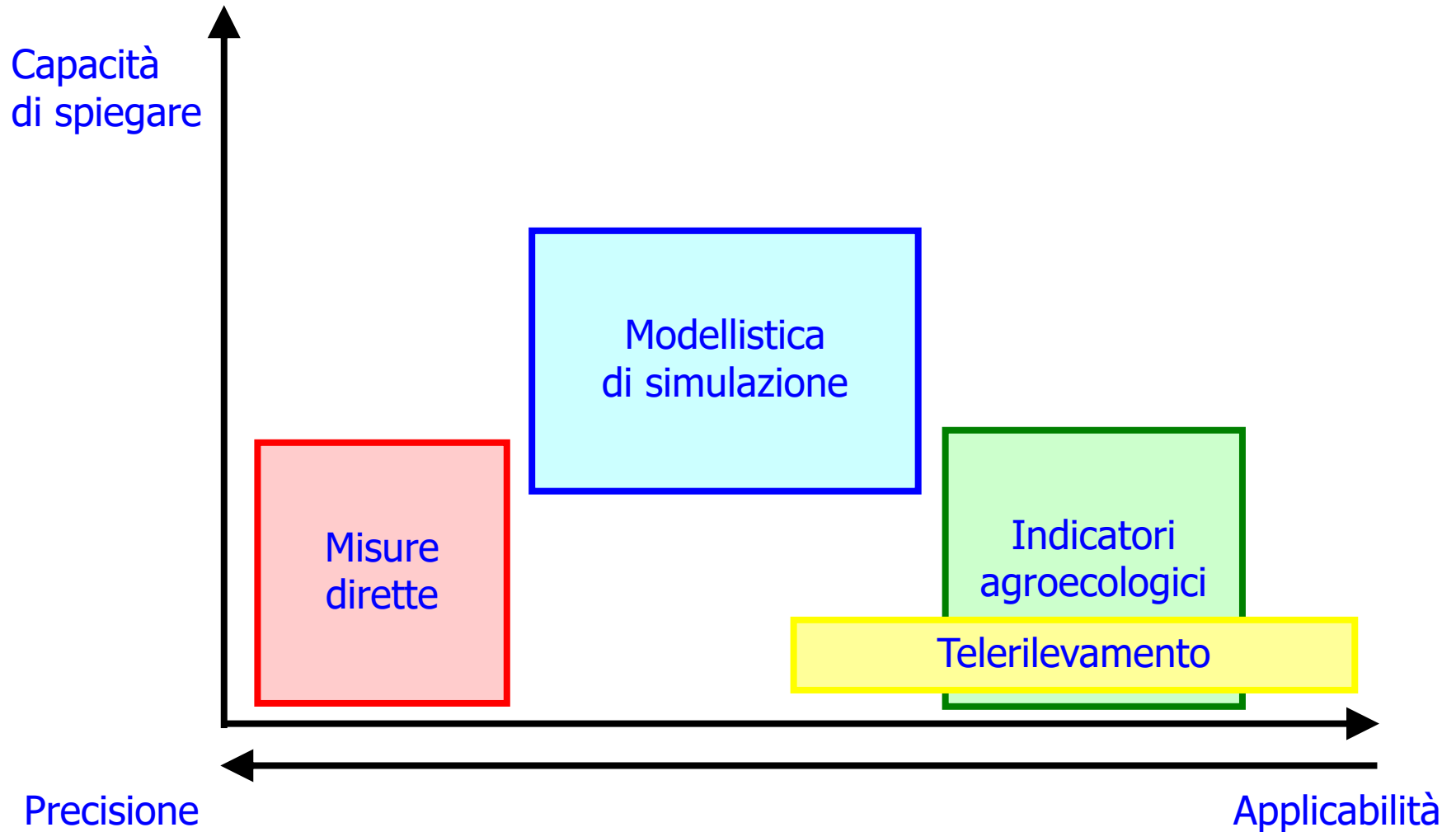
Vedremo diverse tipologie di modelli per l'analisi e la gestione dei sistemi culturali...

Ma prima:

- Perché ce ne sono molti?
- Ne esiste uno migliore?
- Come scegliere quello più adatto per uno specifico studio?

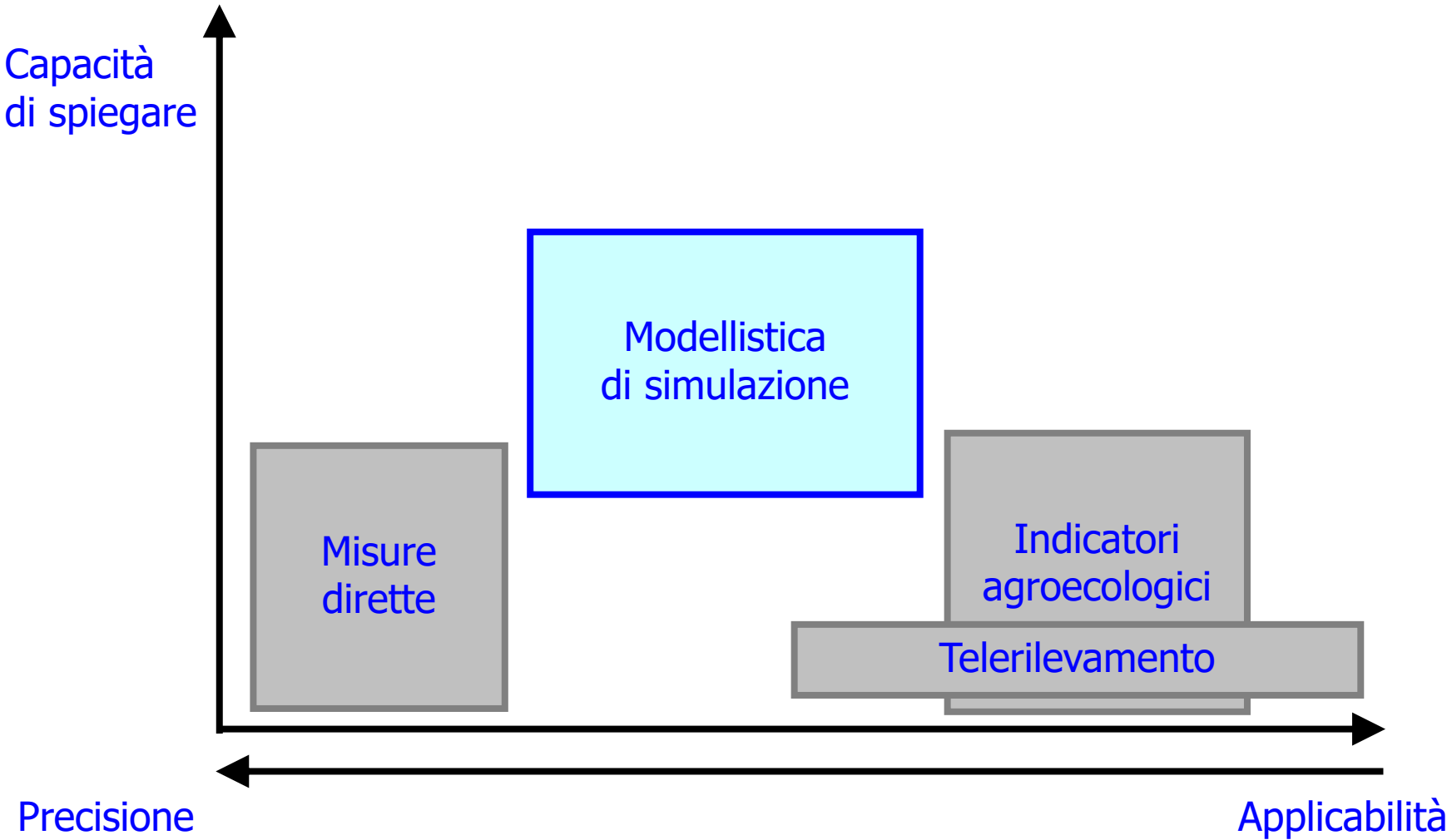


Sistemi Culturali





Sistemi Culturali





Valutare i modelli

Sistemi Culturali

Qualunque sia l'applicazione specifica per la quale viene richiesto l'uso di un modello di simulazione, è necessario:

1. identificare chiaramente gli **obiettivi** (cosa deve fare esattamente il mio modello?) e le **condizioni di applicazione** (es. scala, disponibilità di dati)
2. derivarne un **criterio quantitativo** per valutare i modelli in base alla loro adeguatezza
3. utilizzare il criterio ottenuto per **ordinare i modelli**
4. scegliere il modello più adeguato per la specifica applicazione (il *miglior modello* per quell'obiettivo ed in quelle condizioni)
5. usare criticamente il modello scelto



Diversi punti di vista

Sistemi Culturali



Pablo Picasso, "Guernica" (1937)



Diversi punti di vista

Sistemi Culturali

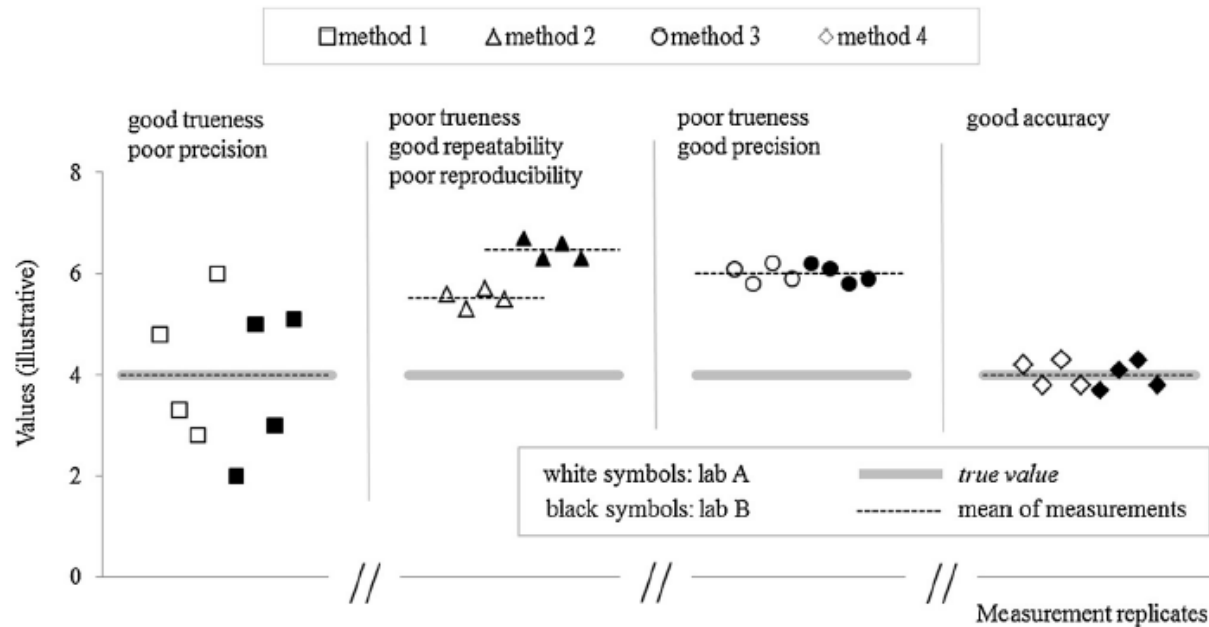
Il criterio scelto per valutare i modelli disponibili dipende fortemente dal punto di vista.

Oggi cercheremo di capire perché... intanto limitatevi a tenere bene a mente questa cosa.



“Accuratezza”... (ISO 5725-2)

R. Confalonieri et al. / Field Crops Research xxx (2014) xxx–xxx



In modellistica, viene intesa come una **stima dello scarto tra valori misurati e simulati**. Esistono molti indici per valutarla (Loague and Green, 1991).



Accuratezza

Sistemi Culturali

Root mean square error (RMSE; minimo e ottimo = 0; massimo = $+\infty$; Fox, 1981)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{n}}$$

Relative root mean square error (RRMSE; minimo e ottimo = 0%; massimo = $+\infty$; Jørgensen et al., 1986; anche chiamato GSD: General standard deviation)

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{n}}}{\overline{M}} \cdot 100$$



Accuratezza

Sistemi Culturali

Modelling Efficiency (EF; minimo = $-\infty$; massimo e ottimo = 1; Nash and Sutcliffe, 1970) se negativo, la media dei misurati è meglio del modello!!!

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}$$

Coefficient of Residual Mass (CRM; minimo = $-\infty$; massimo = $+\infty$; ottimo = 0; Loague and Green, 1991; se positivo indica sottostima; se negativo sovrastima)

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n M_i - \sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n M_i}$$



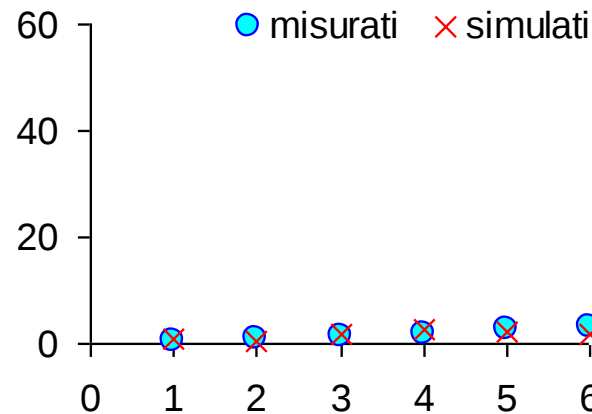
Accuratezza

Sistemi Culturali

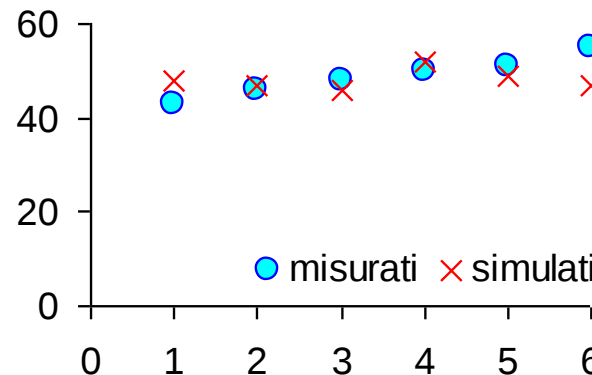
Attenzione che gli indici non danno tutti la stessa informazione:
valutano aspetti diversi dell'accuratezza

rilevamento	misurati	simulati
1	0.5	1
2	1	0.5
3	1.5	2
4	2	2.6
5	2.5	2.3
6	3	2

rilevamento	misurati	simulati
1	43	48
2	46	47
3	48	46
4	50	52
5	51	49
6	55	47



RRMSE = 34.21%
EF = 0.51



RRMSE = 8.44%
EF = -0.17



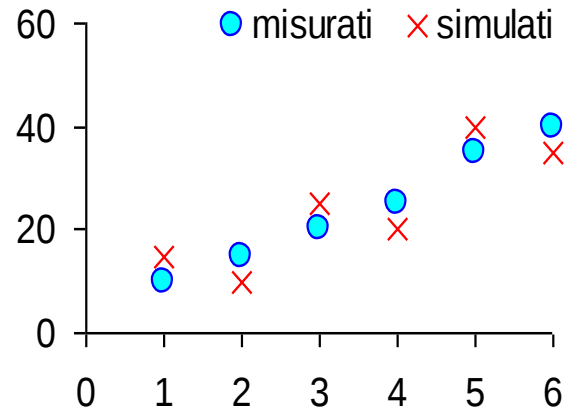
Accuratezza

Sistemi Culturali

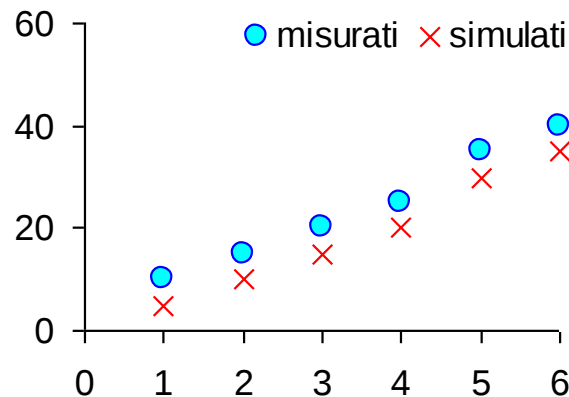
... e ancora

rilevamento	misurati	simulati
1	10	15
2	15	10
3	20	25
4	25	20
5	35	40
6	40	35

rilevamento	misurati	simulati
1	10	5
2	15	10
3	20	15
4	25	20
5	35	30
6	40	35



RRMSE = 20.69%
CRM = 0.00



RRMSE = 20.69%
CRM = 0.21



Esempi di valori di RRMSE e EF per diverse variabili

Variabile	RRMSE (%)	EF
biomassa aerea	22	0.85
indice di area fogliare	39	0.61
concentrazione di N totale	20	0.54
asportazioni di azoto	17	0.51
contenuto idrico	21	0.30
azoto minerale nel suolo	71	-0.06



"Complessità"

Sistemi Culturali

Il rasoio di Occam

"Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem"
(bisogna assumere la spiegazione più semplice per
un fenomeno se non ci sono evidenze per sceglierne
una più complessa)
(William di Occam, 1300-1349)



"La semplicità costituisce l'ultima sofisticazione"
(Leonardo da Vinci, 1452-1519)



"Non possiamo assumere spiegazioni di fenomeni
oltre a quelle che siano sia vere che sufficienti"
(Isaac Newton, 1643-1727)





“Complessità”

Sistemi Culturali

Il rasoio di Occam

“Grandi effetti con strumenti semplici”
(Ludwig van Beethoven, 1770-1827)



“Si è raggiunta la perfezione non quando non c’è
più niente da aggiungere, ma quando non c’è più
niente da togliere”
(Antoine de Saint Exupéry, 1900-1944)





"Complessità"

Sistemi Culturali

Tutte queste enunciazioni forniscono in qualche modo una definizione di semplicità che valuta due elementi:

- l'adeguatezza della soluzione fornita per spiegare un fenomeno
- il fatto che quel livello di adeguatezza sia raggiunto nel modo più semplice possibile (se c'è una componente nella soluzione fornita che non ne incrementa l'adeguatezza, quella componente non spiega niente del fenomeno e quindi deve essere eliminata dalla soluzione)





“Complessità”

Sistemi Culturali

Attenzione: il rasoio di Occam è considerato per sua stessa natura uno strumento conservativo.

Quindi potenzialmente in grado di rallentare il progresso scientifico.

Questo ha portato grandi scienziati e pensatori (e.g., Leibniz, Kant) a polemizzare con Occam, tanto da arrivare a formulare *anti-rasoi*.

In realtà, è semplicemente uno strumento potente, e come tale va usato nel modo corretto e senza abusi.

Ritengo che la famosa frase di Einstein “Ogni cosa dovrebbe essere fatta nel modo più semplice possibile, ma non più semplice” spesso considerata formulazione alternativa del rasoio, non sia altro che un invito a usare lo strumento, ma con cautela.





Akaike's Information Criterion (*AIC*)

716

IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL, VOL. AC-19, NO. 6, DECEMBER 1974

A New Look at the Statistical Model Identification

HIROTUGU AKAIKE, MEMBER, IEEE

- Premia modelli che garantiscono **buone performance** richiedendo **pochi input** (sia parametri che variabili)
- E' considerato un'ottima formulazione operativa del rasoio di Occam



“Complessità”

Sistemi Culturali

$$AIC = n \cdot \log(MSE) + 2 \cdot T$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2$$

n : numero di coppie misurato/simulato

T : numero di input (parametri + variabili)

S_i : valore simulato

M_i : valore misurato



“Complessità”

Sistemi Colturali

Esempio: Confalonieri et al. (2009)

Table 5

Mean square error (MSE , $t^2 \text{ ha}^{-2}$) and Aikake's Information Criterion (AIC) for WARM, CropSyst, and WOFOST in each experiment (validation dataset). Grayed areas show the best result per metric.

Experiment	Variety group	MSE (t ² ha ⁻²)			T^a			AIC		
		WARM	CropSyst	WOFOST	WARM	CropSyst	WOFOST	WARM	CropSyst	WOFOST
calibration set										
Opera 2004	I	1.118	1.893	0.629	10	15	34	20.097	30.554	67.597
Vignate 2002	I	4.065	6.463	1.071				21.218	31.621	68.059
C. Agogna 1995	JM	2.697	1.105	2.788				20.862	30.087	68.890
C. Agogna 1996	JM	4.040	2.927	1.913				21.213	30.933	68.563
Vercelli 1989	JM	3.358	2.238	2.920				21.052	30.700	68.931
validation set										
Opera 2002	I	0.990	3.404	0.547	10	15	34	19.991	31.064	67.476
Velezzo L. 1999	I	3.423	1.821	10.753				21.069	30.521	70.063
Mortara 1996	JM	1.664	0.840	0.939				20.442	29.848	67.946
Gudo Visconti 1990	JM	0.971	4.957	6.753				19.974	31.390	69.659
Vercelli 1990	JM	2.504	0.459	0.223				20.797	29.323	66.696
Mean		2.483	2.611	2.853	10	15	34	20.671	30.604	68.388

^aThe total number of parameters reported here for each model does not reflect the number of growth parameters reported in [Appendices A–E](#). The same simplifications introduced in the sensitivity analysis, as discussed in [Confalonieri et al. \(2006b\)](#), are used here.



Robustezza

Sistemi Colturali

Una possibile definizione:

“Un modello è robusto quando è in grado di riprodurre correttamente l’andamento nel tempo di diverse variabili di stato misurate in una gran varietà di condizioni pedoclimatiche e gestionali”.

E’ uno degli **aspetti chiave nella modellistica**, dal momento che ha a che fare con l’abilità di un modello di **funzionare in condizioni diverse** da quelle per le quali è stato calibrato e validato (e.g., scenari climatici, gestionali, applicazioni a larga scala per uso operativo, servizi, ecc.).



Robustezza

Sistemi Culturali

La mancanza di robustezza può essere dovuta a:

- incoerenza in alcune relazioni matematiche usate per formalizzare la conoscenza,
- buchi di conoscenza,
- inclusione nei parametri del modello (che dovrebbero invece rappresentare solo le caratteristiche del sistema modellizzato, a prescindere dalle condizioni di applicazione) di fattori relativi a specifiche località, stagioni o agrotecniche.

Ma come fare a quantificarla?

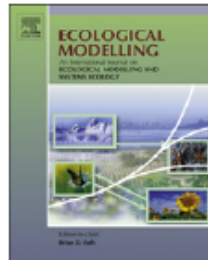


Ecological Modelling 221 (2010) 960–964

Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Modelling

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolmodel



Short communication

A proposal of an indicator for quantifying model robustness based on the relationship between variability of errors and of explored conditions

R. Confalonieri^{a,*}, S. Bregaglio^{a,b}, M. Acutis^a

^a Università degli Studi di Milano, Department of Plant Production, via Celoria 2, I-20133 Milan, Italy

^b Agriculture Research Council, Research Centre for Industrial Crops, Bologna, Italy



Indicatore di robustezza (I_R)

$$I_R = \frac{\sigma_{EF}}{\sigma_{SAM}}$$

$$SAM = \frac{\sum_{i=60}^{304} Rain - \sum_{i=60}^{304} ET_0}{\sum_{i=60}^{304} Rain + \sum_{i=60}^{304} ET_0}$$

i: giorno dell'anno, 60 = 1 marzo; 304 = 31 ottobre;

SAM va da -1 (arido) a +1 (umido)

IR va da 0 (ottimo) a $+\infty$

- SAM può essere sostituito con qualunque altro indice normalizzato per caratterizzare le condizioni di applicazione di un modello (ATTENZIONE!)
- Il concetto è di calcolare il rapporto tra variabilità dell'errore e variabilità delle condizioni di applicazione.



Robustezza

Sistemi Colturali

Table 2

Average and population standard deviation of relative root mean square error (RRMSE, %), modelling efficiency (EF), population standard deviation of the synthetic agrometeorological indicator (SAM), and Indicator of model robustness (I_R) for the models under study. Greyed areas show the best result per metric.

Type of model ^a	Variables simulated ^b	Model used	μ_{RRMSE} (%)	μ_{EF}	σ_{EF}	σ_{SAM}	I_R
1	Rad	BC	23.16	0.8186	0.0488	0.2269	0.2151
		CD	22.88	0.8200	0.0501		0.2208
		DB	23.34	0.8114	0.0520		0.2292
		Hgvs	23.74	0.8071	0.0592		0.2610
		HKS	23.33	0.8143	0.0602		0.2654
		MH	25.84	0.7743	0.0414		0.1823
	HARH	RH 1	25.69	0.2329	0.2069	0.2074	0.9975
		RH 2	25.15	0.2440	0.2113		1.0189
		RH 3	28.77	0.0747	0.3527		1.7007
		RH 4	27.21	0.1845	0.2605		1.2562
		RH 5	27.03	0.3171	0.1700		0.8196
		RH 6	27.66	0.1631	0.3458		1.6674
		RH 7	17.56	0.7004	0.0841		0.4056
		RH 8.0	29.55	-0.0082	0.3554		1.7138
		RH 8.1	26.89	0.1057	0.2862		1.3802
		RH 8.2	25.98	0.1015	0.2541		1.2250
		RH 8.3	26.87	-0.0419	0.3080		1.4853
		RH 8.4	29.29	-0.3510	0.4683		2.2580
		RH 8.5	32.85	-0.8486	0.7278		3.5092
	AGB (rice)	CropSyst	24.04	0.9012	0.0645	0.1914	0.3370
		WARM ^c	23.78	0.9316	0.0312		0.1632
		WOFOST	25.34	0.9333	0.0712		0.3719
2	AGB (rice; China)	WARM ^c	22.98	0.8990	0.0820	0.2220 ^d	0.3693
	LAI (rice; China)	WARM	39.21	0.6075	0.2236	0.1978 ^d	1.1304
	AGB (wheat)	CropSyst	22.00	0.7170	0.1556	0.1200	1.2964
	PNC (wheat)	CropSyst	18.67	-0.2500	2.6368	0.1027	25.6701
	UPTK (wheat)	CropSyst	17.22	0.5078	0.3542	0.1027	3.4483

^a 1: meteorological; 2: crop growth and development.

^b Rad: global solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$); HARH: hourly air relative humidity (%); AGB: aboveground biomass (t ha^{-1}); LAI: leaf area index ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$); PNC: plant N content (%); UPTK: N uptake (kg ha^{-1}).



Metriche diverse...

Sistemi Culturali

- Le diverse metriche di valutazione «premiano», di volta in volta, modelli diversi:
- è fondamentale definire un criterio di valutazione specifico per gli obiettivi dello studio e per le condizioni di applicazione.

