

# CONFRONTO FRA SOLUZIONI DI MODELLAZIONE PER LA GENERAZIONE DI UMIDITÀ RELATIVA ORARIA

Bregaglio, S.<sup>1</sup>, Donatelli, M.<sup>2,4</sup>, Confalonieri, R.<sup>1</sup>, Orlandini, S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Università di Milano, Dipartimento di Produzione Vegetale, Milano E-mail: [simone.bregaglio@unimi.it](mailto:simone.bregaglio@unimi.it)

<sup>2</sup> CRA - Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna

<sup>3</sup> Università di Firenze - Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agro-Forestale, Firenze

<sup>4</sup> European Commission - Joint Research Centre, AGRI4CAST Action, Ispra (VA)

## Abstract

La disponibilità di dati orari di umidità relativa (RH) dell'aria è un requisito fondamentale per la stima della dinamica di epidemie causate da fitopatogeni con modelli di simulazione. RH è una variabile guida dei processi di germinazione e infezione a carico di spore fungine; molti modelli epidemiologici la richiedono come input, per usarla direttamente o come input per la stima della bagnatura fogliare. La RH oraria deve essere stimata spesso perché non disponibile, nei casi in cui si vogliono eseguire simulazioni di epidemiologia su vaste aree, o quando si vogliono utilizzare scenari di cambiamento climatico. Sono state comparate tredici soluzioni di modellazione per la stima di RH oraria, richiedenti input diversi, su un ampio dataset comprendente diversi anni di località italiane e straniere. Per la valutazione comparativa è stato utilizzato un indicatore composto da quattro moduli: accuratezza, robustezza, correlazione e pattern, aggregati utilizzando la logica fuzzy.

## Introduzione

La disponibilità di dati climatici è uno dei fattori maggiormente limitanti lo sviluppo della ricerca in molte scienze applicate (e.g. Donatelli et al., 2004). In particolare, la disponibilità di dati orari di RH è fondamentale per la previsione delle epidemie fungine, poiché essa è una variabile guida dello sviluppo e della propagazione di molti patogeni fogliari (Laurence et al., 2002, Sutton et al., 1984, Friesland 1988, Huber, 1992). La maggior parte dei modelli epidemiologici presenti in letteratura la richiedono come input sia direttamente sia per la stima della bagnatura fogliare (e.g. SimPhit - Gutsche & Kluge, 1996, ProPhy - Nugtern, 1997, Magarey et al., 2005). Mentre nell'ultimo decennio è aumentata, nelle stazioni agrometeorologiche, la disponibilità di dati orari di RH, spesso questi valori sono assenti in banche dati relative a serie storiche (e.g. MARS Database, Micale e Genovese, 2004). Per questi motivi, mirando ad un utilizzo su ampia scala dei modelli di simulazione epidemiologici e con scenari di cambiamento climatico, è richiesta la generazione di RH oraria attraverso modelli, partendo da dati comunemente misurati.

Alcuni autori (e.g. Smith et al., 1997; Yang et al., 2000) suggeriscono che nel processo di valutazione delle prestazioni dei modelli sia necessario integrare diversi indici statistici per giungere ad una stima esauriente. Seguendo questa linea guida, è stato sviluppato un nuovo indicatore modulare ( $I_{RH}$ ), che tiene in considerazione gli aspetti più importanti della valutazione dei modelli di simulazione: l'accuratezza della stima, la correlazione, il pattern dei residui (Donatelli et al., 2004b) e la robustezza, intesa come capacità del modello di mantenere costante l'errore nelle diverse condizioni climatiche.

Gli obiettivi di questo lavoro sono dunque: 1) valutare tredici soluzioni di modellazione per la stima di RH

dell'aria, 2) presentare un indice composto per una valutazione delle stesse.

## Materiali e metodi

Le soluzioni di modellazione (Tab.1) sono state comparate attraverso un progetto sviluppato allo scopo e che ha utilizzato componenti di CLIMA (Donatelli et al., questi atti; <http://agsys.cra-cin.it/tools/clima/help/>).

Tab.1 – Riferimenti bibliografici delle soluzioni di modellazione valutate per la generazione di umidità relativa oraria dell'aria ( $T_r$  = temperatura di rugiada).

n	Riferimento bibliografico
1	Allen et al., 1998, ASAE, 1998, Bekele et al., 2007 (Tr giornaliera)
2	Allen et al., 1998, ASAE, 1998, Bekele et al., 2007 (Tr oraria)
3	Allen et al., 1998, ASAE, 1998
4	Allen et al., 1998, ASAE, 1998, Hubbard et al., 2003
5	Allen et al., 1998, ASAE, 1998, Linacre, 1992
6	Allen et al., 1998, ASAE, 1998, Ephrat et al., 1996
7	Waichler et al., 2003
8	Kimberley et al., 2008, Waichler et al, 2003 (5 calibrazioni valutate per il parametro AridityFactor)

Le simulazioni sono state effettuate su un ampio numero di località e in diversi anni (Tab. 2). La composizione dell'indicatore modulare  $I_{RH}$  è illustrata in Tab. 3.

Per l'aggregazione di  $I_{RH}$  è stata utilizzata la logica fuzzy (e.g. Bellocchi et al., 2002). L'incidenza relativa di ciascun indice sull'indicatore è stata dedotta combinando il peso degli indici all'interno del modulo con il peso dei moduli sull'indicatore  $I_{RH}$ , come illustrato in Tab.4.

Tab. 2 – Località e anni in cui sono state effettuate le simulazioni.

Località	Anni
Almonte, Andalusia (SPA)	2007
Arezzo, Toscana (IT)	2007
Campo Galliano, Emilia Romagna (IT)	2007, 2008
Castelfranco Emilia, Emilia Romagna (IT)	2007
Caronia Buzza, Sicilia (IT)	2003-2007
Isla Cristina, Huelva (SPA)	2007
Firenze, Toscana (IT)	2007
Grosseto, Toscana (IT)	2007
Javea, Valenciana (SPA)	2007
Lagos, Faro (POR)	2005
La Palma, Murcia (SPA)	2007
Lentini, Sicilia (IT)	2004-2007
Lucca, Toscana (IT)	2007
Mineo, Sicily (IT)	2003-2007
Mirandola, Emilia Romagna (IT)	2005
Misilmeri, Sicilia (IT)	2003-2007
Paternò, Sicilia (IT)	2003-2007
Pistoia, Toscana (IT)	2007
Ribera, Sicilia (IT)	2003-2007
Riposto, Sicilia (IT)	2005-2007
San Felice sul Panaro, Emilia Romagna (IT)	2007
Varese, Lombardia (IT)	2003-2005
Zola Pedrosa, Emilia Romagna (IT)	2005, 2006

Tab. 3 – Moduli che compongono l'indicatore  $I_{RH}$ .

Modulo	Indici utilizzati	Peso
Accuratezza	RMSE, EF	0.450
Correlazione	r	0.225
Pattern	PI <sub>ora</sub> , PI <sub>giorno</sub> , PI <sub>temp</sub>	0.225
Robustezza	I <sub>R</sub>	0.100

RMSE, root mean square error; EF, modelling efficiency; r, coefficiente lineare di Pearson; PI<sub>ora</sub>, pattern index ore; PI<sub>temp</sub>, pattern index temperatura oraria dell'aria; PI<sub>giorno</sub>, pattern index giorni dell'anno, I<sub>R</sub>, indice di robustezza

Tab. 4 – Peso di ogni indicatore nell'ambito del modulo di appartenenza

Indice	RMSE	EF	r	PI <sub>ora</sub>	PI <sub>giorno</sub>	PI <sub>temp</sub>	I <sub>R</sub>
Peso	0.5	0.5	1	0.33	0.33	0.33	1

## Risultati

I valori totali dei moduli parziali e dell'indicatore  $I_{RH}$  per le tredici soluzioni di modellazione sono riportati in Tab. 5.

Tab. 5 – Valori parziali dei moduli e dell'indicatore  $I_{RH}$

n	Acc.	Corr.	Pat.	Rob.	$I_{RH}$
1	0.541	0.269	0.180	0.204	<b>0.420</b>
2	0.500	0.226	0.184	0.223	<b>0.408</b>
3	0.682	0.456	0.427	0.903	<b>0.584</b>
4	0.642	0.268	0.186	0.478	<b>0.510</b>
5	0.477	0.196	0.088	0.083	<b>0.340</b>
6	0.631	0.335	0.118	0.883	<b>0.487</b>
7	0.017	0.002	0.046	0.000	<b>0.022</b>
8_0	0.798	0.321	0.252	0.911	<b>0.578</b>
8_1	0.683	0.330	0.251	0.630	<b>0.507</b>
8_2	0.646	0.340	0.255	0.439	<b>0.484</b>
8_3	0.730	0.351	0.271	0.739	<b>0.521</b>
8_4	0.837	0.362	0.296	1.000	<b>0.621</b>
8_5	0.923	0.375	0.323	1.000	<b>0.677</b>

La Tab. 5 mostra come la soluzione di modellazione numero 7 abbia ottenuto i migliori risultati in ogni modulo parziale e quindi anche nel valore di  $I_{RH}$ . Questo risultato era atteso poiché questa soluzione di modellazione è l'unica che utilizza in ingresso dati giornalieri di RH massima e minima. Nelle altre soluzioni di modellazione i valori di  $I_{RH}$  sono risultati superiori, in particolare il secondo miglior valore di  $I_{RH}$  è stato ottenuto dalla soluzione di modellazione

numero 5. Valori peggiori, ma inferiori a 0.5, sono poi stati ottenuti dalle soluzioni di modellazione 1, 2 seguite da 6 e 8\_2. Le altre soluzioni di modellazione testate hanno ottenuto valori di  $I_{RH}$  superiori a 0.5; il modello 6 è stato però calibrato solo sui dati della Sicilia, e quindi la valutazione è provvisoria.

## Conclusioni

L'indicatore composto sviluppato ha permesso di esplorare i diversi aspetti degli errori commessi dalle tredici soluzioni di modellazione. La sua natura esplicitamente multivariata permette di riutilizzarlo, estenderlo e personalizzarlo per valutazioni di altre tipologie di modelli. I risultati di  $I_{RH}$  hanno evidenziato come, se presenti, i valori giornalieri di RH massima e minima permettono un notevole miglioramento della stima dei valori orari. Quando essi siano assenti, lo studio ha evidenziato come gli errori commessi dai modelli aumentino notevolmente e che l'approccio scelto per la generazione di RH oraria sia cruciale. Il passo successivo sarà quello di testare le soluzioni di modellazione risultate più accurate tramite l'utilizzo dei dati di RH oraria generati in ingresso per modelli epidemiologici, mirando ad un loro utilizzo su larga scala e in scenari di cambiamento climatico.

## Ringraziamenti

Questa pubblicazione è stata parzialmente finanziata dal progetto AgroScenari del Ministero dell'Agricoltura e delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali. Si ringraziano per i dati orari l'ARPA delle regioni Emilia-Romagna e Lombardia e il SIAS (Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano), Regione Sicilia, Palermo.

## Bibliografia

- Bellocchi G., Acutis M., Fila G., Donatelli M., 2002. An indicator of solar radiation model performance based on a fuzzy expert system. *Agronomy Journal*, 94, 1222-1233.
- Donatelli M., Acutis M., Bellocchi G., Fila G., 2004. New indices to quantify patterns of residuals produced by model estimates. *Agronomy Journal*, 96, 631-645.
- Donatelli M., Bellocchi G., Habyarimana E., Bregaglio S., Confalonieri R., Baruth B., 2009. CLIMA: un generatore climatico modulare, questi atti.
- Donatelli M., Carlini L., Bellocchi G., 2006. A software component for estimating solar radiation. *Environmental Modelling & Software*, 21, 411-416.
- Gutsche V., Kluge E., 1996. The epidemic models for *Phytophthora infestans* and *Pseudocercospora herpotricoides* and their regional adaptation in Germany. *OEPP/EPPO Bulletin*, 26, 441-446.
- Magarey R.D., Sutton T.B., Thayer C.L., 2005. A simple generic infection model for foliar fungal plant pathogens. *Phytopathology*, 95, 92-100.
- Micale F., Genovese G., 2004. Methodology of the MARS Crop Yield Forecasting System. Vol. 1. Meteorological data collection, processing and analysis. Publications Office: European Communities, Italy, 100 pp.
- Nugtern W., 1997. ProPhy, a complete advice system for potato late blight control. In: E. Bouma & H. Schepers (Eds), PAV-Special Report No. 1, pp. 106-113.
- Smith P., Smith J.U., Powlson D.S., McGill W.B., Arah J.R.M., Chertov O.G., et al., 1997. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, 81, 153-225.
- Yang J., Greenwood D.J., Rowell D.L., Wadsworth G.A., Burns I.G., 2000. Statistical methods for evaluating a crop nitrogen simulation model, N\_ABLE. *Agricultural Systems*, 64, 37-53.