

## USO DEL PARAMETRO DI BAGNATURA FOGLIARE NELLA PREVISIONE DELLE MALATTIE DELLE PIANTE

A. Cicogna<sup>3</sup>, A. Dalla Marta<sup>1</sup>, R. Alilla<sup>2</sup>, S. Dietrich<sup>2</sup>, R. Fabbo<sup>4</sup>, M. Gani<sup>3</sup>, R. Giovanardi<sup>5</sup>, G. Maracchi<sup>1</sup>, S. Orlandini<sup>1</sup>, M. Sandra<sup>3,5</sup>, M. Severini<sup>2</sup>

[andrea.cicogna@csa.fvg.it](mailto:andrea.cicogna@csa.fvg.it)

- (1) *Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agro-Forestale, Università di Firenze*
- (2) *Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC)/CNR, Roma, Italy*
- (3) *Centro Servizi Agrometeorologici (CSA) per il Friuli V. Giulia*
- (4) *ARPA Friuli Venezia Giulia – Osservatorio Meteo Regionale*
- (5) *Dipartimento di Produzione Vegetale e Tecnologie Agrarie - Università di Udine*

### Riassunto

La bagnatura fogliare è una variabile di grande importanza per lo sviluppo di numerose malattie. La presenza di un velo d'acqua sulla superficie delle foglie, infatti, permette il movimento e la germinazione delle spore di alcuni microrganismi fungini e la loro penetrazione all'interno dei tessuti dell'ospite.

La conoscenza di tale variabile diventa quindi fondamentale per la previsione delle malattie e la difesa delle colture, soprattutto mediante l'applicazione di modelli agrometeorologici di simulazione.

Il presente lavoro ha come obiettivo la messa a punto e il confronto di diversi metodi di stima della durata della bagnatura fogliare. Come input per i modelli di simulazione sono utilizzati i dati del Friuli Venezia Giulia provenienti sia dalle stazioni agrometeorologiche standard sia dal radar polarimetrico GPM-500.

In questo modo è possibile verificare l'attendibilità e l'efficacia dei due diversi metodi di misurazione. Gli stessi dati costituiscono inoltre l'input di una rete neurale in grado di simulare le ore di bagnatura fogliare in base alle interazioni tra i diversi parametri agrometeorologici. Oltre all'utilizzo di modelli preesistenti il lavoro prevede la costruzione e la validazione di un nuovo modello fisico messo a punto per le specifiche condizioni del nostro territorio

Le ore di bagnatura fogliare stimate con i diversi metodi sono quindi confrontate con quelle misurate in campo. In seguito i dati simulati e i dati veri serviranno per creare i file di input per un modello di simulazione della peronospora della vite.

### **Abstract**

*Leaf wetness duration is an important parameter for the development of plant diseases. The presence of free water on plant organs in fact allows the movement and the germination of some fungal spores and their penetration in the host tissues. It follows that the knowledge of LWD becomes fundamental for plant diseases forecasting and, consequently, for crop protection, overall by the application of agrometeorological simulation models. The aim of this work was the set up and the comparison of different methods for LWD estimation. The meteorological data used as input were collected both from standard weather stations and from the polarimetric radar GPM-500. In this way it was possible to verify the reliability and the efficiency of the two different measurement methods. The same data were used as input to build an artificial neural network capable to find out the best relationship among them giving back, as output, the values of LWD. Moreover, a new physic model was created and validated for the specific climatic conditions of our territory. The LWD simulated with the different methods was compared with the measured one. Afterward the simulated and the measured data were used to create an input file for an epidemiological simulation model.*

### **Introduzione**

La bagnatura fogliare è un parametro agrometeorologico fondamentale per la previsione delle malattie delle piante. Vista la sua importanza, è stato proposto un progetto di studio sulla bagnatura fogliare che vede coinvolti più gruppi di lavoro sparsi in Italia e all'estero. Tale progetto è inserito nell'ambito dell'azione COST 718 (Meteorological Applications for Agriculture), il cui scopo è quello di incrementare l'uso d'informazioni meteorologiche in agricoltura e nella protezione ambientale (Orlandini *et al.*, 2002).

L'obiettivo principale del progetto di studio è sviluppare e validare un modello per la stima della durata della bagnatura fogliare a livello territoriale. Gli input da inserire nel modello provengono da dati raccolti in stazioni meteorologiche, ma anche da radar e, in un futuro, da satellite.

La stima della bagnatura a livello territoriale potrà consentire una migliore applicazione di modelli epidemiologici.

Il proposito di giungere ad un modello di bagnatura fogliare è multidisciplinare e alla sua riuscita in Italia collaborano gruppi di lavoro così distinti:

1. un primo gruppo che opera nel Friuli Venezia Giulia ed ha come scopo la gestione e la validazione dei dati meteorologici; in particolare, si

- occupa della gestione dei dati meteo, della produzione di mappe di durata di pioggia e della spazializzazione dei dati stessi;
2. un secondo gruppo che opera a Roma e prende in considerazione lo sviluppo di modelli di bagnatura fogliare, utilizzando modelli di condensazione-evaporazione in relazione al bilancio energetico e partendo da misurazioni effettuate in stazioni meteorologiche;
  3. un terzo gruppo che opera a Firenze e si occupa della calibrazione e validazione dei modelli di bagnatura fogliare, nonché dell'applicazione di modelli epidemiologici che simulino lo sviluppo di particolari malattie delle piante.

L'area di studio presa in considerazione per il progetto è la pianura del Friuli Venezia Giulia, dove opera da anni una rete di stazioni meteorologiche e, dal 1997, il radar meteorologico di Fossalon di Grado.

### **Stima della bagnatura a livello territoriale**

Le cause della bagnatura fogliare sono essenzialmente due: la pioggia e la rugiada. Uno studio effettuato in Friuli Venezia Giulia mette in luce come, durante i mesi estivi, la causa della bagnatura fogliare sia nell' 80% dei casi la rugiada e nel restante 20% la pioggia (Cicogna *et al.*, 2002).

L'origine della bagnatura fogliare ha effetti sul modo con cui questa può essere stimata a livello territoriale.

La stima può essere effettuata attraverso l'ausilio di metodi "classici" e di metodi "alternativi".

Nei metodi "classici" i dati di bagnatura fogliare, provenienti da una rete di stazioni meteorologiche, vengono spazializzati secondo diverse metodologie geostatistiche (Wackernagel, 1995).

Purtroppo alcuni dati meteorologici come la bagnatura fogliare dovuta alla pioggia sono spazialmente discontinui e quindi non sempre la loro spazializzazione dà risultati sufficientemente precisi.

Un secondo problema è legato agli standard degli strumenti. Infatti per il fenomeno della bagnatura non esistono degli strumenti di riferimento (Sabatini *et al.*, 2002).

I metodi "alternativi" prevedono l'uso congiunto di modelli di simulazione della bagnatura fogliare, di misure effettuate puntualmente in una rete di stazioni e di dati ottenuti attraverso strumenti di remote sensing (radar e/o satellite).

I dati quali la temperatura, l'umidità, la pressione, il vento, la radiazione, misurati in maniera puntuale nelle diverse stazioni, vengono spazializzati su una griglia. La pioggia viene invece stimata attraverso il radar (o il satellite). In ogni punto della griglia un modello di simulazione stima la bagnatura fogliare (sia quella dovuta a fenomeni di condensazione che alla pioggia), grazie ai dati di input provenienti da stazione o da remote sensing.

I vantaggi dei modelli di simulazione sono duplici: riescono a prevedere, con una buona precisione, la durata della bagnatura fogliare e, in secondo luogo, risolvono il problema degli standard degli strumenti.

I vantaggi, invece, del remote sensing sono connessi alla migliore descrizione spaziale di un fenomeno discontinuo come la pioggia (Bechini *et al.*, 2001).

## **Strutturazione del progetto di studio**

Il progetto può essere schematizzato in vari passi:

### **1) Primo passo: acquisizione dei dati**

I dati provenienti da stazioni meteorologiche vengono prima validati e poi interpolati in modo da giungere alla creazione di un griglia di valori agrometeorologici. Anche i dati radar (o da satellite) vengono valicati, ed essendo già delle griglie, assieme ai dati puntuali spazializzati, vanno direttamente a formare il database territoriale finale.

Nel progetto di studio è stato considerato un periodo temporale ben preciso (1/4/2000-30/09/2000 e 1/4/2001-30/09/2001).

Su questi dati sono state effettuate alcune valutazioni (Cicogna *et al.*, 2002). La prima riguarda il confronto tra dati di pioggia stimati da radar e quelli misurati nelle stazioni.

A titolo di esempio, per il giorno 16/9/2000 sono state costruite delle mappe di durata di pioggia giornaliera partendo da mappe radar (fig 3) o spazializzando i dati di pioggia misurati in ogni stazione a terra(fig.4). Si è evidenziato come le ore di durata della pioggia, variabile fortemente correlata con il tempo di bagnatura fogliare, sia molto diversificata sul territorio. La spazializzazione di tale variabile, a partire dai dati raccolti dalle stazioni meteorologiche, fornisce mappe di pioggia che, nonostante ricalchino quelle ottenute con il radar, presentano localmente (rispetto a queste ultime) differenze molto significative.(figura 4)

Queste differenze possono assumere ancora più importanza se si pensa di utilizzare tali dati in modelli epidemiologici.

Una seconda valutazione riguarda la verifica, effettuata su circa 83.000 casi, della possibilità di stimare la durata della bagnatura fogliare dovuta alla pioggia attraverso l'uso del Radar, analisi che ha dato esiti positivi. Si è visto, infatti, che esiste una buona correlazione tra piogge stimate da Radar e numero di ore di bagnatura fogliare. In tabella 1 è illustrato il confronto tra i dati provenienti da radar e da stazioni meteorologiche, dove sono attivi pluviometri e sensori di bagnatura. In particolare, nella tabella sono classificate tutte le ore di misura nel periodo in esame (1/4/2000-30/09/2000 e 1/4/2001-30/09/2001) in funzione della presenza (o assenza) di pioggia stimata da radar o misurata da pluviometro e della presenza (o assenza) di

bagnatura fogliare; l'errore commesso è inferiore al 2% nei casi osservati e quindi il radar presenta una buona precisione nello stimare la bagnatura fogliare dovuta alla pioggia.

## **2) Secondo passo: calcolo della bagnatura fogliare a livello territoriale**

Una volta creato un database sia per dati da stazioni a terra, sia per quelli da radar, tali dati possono essere utilizzati in modelli per la stima della bagnatura fogliare.

In particolar modo, nel progetto di studio sono stati testati tre tipi di modelli di bagnatura fogliare (Dalla Marta *et al.*, 2002):

1 **ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS (RN)**: sono sistemi di elaborazione costituiti da molte unità di calcolo (neuroni), ciascuna dotata di una piccola quantità di memoria, connesse tra loro da canali di comunicazione (sinapsi) che trasportano dati numerici. Le RN hanno la capacità di mappare le relazioni tra input e output, ovvero di costruirsi un modello interno delle relazioni tra le grandezze che partecipano a un dato fenomeno, a partire da dati sperimentali (Patterson, D.W., 1996)

2 **DROPBEN** (Wittich, Germania): il modello è costituito da due sotto-moduli: il primo simula la formazione e l'evaporazione della rugiada ed è attivo quando non piove ed il secondo simula il tempo di evaporazione delle gocce di pioggia depositate sulle foglie; la bagnatura fogliare inizia con l'inizio della pioggia e finisce quando le gocce sono totalmente evaporate (Wittich, 1993)

3 **SWEB (Magarey, USA)**: è costituito da 4 moduli: il primo descrive la distribuzione dell'acqua sulle foglie, il secondo esegue un "bilancio idrico" sulla canopy, nel terzo viene risolto il bilancio energetico, nel quarto si tiene conto dell'influenza del vento (Magarey, 1999)

Il confronto tra questi tre modelli ha dato i seguenti risultati:

- ogni modello utilizzato tende a sovrastimare la durata della BF;
- il limite più evidente di ogni modello sembra essere legato alla sovrastima del periodo di evaporazione;
- molti modelli danno un output orario 0/1 (dry, wet); per avere dei risultati standard è importante stabilire delle soglie efficaci che discriminino in modo non ambiguo tra ora con foglia bagnata e ora con foglia asciutta.

Oltre a testare modelli presenti in bibliografia, il gruppo di lavoro ha sviluppato un modello "in proprio" che calcola la bagnatura fogliare risolvendo l'equazione del bilancio energetico. Lo sforzo in questo sottoprogetto è stato quello di riuscire a sviluppare un modello che potesse funzionare a partire dai dati di una stazione agrometeorologica standard. Solitamente nelle stazioni agrometeorologiche non viene misurato un

parametro importante come la radiazione netta e questo rappresenta un grosso limite, specie in condizioni di cielo coperto (Severini *et al.*, 2002).

### 3) Terzo passo: applicazione in modelli epidemiologici

Una volta create le mappe di bagnatura fogliare, oltre ovviamente a quelle degli altri dati meteorologici, è possibile far girare su ogni punto della griglia dei modelli epidemiologici.

Vista l'importanza della coltura della vite in Friuli Venezia Giulia e della forte pressione in questo ambiente della *Plasmopara viticola*, il primo modello testato ha riguardato proprio quest'ultimo patogeno. Si sono effettuate delle prime simulazioni utilizzando il Modello PERO.

PERO (Hoppman *et al.*, 1997) è un modello fisico in grado di calcolare l'inizio delle infezioni primarie di Peronospora e il loro sviluppo, la durata del periodo di incubazione, il verificarsi delle infezioni secondarie e il grado d'attacco della malattia, espresso in numero di macchie d'olio per ettaro. Gli input utilizzati dal modello sono molteplici: giorno di inizio dell'infezione primaria (opzionale), umidità relativa (%), precipitazioni (mm), temperatura (°C), bagnatura fogliare (si/no).

In queste simulazioni sono stati utilizzati dati di bagnatura direttamente misurati in stazione o simulati mediante SWEB, DROPBEN o RN.

Dall'applicazione di PERO sono derivati i seguenti risultati:

- l'andamento generalmente esponenziale delle infezioni accentua le conseguenze di leggere sovrastime iniziali di bagnatura fogliare. In questo senso i modelli di bagnatura fogliare utilizzati fanno simulare a PERO più cicli infettivi all'anno rispetto a quelli che si riscontrano con i dati di BF misurati (figura 5);
- inoltre questo evidenzia quanto la bagnatura fogliare sia una variabile critica nella simulazione delle malattie (parametro soglia e di intensità della malattia).

### Risultati preliminari del progetto di studio

In conclusione, è possibile affermare che:

- 1) Il radar polarimetrico GPM-500 (Fossalon di Grado) è un buon strumento per stimare la bagnatura fogliare dovuta a pioggia. Tale strumento può fornire delle mappe di bagnatura fogliare dovuta alla caduta della pioggia molto dettagliate commettendo, verosimilmente, un errore più piccolo di quello ottenibile spazializzando i dati delle singole stazioni.

Purtroppo, almeno i 4/5 dei casi di bagnatura fogliare non possono essere stimati dal radar, visto che si tratta di bagnatura dovuta al deposito della rugiada. In questo senso, diventa molto importante l'utilizzo di modelli di

simulazione per stimare il deposito di rugiada e i relativi tempi di asciugatura dell'acqua dalle foglie.

- 2) Si rende necessaria inoltre la creazione di un modello di bagnatura fogliare maggiormente "performante" in presenza di copertura nuvolosa.
- 3) La bontà della stima della bagnatura fogliare ha effetti rilevanti negli output di modelli che simulano il ciclo della *Plasmopara viticola*.

*Figura 1 - Dislocazione delle stazioni meteorologiche in Friuli Venezia Giulia; ci sono 380 stazioni in tutta la regione, di cui almeno 88 (pallini blu) sono utilizzate per la difesa guidata in viticoltura.*

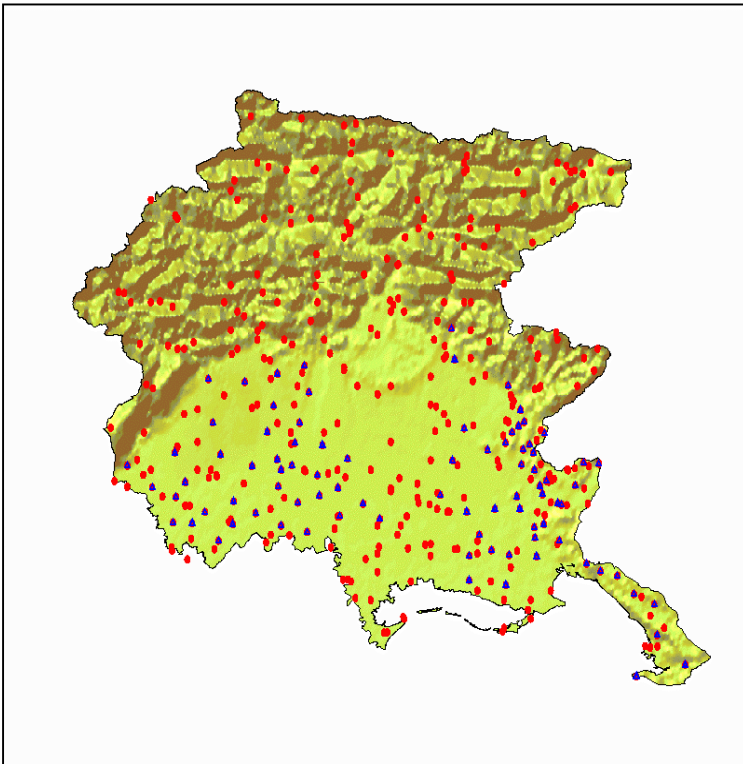


Figure 2 e 3 - Mappe di durata della pioggia ottenuta rispettivamente spazializzando i dati a terra (in alto) e a partire dai dati radar (in basso).

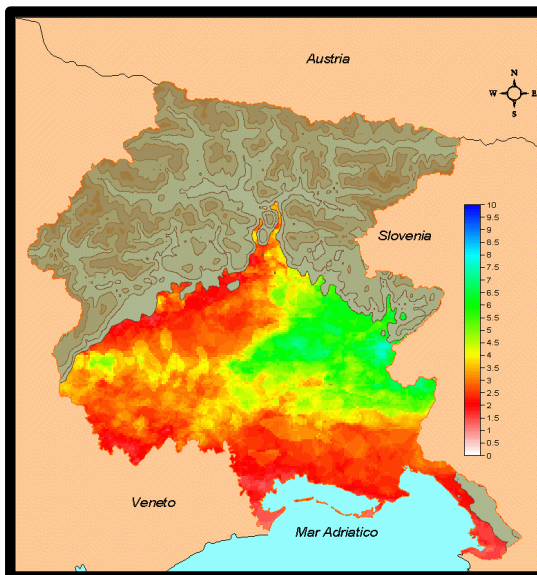
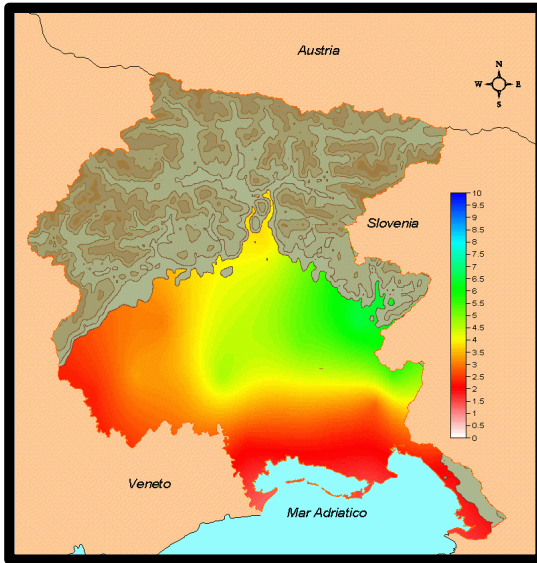




Figura 4 - Mappa della differenza delle durate di pioggia delle mappe 2 e 3

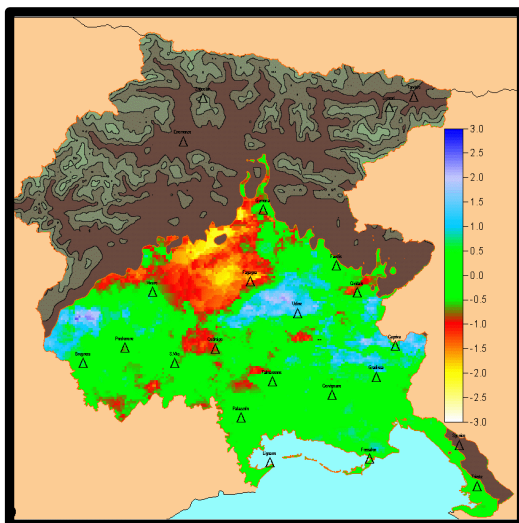
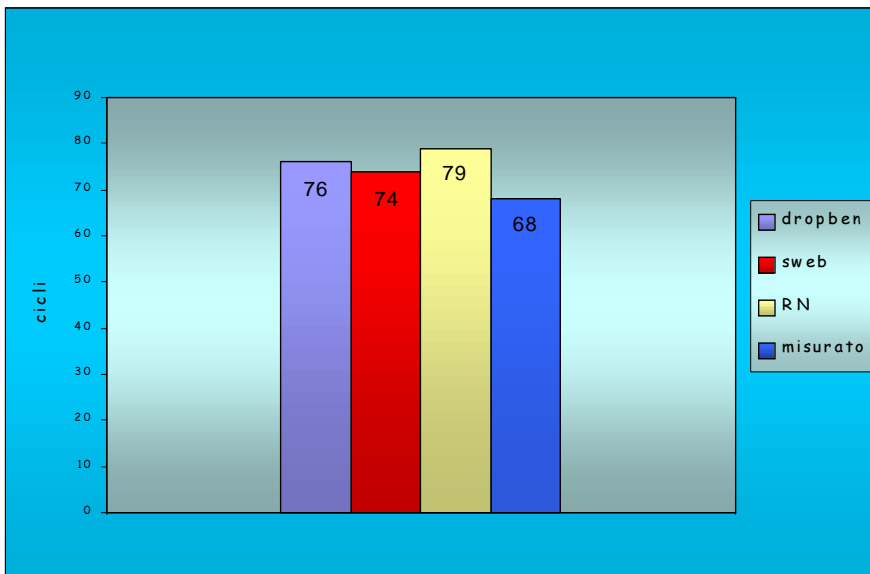


Tabella 1 - Classificazione delle ore del periodo preso in esame in funzione della presenza (S) o assenza (N) di pioggia stimata da radar o misurata da pluviometro e della presenza o assenza di bagnatura foliage.

Tipologia	Sensore di bagnatura	Pluviometro	Radar	Dati	% sui parziali	% sul totale
1	S	S	S	3716	16.7%	4.5%
2	S	S	N	830	3.8%	1.0%
3	S	N	S	600	2.7%	0.7%
4	S	N	N	17109	76.8%	20.5%
			<b>Parziale</b>	22255	100.0%	26.7%
5	N	S	S	0	0.0%	0.0%
6	N	S	N	12	0.0%	0.0%
7	N	N	S	138	0.2%	0.2%
8	N	N	N	61069	99.8%	73.2%
			<b>Parziale</b>	61219	100.0%	73.3%
			<b>Totale generale</b>	83474		100.0%

Figura 5 – Confronto tra i diversi modelli di bagnatura fogliare applicati a PERO per la misurazione dei cicli infettivi di *Peronospora*



## Bibliografia

Bechini R., Gorgucci E., Scarchilli G., Dietrich S., 2002. The operational weather radar of Fossalon di Grado (Gorizia, Italy): accuracy of reflectivity and differential reflectivity measurements meteorol. atmos phys 79 (2002) 3-4, 275-284;

Cicogna A., Dietrich S., Gani M., Giovanardi R., Sandra M., 2002. Stima della bagnatura fogliare dovuta alla pioggia attraverso misure radar. In: II Giornate di studio su Metodi numerici, statistici e informatici nella difesa delle colture agrarie e delle foreste: ricerca e applicazioni (Pisa, 20-23 maggio 2002) - *in Press*.

Dalla Marta A., Cicogna A., De Vincenzi M., Gani M., Orlandini S., 2002. Studio comparativo di alcuni metodi di stima della bagnatura fogliare. In: II Giornate di studio su Metodi numerici, statistici e informatici nella difesa delle colture agrarie e delle foreste: ricerca e applicazioni (Pisa, 20-23 maggio 2002) - *in Press*.

Hoppmann D., Wittich K. P., 1997. Epidemiology-related modelling of the leaf-wetness duration as an alternative to measurements, taking *Plasmopara viticola* as an example. - j. of plant dis. a. protect. 104 (6),533-544

- Magarey R.D., Weiss A., Gillespie T., Huber L., Seem R.C., 2001. Estimating surface wetness duration on plants - *in Press*.
- Orlandini S., Dietrich S., 2002. La bagnatura fogliare: un parametro agrometeorologico fondamentale per la previsione delle malattie delle piante. In: II Giornate di studio su Metodi numerici, statistici e informatici nella difesa delle colture agrarie e delle foreste: ricerca e applicazioni (Pisa, 20-23 maggio 2002) - *in Press*.
- Sabatini F., Dalla Marta A., Orlandini S., 2002. Sensori per la misura della bagnatura fogliare: stato dell'arte e problematiche d'impiego. In: II Giornate di studio su Metodi numerici, statistici e informatici nella difesa delle colture agrarie e delle foreste: ricerca e applicazioni (Pisa, 20-23 maggio 2002) - *in Press*.
- Severini M., Alilla R., Dietrich S., Orlandini S., Cossu A., 2002. Calcolo del deposito e della evapotraspirazione tramite le misure di una stazione agrometeorologica standard. In: II Giornate di studio su Metodi numerici, statistici e informatici nella difesa delle colture agrarie e delle foreste: ricerca e applicazioni (Pisa, 20-23 maggio 2002) - *in Press*.
- Wackernagel H. 1995., Multivariate Geostatistics: Introduction with Application. Springer-Verlag, Berlin 256p.
- Patterson, D.W., 1996, Artificial neural networks: theory and applications, Simon & Schuster, Singapore, pp. 477.
- Wittich K.P., 1993 - Ansätze zur Abschätzung der Blattbenetzungsdauer. DWD intern 54 (Beiträge zur Agrarmeteorologie 1/93), Deutscher Wetterdienst. Offenbach: p.44.
- Magarey R.D., 1999 - A theoretical standard for surface wetness estimation. Ph.D. Diss. Cornell University, Ithaca, NY.