

Sviluppo e applicazione di un sistema previsionale per la difesa dalle gelate primaverili in Val di Chiana

Simone Orlandini^{*1}, Marco Mancini², Daniele Grifoni³, Gianni Messeri³,
Anna Dalla Marta¹, Gaetano Zipoli³

¹Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agroforestale, Università di Firenze,
Piazzale delle Cascine 18, 50144 Firenze

²Centro Interdipartimentale di Bioclimatologia, Università di Firenze, Piazzale delle Cascine 18, 50144 Firenze

³Istituto di Biometeorologia, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via Caproni 8, 50145 Firenze

Data di presentazione: 30 novembre 2007

Data di accettazione: 5 maggio 2008

Riassunto

Le gelate tardive rappresentano una delle avversità più gravi per l'agricoltura italiana. Diversi metodi sono stati sviluppati per la protezione delle colture, ma la loro applicazione risulta particolarmente efficace (anche da un punto di vista economico) se supportata da sistemi di previsione durante i periodi a rischio. Su queste basi è stato sviluppato un sistema previsionale delle gelate tardive nella Val di Chiana, area interessata dalla coltivazione di cereali e da produzioni frutticole di qualità (melo, pero, pesco, ciliegio). Il sistema è costituito da un modello empirico, basato su una preventiva analisi agroclimatica della zona, che ha permesso di identificare le dinamiche di raffreddamento nel periodo primaverile. Queste sono state analizzate in funzione di vari tipi di condizioni meteorologiche (tipi di tempo). Una rete di stazioni agrometeorologiche complete presente sul territorio è stata integrata da 10 stazioni termoigrometriche per fornire sia ulteriori indicazioni sulle caratteristiche agroclimatiche delle diverse aree, sia dati per la calibrazione delle funzioni di diminuzione della temperatura. Tutte queste informazioni hanno rappresentato la base per la realizzazione di un bollettino previsionale, emesso a cadenza trioraria, a partire dalle 13.00 di ogni giorno nel periodo interessato dalle gelate tardive. I dati del 2006 sono stati analizzati per verificare l'attendibilità della previsione e le implicazioni operative per i frutticoltori della zona.

Parole chiave: modelli, bollettino agrometeorologico, inversione termica, temperatura, nuvolosità, vento.

Summary

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A FORECASTING SYSTEM TO AVOID SPRING FROST DAMAGE IN CHIANA VALLEY

Late frost is one of the more serious adversity for Italian agriculture. Several methods have been developed to protect cultivations, but their application results particularly effective (also from an economic point of view) only if supported by forecasting systems during the more susceptible period of the year. On these basis a forecasting system of late frost in Val di Chiana (an area in central Italy mainly cultivated with cereals and high quality fruits) was developed. The system consists in an empirical model, based on a preventive agroclimatic analysis of the area to identify night cooling dynamics (for several meteorological conditions) in the spring. A network of 10 thermo-hygrometric stations was installed in the area integrating the information obtained by a local agrometeorological station network. The final product was a forecasting bulletin emitted every three hours beginning from the 13:00 p.m. A validation of the system was performed for 2006 to verify the forecast skill.

Key-word: models, agrometeorological bulletin, thermal inversion, temperature, cloudiness, wind.

* Autore corrispondente: tel.: +39 055 3288257; fax: +39 055 332472. Indirizzo e-mail: simone.orlandini@unifi.it

Introduzione

Tra gli elementi del clima che influenzano direttamente gli ecosistemi agrari, la temperatura riveste un'importanza rilevante essendo strettamente legata al tasso di sviluppo e di crescita della coltura e potendo quindi determinare la quantità e la qualità della produzione. Inoltre gli estremi termici ed in particolare le basse temperature, possono essere causa di danni, più o meno gravi, a seconda della fase fenologica in cui si trova la pianta. Come riportato da Zinoni et al. (2000) nel melo la suscettibilità al freddo passa da una soglia critica di $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante la rottura delle gemme a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ nella fase di punte verdi ed orecchiette di topo, $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ tra bottoni rosa e fioritura e $-1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ fra caduta petali e allegagione. Nel pesco i danni da freddo primaverile cominciano a prodursi da $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ nella fase di gemma rigonfia, a circa $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ da corolla visibile a piena fioritura e $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ dalla scamicatura a ingrossamento frutti. Nel grano si ha la resistenza massima durante la fase di accestimento, poi nelle fasi di inizio levata fino a due nodi visibili si hanno danni già a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Naturalmente queste soglie sono indicative essendo condizionate da notevoli altri fattori, quali la varietà, lo stato fisiologico e nutrizionale della pianta, il sistema di allevamento, ecc. (Bonciarelli, 1989).

Oltre ai fattori biologici l'impatto della gelata è legato anche alla notevole variabilità della temperatura nello spazio, funzione di numerosi fattori (Bertini, 1999), che determina un'eterogenea distribuzione dei danni sulle coltivazioni. Analisi topoclimatiche riguardanti la variabilità spaziale delle temperature minime hanno messo in evidenza come marzo sia il mese in cui essa raggiunge i valori massimi, seguito da aprile (Mancini, 1999). Ciò è principalmente imputabile alle frequenti inversioni termiche che si verificano in condizioni di assenza di vento durante le notti serene (Seemann, 1979) e al diverso riscaldamento del terreno in aree che ricevono una differente quantità di radiazione solare (Rosenberg et al., 1983). Uno tra i riscontri pratici più evidenti della relazione tra topografia e temperatura si può avere nelle gelate per inversione termica dove la vegetazione risulta danneggiata secondo le curve di livello, o nei danni da alte temperature dove l'esposizione spesso gioca un ruolo chiave, mentre nelle

aree pianeggianti la maggiore uniformità geomorfologica determina una minore variabilità del campo termico (Bootsma, 1976; Seghi et al., 1996; Moriondo et al., 1998; Orlandini et al., 2000).

A livello di macroscale gli eventi gelivi che si verificano in Italia sono, spesso, la conseguenza della circolazione da Nord-Est che apporta masse d'aria fredda dalla Siberia (Cecon e Borin, 1995). Normalmente questo fenomeno meteorologico presenta la massima frequenza nei mesi di gennaio e febbraio. Negli ultimi anni è stato osservato un cambiamento di questi eventi con un'intensificazione di frequenza nei mesi di marzo ed aprile (Maracchi, 2000). Le masse d'aria fredda siberiana scendono sempre più frequentemente nel nostro paese durante la ripresa vegetativa, che risulta anticipata a causa di inverni miti, provocando danni. Naturalmente è impossibile modificare la circolazione atmosferica, ma la conoscenza delle dinamiche gelive può essere un utile mezzo per la messa a punto di adeguate strategie di difesa.

La previsione di gelata si basa frequentemente su algoritmi che legano la temperatura minima prevista ad alcune variabili predittrici. Quelle maggiormente impiegate sono la temperatura dell'aria ad una determinata ora del giorno precedente (spesso al tramonto), il vento, la temperatura di rugiada, la nuvolosità, l'umidità dell'aria e del terreno, ecc. In territori ad orografia complessa, oltre a variabili meteorologiche, vengono spesso considerate anche variabili geo-topografiche al fine di rappresentare al meglio la variabilità spaziale della gelata.

In Italia molti servizi agrometeorologici hanno realizzato modelli previsionali. Tra i più conosciuti ricordiamo quelli messi a punto per l'area di Trento nell'ambito del progetto GEPRI (Ghielmi and Eccel, 2006), dove per la previsione della temperatura minima sono state impiegate sia reti neurali che modelli multiregressivi; l'algoritmo A.N.Gela (Algoritmo di Nowcasting per le Gelate) (Cicogna et al., 2000) in grado di prevedere l'evoluzione delle temperature orarie dal tramonto all'alba in 18 località della pianura del Friuli Venezia Giulia; infine un metodo regressivo è stato anche impiegato per la previsione delle temperature minime e di gelate sul bacino del Trasimeno (Basili et al., 2006).

In Valdichiana mancano stazioni meteorologiche con una serie storica adeguata e con trasmissione automatica dei dati per la messa a punto di modelli previsionali e per il loro funzionamento in tempo reale. La stazione più vicina all'area di studio con tali caratteristiche è quella dell'aeroporto di Arezzo che oltre ai classici parametri misurati dalle stazioni meteorologiche presenta anche quello di nuvolosità.

Sulla base di queste considerazioni la presente ricerca è stata effettuata con lo scopo di realizzare un modello empirico per prevedere le gelate primaverili in Val di Chiana e verificarne la validità mediante confronto con i dati reali misurati da stazioni meteorologiche. Poiché le dinamiche di raffreddamento notturno sono fortemente influenzate dalla presenza di vento e/o nuvolosità, il modello è stato sviluppato per tenere in considerazione anche queste due variabili. Il modello realizzato è stato utilizzato per la produzione di bollettini agrometeorologici a supporto degli agricoltori della zona per la programmazione degli interventi di difesa delle colture.

Materiali e metodi

Area di studio

La Val di Chiana è una pianura, estesa in direzione nord-sud, che occupa oltre 800 Km², nelle province di Arezzo, Siena e Perugia. È stata ottenuta tramite bonifica per colmata con la realizzazione del Canale Maestro della Chiana che attualmente è affluente diretto dell'Arno.

Le coltivazioni più importanti sono la cerealicoltura, il pomodoro da industria e la frutticoltura. In particolare quest'ultima si è sviluppata nella parte più a nord, a partire dal 1920, grazie all'abbondanza di acqua disponibile nel sottosuolo e ai terreni molto sabbiosi capaci quindi di permettere interventi fitosanitari tempestivi dopo le piogge. La giacitura è prevalentemente pianeggiante e le quote oscillano tra 240 e 280 m s.l.m. (fig. 1).

L'attuale superficie a frutticoltura è di circa 1000 ha, di cui la metà rappresentata da meli, il 35% da peschi, il 10% da peri, e per la restante parte da albicocchi, ciliegi e susini. La coltivazione è svolta prevalentemente con forma di conduzione diretta o da piccola impresa, con aziende della superficie media di 10/15 ha.

La Val di Chiana a causa della sua morfologia e della posizione geografica risulta interessata frequentemente da gelate tardive. Le più recenti si sono verificate nel 1989, 1992, 1997, 2001, 2003. In particolare in frutticoltura nel 2003 sono occorsi 13-14 interventi di irrigazione antibrina. Una gelata particolarmente tardiva si è verificata nel 1957 con temperature sotto 0 °C misurate l'8 maggio.

I dati meteorologici

La stazione meteorologica dell'aeroporto di Arezzo, gestita dalla Aeronautica Militare, è risultata la migliore sia per la serie storica abbastanza lunga (1960-1998), sia per la vicinanza all'area di indagine (fig. 2), sia per la presenza dei dati di nuvolosità espressa in decimi nel periodo 1990-1997. Presso tale stazione sono dispo-

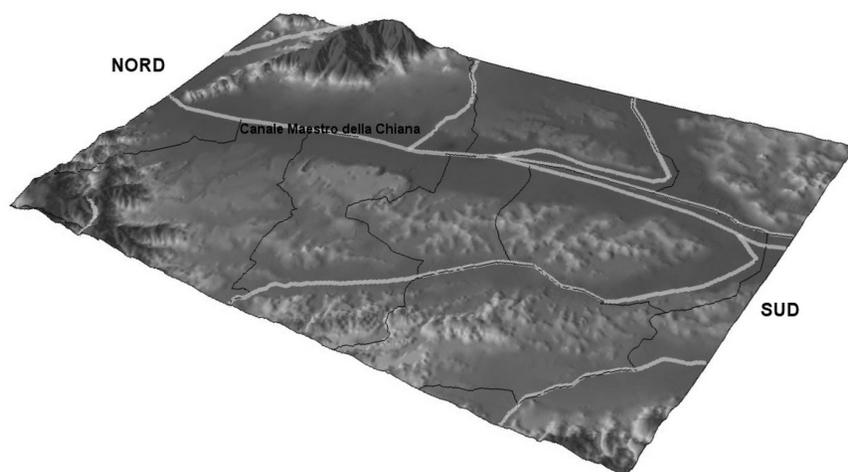


Figura 1. Parte della Val di Chiana interessata dallo studio.

Figure 1. Studied area of the Chiana Valley.

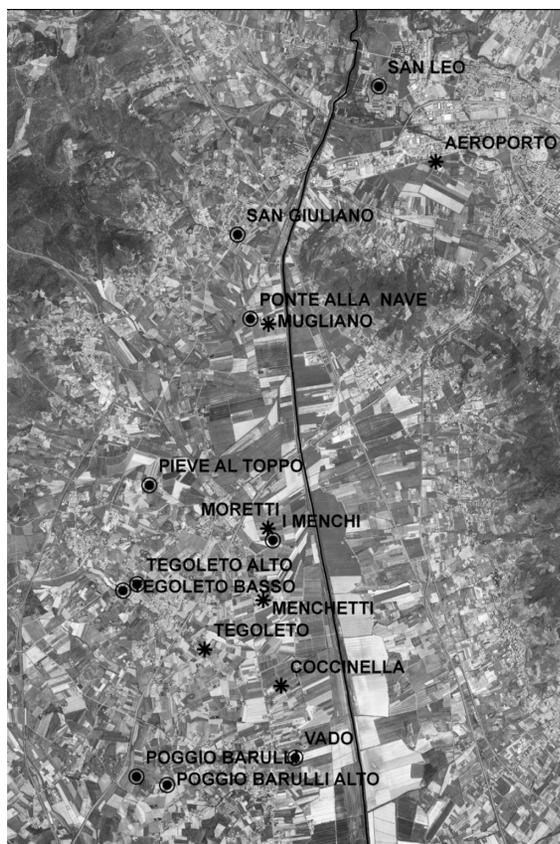


Figura 2. Posizione delle 10 stazioni mobili (cerchi) e delle stazioni automatiche (asterischi) presenti nel territorio d'indagine.

Figure 2. Location of the 10 mobile stations (circles) and of the automated stations (asterisks) in the study area.

nibili rilievi tri-orari di temperatura dell'aria e di rugiada in tempo reale e quindi utili per le previsioni.

Per il funzionamento del modello è stato necessario l'impiego della nuvolosità in decimi prevista, per la notte, mediante modelli meteorologici operativi presso il Laboratorio di Meteorologia e Modellistica Ambientale (LaMMA) della Regione Toscana.

Per rilevare la variabilità del campo termico di gelata sono stati impiegati dati meteorologici misurati mediante una rete di 10 stazioni termogrometriche appositamente installate e di 5 stazioni complete presenti nell'area (fig. 2).

Sviluppo e validazione del sistema previsionale

Sulla base delle osservazioni meteorologiche di Arezzo aeroporto disponibili per il periodo 1990-1997 nei mesi di marzo e aprile, sono sta-

te ricavate le relazioni che legano la temperatura minima registrata entro l'alba seguente con i valori di temperatura dell'aria e di rugiada rilevati alle ore 13, 16, 19, 22, 01, 04 e della nuvolosità media (in decimi) presente durante la notte.

Le previsioni effettuate fino alle 19 utilizzano la nuvolosità prevista fra le 19 e l'alba, mentre quelle a partire dalle 22 quella prevista fino all'alba.

Sono state sviluppate due diverse tipologie di regressioni multiple:

- regressione di tipo A: per condizioni previste di cielo sereno o poco nuvoloso, impiega come variabili predittrici la temperatura dell'aria e la temperatura di rugiada;
- regressione di tipo B: per tutte le altre condizioni di nuvolosità prevista impiega come variabili predittrici oltre alle variabili utilizzate dalla regressione A anche la nuvolosità prevista in decimi.

Uno studio effettuato in tale zona geografica ha messo in evidenza che il parametro vento è strettamente legato alla presenza di nuvolosità (le notti serene sono risultate generalmente in assenza di vento). L'inserimento del parametro vento come ulteriore predittando non ha migliorato significativamente la capacità previsionale.

Applicazione del sistema previsionale

In base alle regressioni sviluppate e alle condizioni di nuvolosità prevista, il sistema ogni tre ore effettua la stima della temperatura minima. Le variabili predittrici temperatura dell'aria e di rugiada affluiscono in tempo reale dalla stazione meteorologica dell'aeroporto di Arezzo. La nuvolosità prevista viene immessa nel modello nella tarda mattinata e ricalibrata durante il pomeriggio. La previsione effettuata sui dati di Arezzo aeroporto (unico disponibile in tempo reale) è stata poi ricalibrata sulla temperatura minima media rilevata dalla rete di stazioni collocate nell'area oggetto della previsione (fig. 2).

Risultati e discussione

Caratteristiche meteorologiche delle gelate tardive

Le curve di probabilità di gelata per i mesi di marzo e aprile (fig. 3) sono state elaborate sulla serie di dati disponibili per la stazione del-

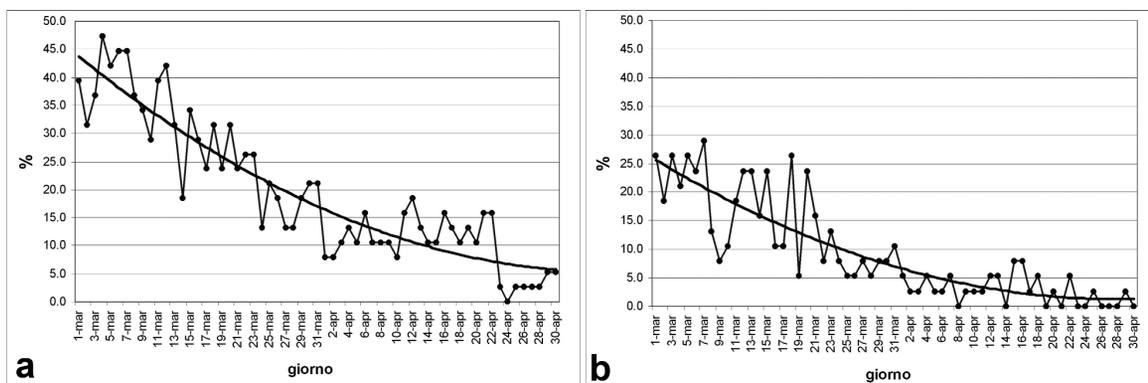


Figura 3. Curve di probabilità di gelata nei mesi di marzo e aprile presso l'aeroporto di Arezzo prendendo come soglia 0 °C (a) e -2 °C (b) per il periodo 1960-1996.

Figure 3. Frost probability curves in March and April at the Arezzo airport with 0 °C (a) and -2 °C as thresholds in the 1960-1996 period.

l'aeroporto di Arezzo nel periodo 1960-1996. Dai dati emerge come la probabilità di eventi gelivi con temperature sotto gli 0 °C passi in maniera abbastanza progressiva dal 45% dei primi di marzo al 4% di fine aprile.

Da una successiva analisi della distribuzione per classi di frequenza della velocità del vento nel corso della notte risulta che nel 65% dei casi il vento raggiunge una velocità media inferiore a 1.6 m/s.

Lo studio effettuato sulle notti con cielo sereno o poco nuvoloso (nuvolosità < 2 decimi), mostra come nell'89% di esse vi sia una sostanziale assenza di vento, mentre solo nel 5% dei casi il vento ha una velocità superiore ai 2 m/s (tab. 1).

La relazione fra nuvolosità e vento spiega il mancato miglioramento delle performance delle previsioni con l'introduzione del parametro vento.

Validazione dei modelli

I modelli multiregressivi con cadenza trioraria

Tabella 1. Distribuzione di frequenza delle notti con prevalenza di cielo sereno in funzione dell'intensità del vento.

Table 1. Frequency distribution of cloudless sky nights as a function of wind speed.

Intensità del vento (m/s)	Frequenza (%)
~ 0	89
~ 1	6
> 2	5

Tabella 2. Coefficienti di determinazione delle validazioni dei modelli A e B relativi a tutte le ore di emissione della previsione. Le regressioni sono risultate tutte altamente significative (p < 0.01).

Table 2. Determination coefficients of the validation of A and B models concerning all the emission hours of the forecast. All regressions were highly significant.

Ora	A (nuvolosità ≤ 2/10)	B (nuvolosità > 2/10)
13:00	0.79	0.80
16:00	0.79	0.79
19:00	0.83	0.80
22:00	0.87	0.81
01:00	0.90	0.89
04:00	0.96	0.94

sia per le condizioni di cielo sereno (A) sia nuvoloso (B) sono stati sviluppati rispettivamente su 70 e 200 giorni e validati su 79 e 227 giorni. Di seguito sono riportati i modelli relativi alla previsione delle ore 19 centrata sull'aeroporto di Arezzo:

$$A \rightarrow T_{min} = -5.60 + 0.47 * T_{19} + 0.22 * Trug.19$$

$$B \rightarrow T_{min} = -5.33 + 0.498 * T_{19} + 0.09 * Trug.19 + nuv. * 0.69$$

Dove "Tmin" rappresenta la temperatura minima prevista, "T19" la temperatura alle ore 19:00, "Trug." la temperatura di rugiada e "nuv." la nuvolosità espressa in decimi.

La validazione ha mostrato come tutti i modelli abbiano un coefficiente di determinazione elevato, ed altamente significativo (p < 0.01) (tab. 2).

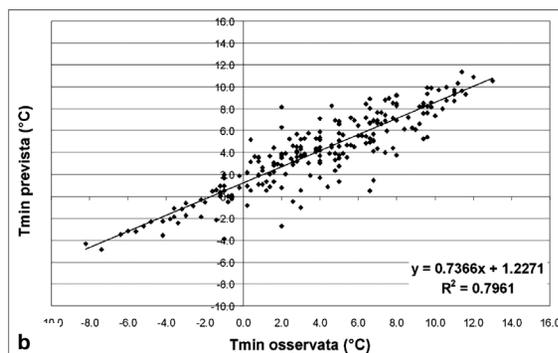
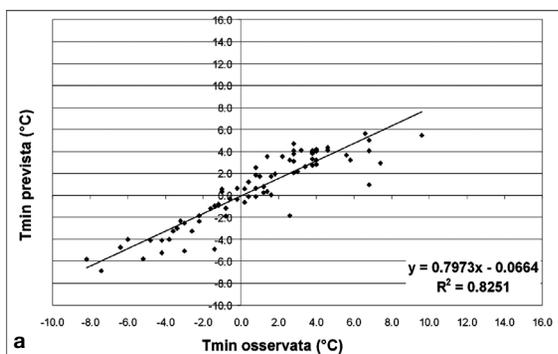


Figura 4. Validazione delle regressioni A (cielo sereno) (a) e B (cielo nuvoloso) (b) relative alla previsione delle ore 19.

Figure 4. Validation of A regression (cloudless sky) (a) and B regression (cloudy sky) (b) concerning the 7 p.m. forecast.

La validità dei modelli previsionali migliora con il progredire delle ore. Le migliori performance si hanno a partire dalle ore 22. Infatti, dopo il tramonto, oltre ad una maggiore vicinanza all'alba, spesso si stabilizzano le condizioni atmosferiche causa di variazioni nel meccanismo tipico di raffreddamento ed in particolare variano meno frequentemente le masse d'aria che sussistono fino all'alba.

In figura 4 si riportano le validazioni dei modelli sviluppati per condizioni di cielo sereno (fig. 4a) e nuvoloso (fig. 4b) relative alla previsione emessa alle ore 19.

Modalità di emissione del bollettino

La previsione viene trasmessa agli utenti tramite un bollettino e-mail riportante la classe di rischio (molto basso, basso, medio, alto, molto alto) determinata empiricamente e la temperatura minima prevista al fine di fornire indicazioni di massima anche sull'entità della gelata stessa (fig. 5). Sulla base della variabilità del cam-

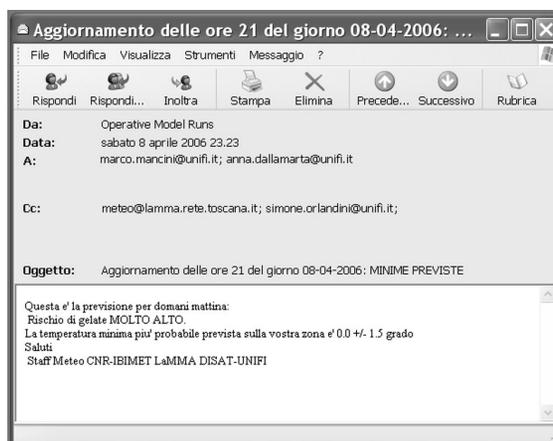


Figura 5. Esempio di bollettino inviato tramite e-mail.

Figure 5. Example of report sent by email.

po termico di gelata, rilevata dalla rete di stazioni appositamente installata, alla previsione numerica della temperatura viene applicato un range di variabilità pari a ± 1.5 °C.

Validazione delle previsioni

I valori previsti nel periodo marzo-aprile 2006 sono stati messi a confronto con le temperature misurate dalle stazioni appositamente installate nel territorio. Per l'interpretazione dei risultati occorre tenere presente che il sistema è stato messo a punto al fine di ottenere la massima performance nel caso di temperature minime sotto lo zero.

In figura 6 sono stati riportati gli scarti fra la temperatura minima prevista alle varie ore e quella effettivamente verificatasi sull'area di studio (valore medio rilevato delle stazioni); il grafico si limita ad analizzare i giorni nei quali la temperatura minima osservata è stata inferiore a $+1.5$ °C e quindi, vista la variabilità del campo termico, tutti quei giorni con possibili temperature inferiori allo zero in una o più stazioni dell'area di studio. Fra marzo ed aprile 2006 si sono verificate 16 giornate con tali caratteristiche.

Considerando le previsioni delle ore 19 e 22, ritenute le più utili in termini operativi, si sono verificati due mancati allarmi (temperatura minima prevista superiore di almeno 1.5 °C rispetto a quella osservata) il 6 marzo (sia alle ore 19 che alle 22), benché la minima osservata non sia scesa al di sotto di $+0.6$ °C ed uno il 14 marzo (alle ore 22) con temperatura scesa fi-

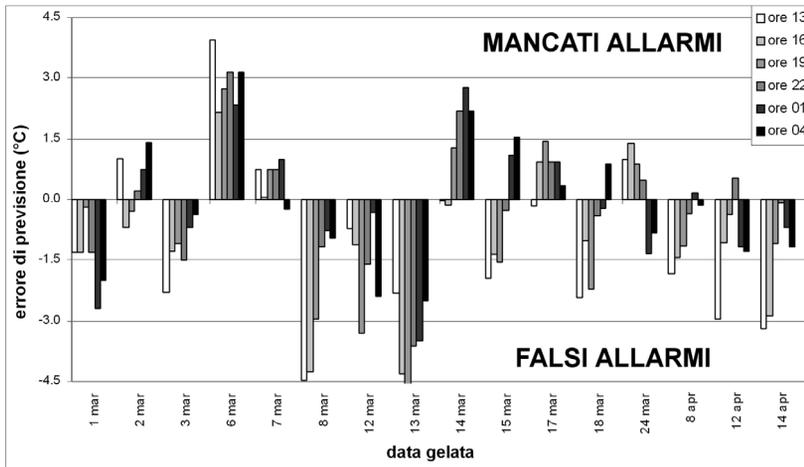


Figura 6. Istogramma con gli scarti tra temperature previste e osservate alle varie ore di emissione del bollettino. In figura sono riportati i giorni di marzo ed aprile in cui si sono verificate temperature minime inferiori a 1.5 °C.

Figure 6. Histogram with the differences between forecast and observed temperatures at different time of report emission. In the figure, the days of March and April when temperatures lower than 1.5 °C occurred, are shown.

no a -3.2 °C, ma comunque con previsione di temperatura minima sotto lo zero. In entrambi i casi l'errore nella previsione è attribuibile ad una errata stima delle nuvolosità. I falsi allarmi (con

temperatura minima prevista inferiore di almeno 1.5 °C rispetto a quella osservata) delle ore 19 sono stati 5 mentre quelli delle 22 sono stati 2.

Nelle figure 7 e 8 vengono rappresentati, a

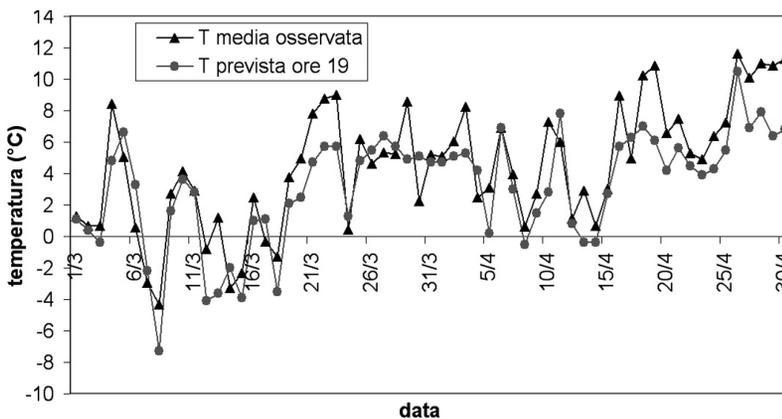


Figura 7. Confronto fra la temperatura minima giornaliera prevista alle 19 e la temperatura minima media osservata sulla zona oggetto della previsione, nel periodo marzo-aprile 2006.

Figure 7. Comparison between daily minimum temperature forecasted at 7 p.m. and the mean observed temperature in the minimum studied area, in the March-April 2006 period.

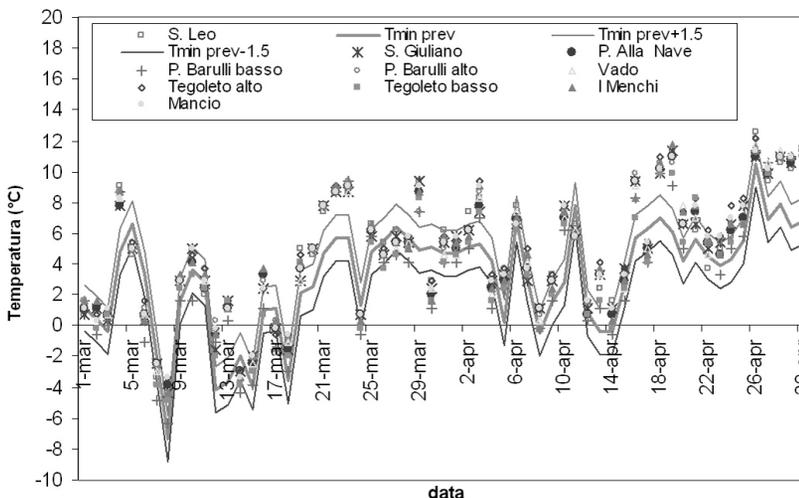


Figura 8. Confronto fra la temperatura minima giornaliera prevista alle 19 (compreso range di variabilità pari a +/- 1.5 °C) e la temperatura osservata nelle 10 stazioni presenti sulla zona oggetto della previsione nel periodo marzo-aprile 2006.

Figure 8. Comparison between daily minimum temperature forecasted at 7 p.m. (variability range equal to +/- 1.5 °C) and the observed temperature in the 10 stations in the studied area in the March-April 2006 period.

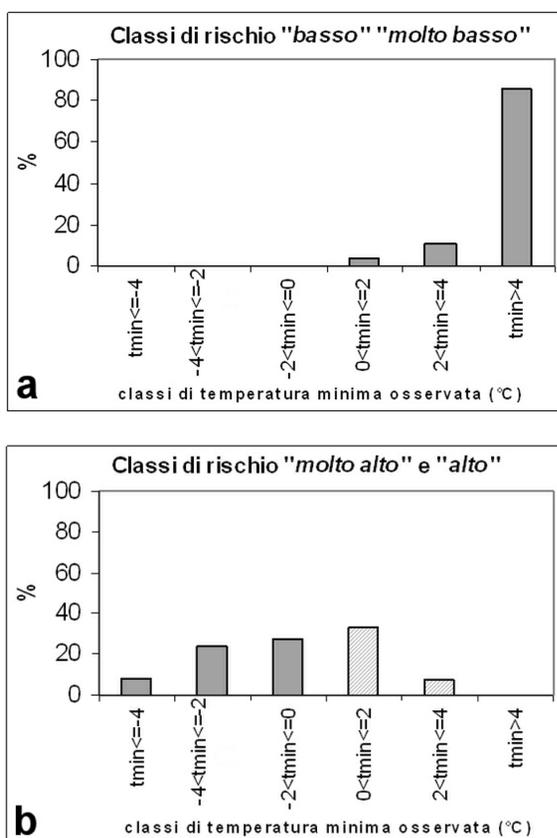


Figura 9. Distribuzione percentuale delle temperature minime osservate, nella globalità delle stazioni della zona oggetto di previsione, in funzione delle classi di rischio previste alle ore 19 “basso” o “molto basso” (a) e “alto” o “molto alto” (b). Gli istogrammi tratteggiati rappresentano la frequenza dei giorni con classe di rischio di gelata prevista “alto” o “molto alto” e temperatura osservata superiore allo zero (falsi allarmi).

Figure 9. Percentage distribution of the observed minimum temperatures, in the whole station network in the studied area as a function of the risk classes forecast at 7 p.m. “low” or “very low” (a) and “high” or “very high” (b). The dashed histograms are the frequency of the days with “high” or “very high” risk class of and observed temperature higher than zero (false alarm).

titolo di esempio, i confronti fra la temperatura minima prevista alle ore 19 e la temperatura minima osservata nelle 10 stazioni appositamente installate nell’area di studio. Il confronto è stato effettuato sia impiegando la media dei valori delle 10 stazioni (fig. 7), sia impiegando i singoli valori (fig. 8), al fine di evidenziarne la variabilità.

Dai grafici emerge una buona relazione tra le due serie di dati, e quindi un’elevata attendi-

bilità della previsione in particolare per valori di temperatura minima intorno allo zero o al di sotto.

In figura 9 viene riportata la distribuzione percentuale delle temperature minime osservate nella globalità delle stazioni in funzione della classe di rischio prevista “basso” o “molto basso” (a) e “alto” o “molto alto” (b). Si nota chiaramente come qualora la previsione sia ricaduta nelle classi di rischio “basso o molto basso” (fig. a) non si siano verificate temperature minime sotto lo zero, mentre per previsioni nella classe “alto” o “molto alto” (fig. b) sia presente una percentuale di gelate previste, ma non verificatesi del 40% (tuttavia solo nel 7% dei casi le temperature osservate hanno superato i 2 gradi). I risultati migliorano ulteriormente nelle previsioni delle ore successive, essendo ovviamente basati sugli aggiornamenti della temperatura osservata (dati non mostrati).

Conclusioni

Il modello di previsione qui descritto rappresenta un valido strumento per attuare le strategie di difesa durante la gelata; tuttavia un sensibile miglioramento potrebbe essere ottenuto aumentando il numero di stazioni con trasmissione in tempo reale all’interno dell’area di studio. La conoscenza preventiva dei parametri meteorologici che condizionano il danno provocato dall’evento gelivo (possibilità di vento, durata della gelata, estremo termico) costituisce un buon elemento di supporto per l’attivazione degli impianti di difesa.

La valutazione territoriale del rischio può, invece, costituire un metodo razionale in grado, almeno in parte, di prevenire il danno. Sulla base delle informazioni agrometeorologiche ricevute, i produttori possono, infatti, mettere a punto scelte relative alle tecniche d’impianto (scelta delle varietà in funzione del rischio peculiare di ogni singolo appezzamento) e gestione del territorio in modo da ridurre i possibili danni da gelate.

È necessario infine sottolineare come i rischi meteorologici (gelate, vento, estremi pluviometrici, ondate di calore) potranno assumere una importanza crescente nei prossimi anni anche a causa dei cambiamenti climatici in atto. Occorre quindi aumentare gli sforzi nella compren-

sione e quantificazione di tali rischi, nell'ottica di mettere a punto sistemi previsionali e tecniche di difesa per gli agricoltori, considerando anche l'importanza di assicurazioni a garanzia del reddito.

Ringraziamenti

Si ringraziano per la collaborazione il Consorzio Agrario di Siena e la Coldiretti di Arezzo.

Bibliografia

Basili P., Bonafoni S., Biondi R. 2006. Analisi e previsione delle temperature minime e di gelate sul bacino del Trasimeno. *Rivista Italiana di Agrometeorologia*, 1:46-50.

Bertini D. 1999. Metodi di stima dei parametri agrometeorologici. Tesi di dottorato di ricerca in agrometeorologia, Facoltà di Agraria, Università di Sassari, 14-80.

Bonciarelli F. 1989. *Fondamenti di Agronomia Generale*. Edagricole, 25-38.

Bootsma A. 1976. Estimating minimum temperature and climatological freeze risk in hilly terrain. *Agric. Meteorol.*, 16:425-443.

Ceccon P., Borin M. 1995. *Elementi di Agrometeorologia e Agroclimatologia*. Inprimitur, Padova, 449.

Cicogna A., Bellan A., Giaiotti D. 2000. Angela (algoritmo di nowcasting per le gelate): a tool of frost forecast. Atti del convegno "Third European Confe-

rence on Applied Climatology" (cd-rom), 16-20 ottobre 2000, Pisa.

Ghielmi L., Eccel E. 2006. Descriptive models and artificial neural networks for spring frost prediction in an agricultural mountain area. *Computers and Electronics in Agriculture*, 54(2):101-114

Mancini M. 1999. Caratterizzazione microclimatica di un'area viticola della Toscana. Tesi di laurea, Facoltà di Agraria, Università di Firenze.

Maracchi G. 2000. Effetto dei cambiamenti climatici sulla agricoltura. *L'Informatore Agrario*, 30:31-37.

Moriondo M., Bertini D., Mancini M., Orlandini S. 1998. Preliminary investigation of spatial variability of temperature in a hilly area. In: M. Bindi, B. Gozzini (eds.): *Atti del convegno "Seminar on data spatial distribution in meteorology and climatology"*. Office for Official Publications of the European Communities, Lussemburgo, 207-212.

Orlandini S., Mancini M., Moriondo M. 2000. La caratterizzazione microclimatica dell'Azienda Fattoria di Poggio Casciano. *Vignevini*, 11:103-110.

Rosenberg N.J., Blad B.L., Verma S.B. 1983. *Microclimate: the Biological Environment*. Wiley-Interscience, 368-389.

Seemann J. 1979. Agricultural climatology. In: *Agrometeorology*, 108-114. Springer-Verlag.

Seghi L., Bindi M., Gozzini B., Maracchi G., Orlandini S. 1996. Analisi preliminare della variabilità spaziale in un ambiente collinare toscano. *Rivista di Agronomia*, 30:540-545.

Zinoni F., Rossi F., Pitacco A., Brunetti A. 2000. Metodi di previsione e difesa dalle gelate tardive. *Edagricole*, 27-45.