

**PMScaTiLife: MODELLO FENOLOGICO PER *SCAPHOIDEUS TITANUS*
COME SCATURITO DA QUINDICI ANNI DI OSSERVAZIONI DI CAMPO IN
PROVINCIA DI REGGIO EMILIA**

PASQUALE MAZIO

Consorzio Fitosanitario Provinciale di Reggio Emilia
Via F. Gualerzi, 32 – 42124 Reggio Emilia – www.fitosanitario.re.it
pmazio@regione.emilia-romagna.it

RIASSUNTO

Si riportano 15 anni di osservazioni di campo sul ciclo dello scafoideo in provincia di Reggio Emilia e la costruzione di un modello empirico per la previsione, con largo anticipo, degli inizi di schiusura delle uova e sfarfallamento dell'adulto (PMScaTiLife). Il modello predittivo utilizza le sommatorie termiche medie provinciali, calcolate secondo le equazioni di Allen, dal 1° marzo e con temperature soglie di 0 e 30°C. I gradi giorno per la prima neanide e il primo adulto sono rispettivamente di 401,5 e 880,0. Per le previsioni effettuate circa un mese prima, RMSE è compreso tra 2,5 e 3,1 giorni.

Parole chiave: scafoideo, monitoraggio, fenologia, sommatoria termica

SUMMARY

PMScaTiLife: PHENOLOGY MODEL FOR *SCAPHOIDEUS TITANUS* BASED ON
FIFTEEN YEARS OF FIELD OBSERVATIONS
IN THE PROVINCE OF REGGIO EMILIA

This work reports the development of an empirical model (PMScaTiLife) and the results of 15 years of field observations regarding the cycle of *Scaphoideus titanus* (Cicadellidae Deltocephalinae) in the province of Reggio Emilia. PMScaTiLife predicts the beginning of egg hatching and the adult emergence far in advance. It uses the average temperature sums of the province of Reggio Emilia, which are calculated according to the Allen's equation, from March 1st on, T thresholds 0 and 30°C. For the first detection of both the instar and the adult, the average temperature sums are respectively 401.5 and 880.0 day-degrees. RMSE is between 2.5 and 3.1 days when predictions are carried out about a month before.

Keywords: monitoring, phenology, temperature sums

INTRODUZIONE

Il rinvenimento in provincia di Reggio Emilia di *Scaphoideus titanus* Ball (Cicadellidae Deltocephalinae), nel 1999, e le successive epidemie di flavescenza dorata (Grapevine Flavescence dorée) hanno fortemente impegnato il Consorzio Fitosanitario Provinciale di Reggio Emilia, ente di assistenza territoriale per la difesa delle colture, nella lotta al vettore e nel contenimento della malattia (Montermini e Mazio, 2007). Il comune denominatore di 15 anni di attività consisteva in un capillare monitoraggio del cicadellide, per scanderne le fenofasi e quantificarne la densità di popolazione, a supporto delle tempistiche per i trattamenti insetticidi. Dalla necessità di ridurre il numero dei controlli e di razionalizzare la gestione della problematica, è scaturita l'idea di un modello fenologico di tipo empirico, costruito sui dati raccolti in campo in più di un quindicennio.

MATERIALI E METODI

Il monitoraggio dello scafoideo

Dal 2000 al 2015, il monitoraggio fenologico, di tipo quali-quantitativo, dello scafoideo è stato condotto complessivamente in 122 vigneti (tabella 2), sparsi per la provincia, rappresentativi per conduzione agronomica e fitoiatrica (convenzionale/integrata o biologica)

e per la forma d'allevamento. Negli ultimi tre anni i controlli per il ciclo dello scafoideo hanno subito una riduzione e si sono concentrati in vigneti ad elevata densità di popolazione, il più possibile vicini ad una stazione meteorologica.

Il protocollo di lavoro prevedeva rilievi sulla vegetazione e l'uso di trappole cromotropiche collose di colore giallo, per l'individuazione tempestiva della comparsa: della prima forma mobile, indicativa dell'inizio schiusura delle uova o inizio del ciclo; delle diverse età pre-immaginali; del momento significativo di schiusura delle uova, inteso come momento di generalizzato avvistamento delle prime forme mobili; del primo adulto, inteso come inizio dello sfarfallamento. I controlli iniziavano tra fine aprile-inizio maggio e finivano a metà ottobre-inizio novembre con la seguente cadenza media:

- ! dal 2000 al 2010, due controlli settimanali per vigneto fino alla prima decade di giugno (quando i ritrovamenti sono in diminuzione e la scelta dell'epoca di trattamento è stata compiuta); dal 2011 al 2015 i due controlli settimanali erano condotti solo fino al primo ritrovamento di una forma mobile;
- ! nel prosieguo della stagione, i rilievi diventavano settimanali fino al ritrovamento del primo adulto;
- ! infine, dopo il ritrovamento dell'adulto, a seconda delle necessità e delle condizioni stagionali, le osservazioni di campo condotte sino al termine della generazione potevano restare settimanali o divenivano quindicinali.

Ad ogni rilievo si controllavano 35 piante fino all'inizio della schiusura delle uova e successivamente 25. La scelta delle piante avveniva in modo casuale. I controlli sulla vegetazione interessavano soprattutto i polloni basali fino al ritrovamento dell'adulto; ma con l'avanzare degli stadi pre-immaginali si esaminava anche e sempre più la parte di chioma più vicina al cordone permanente, tanto più in caso di spollonatura non concordata.

Le osservazioni riguardavano tutte le foglie di tutti i polloni (essenziale per ridurre l'erraticità dei ritrovamenti in condizioni di bassa e bassissima popolazione del vettore) e in modo casuale quando si trattava della chioma.

Dopo il ritrovamento dell'adulto si eseguiva l'ispezione visiva della chioma, senza toccarne la vegetazione, in 10 postazioni per vigneto scelte a caso.

Le trappole cromotropiche erano disposte ad un'altezza polloni compresa tra i 30 e i 40 cm da terra (da fine aprile) e sul cordone permanente (dalla V età dello scafoideo) in due punti del vigneto, per un totale a regime di 4 trappole per appezzamento, sostituite al bisogno e controllate nel corso dei rilievi sulla vegetazione.

La densità di popolazione è stata espressa come presenza media di forme mobili per pianta.

Quale sommatoria termica

Per il calcolo della sommatoria termica sono stati presi in considerazione diversi metodi:

- ! somma algebrica della temperatura media giornaliera (intesa come media delle temperature orarie);
- ! sommatoria termica tradizionale espressa come: $\sum(T_{med} - T_{soglia})$, con T_{med} = temperatura media giornaliera ottenuta dalla media delle temperature orarie e T_{soglia} = zero vegetativo; se $T_{med} < T_{soglia}$ allora i gradi-giorno (GDD, Grow Day Degree) = 0;
- ! metodo standard o delle unità termiche giornaliere, messo a punto dalla National Oceanic and Atmospheric Administration (USA): $[(T_{min} - T_{max})/2] - T_{soglia}$, con T_{min} = temperatura minima giornaliera; T_{max} = temperatura massima giornaliera; se $(T_{min} - T_{max})/2 < T_{soglia}$ allora GDD = 0;
- ! metodo dei gradi giorno secondo Allen (1976) con le diverse situazioni individuate:

- o! caso 1: se $T_{min} > T_{sup}$ allora $GDD = \frac{1}{2}(T_{sup} - T_{inf})$
- o! caso 2: se $T_{max} < T_{inf}$ allora $GDD = 0$
- o! caso 3: se $T_{min} > T_{inf}$ e $T_{max} < T_{sup}$ allora $GDD = \frac{1}{2}(T_{med} - T_{inf})$
- o! caso 4: se $T_{min} < T_{inf}$ e $T_{inf} < T_{max} < T_{sup}$ allora $GDD = \frac{1}{2\pi} \left\{ (T_{med} - T_{inf}) \times \left(\frac{\pi}{2} - \theta_1 \right) + \alpha \cos \theta_1 \right\}$
- o! caso 5: se $T_{max} > T_{sup}$ e $T_{inf} < T_{min} < T_{sup}$ allora $GDD = \frac{1}{2\pi} \left\{ (T_{med} - T_{inf}) \times \left(\theta_2 + \frac{\pi}{2} \right) + (T_{sup} - T_{inf}) \times \left(\frac{\pi}{2} - \theta_2 \right) - \alpha \cos \theta_2 \right\}$
- o! caso 6: se $T_{max} > T_{sup}$ e $T_{min} < T_{inf}$ allora $GDD = \frac{1}{2\pi} \left\{ (T_{med} - T_{inf}) \times (\theta_2 - \theta_1) + \alpha (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) + (T_{sup} - T_{inf}) \times \left(\frac{\pi}{2} - \theta_2 \right) \right\}$

dove: T_{sup} = soglia termica superiore di sviluppo; T_{inf} = soglia termica inferiore di sviluppo; $T_{med} = (T_{max} - T_{min})/2$; $\alpha = \frac{T_{max} - T_{min}}{2}$; $\theta_1 = \arcsen\left(\frac{T_{inf} - T_{med}}{\alpha}\right)$; $\theta_2 = \arcsen\left(\frac{T_{sup} - T_{med}}{\alpha}\right)$.

- ! Normal heat hours (NHH, ore normali di caldo; Wang e Engel, 1998) con i seguenti casi:
 - o! per $C_{min} \leq T \leq C_{max}$ avremo $[2(T - C_{min})^\alpha (C_{opt} - C_{min})^\alpha - (T - C_{min})^{2\alpha}] / (C_{opt} - C_{min})^{2\alpha}$;
 - o! per $T < C_{min}$ e per $T > C_{max}$ avremo $NHH = 0$;
 - o! per $T = C_{opt}$ avremo $NHH = 1$

dove: C_{min} = temperatura cardinale minima; C_{max} = temperatura cardinale massima; C_{opt} = temperatura cardinale ottimale; $\alpha = \ln\{2/\ln[(C_{max} - C_{min})/(C_{opt} - C_{min})]\}$.

Sono stati considerati due momenti d'inizio per il calcolo della sommatoria termica:

- ! il 1° gennaio, momento "classico" d'inizio di innumerevoli sommatorie termiche;
- ! il 1° marzo, inizio primavera meteorologica e come tale adottato per calcoli su determinate colture primaverili-estive. Tale scelta è corroborata da una analoga fatta da Maixner *et al.* (2009) per la sommatoria termica di *Hyalesthes obsoletus* Signoret, e in considerazione del fatto che lo scafoideo non richiede un'esposizione al freddo per interrompere la diapausa (Chuche e Thiéry, 2009).

Sono state provate diverse combinazioni di temperature (T) soglia/inferiore, superiore e cardinale per le diverse sommatorie termiche:

- ! T soglia/inferiore = 0° - 5° - 10° - 11° - 12°C;
- ! T superiore = 35° - 30° - 28° - 26° - 25° - 20°C;
- ! T cardinali (minima-ottimale-massima) = 0-15-35°; 0-15-30°; 0-15-26°; 0-20-35°; 0-20-30°; 0-20-26°; 0-25-30°; 0-25-35°; 0-25-26°; 0-26-35°; 5-15-30°; 5-20-30°; 5-25-30°; 7-26-35° (queste ultime, temperature cardinali per lo sviluppo della vite).

La sommatoria termica è stata calcolata per le seguenti fasi fenologiche:

- ! primo ritrovamento di una forma mobile o inizio schiusura uova;
- ! primo ritrovamento di una forma adulta;
- ! periodo compreso tra il primo ritrovamento di una neanide e l'inizio dello sfarfallamento;
- ! i diversi stadi pre-immaginali
- ! il momento significativo di schiusura delle uova.

I vigneti oggetto di monitoraggio sono stati classificati annualmente:

- ! in funzione della densità di popolazione, per quel tipo di conduzione, come ad alta o bassa

infestazione, rispettivamente con massimo ritrovamento di scafoideo uguale o superiore alla media dell'anno e inferiore alla media dell'anno;

- ! in funzione del momento di ritrovamento del vettore, come campi di primo ritrovamento provinciale (che al 2015 risultano sempre compresi tra quelli con densità superiore o uguale alla media dell'anno) o con ritrovamento entro 5 e 10 giorni dal primo ritrovamento di quell'anno. A priori, non sono stati presi in considerazione quei vigneti con avvistamento della prima forma mobile oltre i 10 giorni dal primo ritrovamento provinciale, in quanto ritenuti non utili a rappresentare lo sviluppo fenologico medio dello scafoideo.

È stata attribuita a ciascun vigneto utile una capannina meteo (tabella 1), tra quelle funzionanti e disponibili *on line* in Dexter-ARPA Emilia Romagna (www.arpa.emr.it) e compresa in un raggio non superiore a 10 km, non utilizzando mai una medesima stazione per campi diversi nello stesso anno. I vigneti senza abbinamento sono stati anch'essi esclusi dalle elaborazioni.

Tabella 1. Stazioni meteo ARPA Emilia-Romagna in provincia di Reggio Emilia abbinate ai vigneti del monitoraggio dello scafoideo (anni 2000-'15)

Stazioni meteo	Altezza (m s.l.m.)	Longitudine (°)	Latitudine (°)	Vigneti di monitoraggio abbinati	Distanza
Brescello*	24	10,516668	44,900002	Poviglio 1	ca. 5,3 km
Campagnola Emilia*	2	10,750005	44,833336	Campagnola 1	ca. 4,0 km
				Novellara	ca. 4,2 km
Castelnovo di Sotto	23	10,578222	44,836945	Cadelbosco	ca. 5,8 km
				Campegine 1	ca. 6,4 km
				Castelnovo sotto	ca. 4,9 km
				Zurco 1	ca. 6,9 km
Cavriago	95	10,510614	44,689528	Bibbiano 3	ca. 3,6 km
				Bibbiano 4	ca. 3,6 km
				Cavriago	ca. 2,7 km
				Coviolo	ca. 8,3 km
				Montecchio 1	ca. 3,1 km
				Montecchio 2	ca. 3,6 km
Correggio	33	10,772919	44,743253	Massenzatico 1	ca. 7,0 km
				Massenzatico 2	ca. 6,4 km
				Massenzatico 3B	ca. 6,4 km
				Massenzatico 3C	ca. 6,5 km
Guastalla*	21	10,683327	44,95	Reggiolo	ca. 9,1 km
Montecchio Emilia*	99	10,433339	44,683338	Bibbiano 1	ca. 1,9 km
Rolo	22	10,873997	44,884811	Fabbrico 1	ca. 3,1 km
				Fabbrico 3	ca. 3,3 km
				Rio Saliceto	ca. 8,3 km
Scandiano*	100	10,672761	44,600746	Noce di Borzano 1	ca. 3,4 km

* stazioni attualmente non più disponibili

Le sommatorie termiche ottenute sono state valutate e confrontate tra loro in base a:

- ! percentuale dello scarto medio rispetto alla media dei valori;
- ! errore standard relativo.

La costruzione del modello previsionale fenologico

La sommatoria termica media, per i mesi da marzo a luglio, dal 2000 all'anno precedente la previsione, costituiva la serie storica di riferimento. Le sommatorie termiche storiche, dell'anno in corso e per la specifica fase fenologica sono state aggiunte o sottratte di una parte del loro valore, determinata dal rispettivo scarto medio percentuale. Si ottiene così un intervallo predittivo con date, di schiusura uova o sfarfallamento, per difetto, medio e per eccesso per l'anno in corso. Per praticità, le previsioni sono state cadenzate per decadi e ottenute a partire dai dati reali al 31 marzo, 10-20 e 30 aprile per le fasi pre-immaginali e al 30 aprile, 10-20 e 31 maggio per lo sfarfallamento.

L'accuratezza del modello è stata valutata mediante i seguenti indici:

- ! *Root Mean Square Error* (RMSE; Fox, 1981) = $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{n}}$
- ! *Relative root mean square error* (RRMSE; Jørgensen *et al.*, 1986) = $\frac{RMSE}{\bar{M}} \times 100$
- ! *Modelling Efficiency* (EF; Nash e Sutcliffe, 1970) = $1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}$
- ! *Coefficient of Residual Mass* (CRM; Loague and Green, 1991) = $\frac{\sum_{i=1}^n M_i - \sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n M_i}$

dove: S_i = data stimata; M_i = data osservata; n = coppie di dati; \bar{M} = media date osservate.

RISULTATI

Le fasi fenologiche rilevate in campo

Il ritrovamento più precoce di una forma mobile di scafoideo è avvenuto nel 2014 (il 2 maggio); mentre nel 2011 vi è stato il rinvenimento maggiormente anticipato per l'adulto (il 17 giugno). Il 17 maggio 2004 e il 3 luglio del 2008 sono stati i giorni dei rinvenimenti più tardivi delle due fenofasi in esame (tabella 2).

Tabella 2. Le principali fasi fenologiche dello scafoideo come individuate dal monitoraggio condotto in provincia di Reggio Emilia dal 2000 al 2015

Anno	Numero vigneti monitorati	1° ritrovamento di una forma mobile	1° ritrovamento di un esemplare adulto	Giorni trascorsi tra i ritrovamenti della prima forma mobile e l'adulto
2000	12	nd	24-giu	nd
2001	8	05-mag	26-giu	52
2002	9	06-mag	24-giu	49
2003	9	08-mag	19-giu	42
2004	7	17-mag	01-lug	45
2005	6	10-mag	28-giu	49
2006	10	08-mag	29-giu	52
2007	5	08-mag	22-giu	45
2008	8	13-mag	03-lug	51
2009	7	11-mag	19-giu	39
2010	15	10-mag	28-giu	49
2011	7	05-mag	17-giu	43
2012	7	07-mag	26-giu	50
2013	5	13-mag	01-lug	49
2014	4	02-mag	23-giu	52
2015	3	04-mag	24-giu	51

Mediamente intercorrono 48 giorni tra l'avvistamento di una forma mobile e quello di un adulto. Il ciclo più breve è stato registrato nel 2009, in cui sono intercorsi 39 giorni tra le due fasi, mentre quello più lungo è capitato in tre diverse annate, 2001-2006-2014, tutte con 52 giorni.

La sommatoria termica

Le elaborazioni sono state effettuate mediante foglio elettronico di calcolo, combinando: i diversi metodi presi in considerazione per il calcolo di una sommatoria termica; le diverse temperature; e i due momenti d'inizio.

In base allo scarto medio percentuale e all'errore standard relativo, sono scaturite le seguenti scelte:

- come metodo di calcolo della sommatoria termica è stato individuato quello di Allen. Qualsiasi altro metodo, alle temperature considerate, ha fornito una variabilità eccessiva;
- il momento d'inizio del calcolo della sommatoria è il 1° marzo. Infatti, a parità di metodo e temperature, la sommatoria termica calcolata dal 1° gennaio presentava sempre una variabilità non gestibile;
- a parità di metodo di conteggio dei gradi giorno e del suo inizio, le temperature, inferiore e superiore, maggiormente indicate per lo scafoideo sono risultate 0° e 30°C;
- le sommatorie termiche per lo scafoideo sono state riferite ai due momenti fenologici salienti quali l'inizio schiusura uova e l'inizio sfarfallamento. Infatti, dall'analisi dei dati si evince che vi è troppa variabilità per le sommatorie termiche calcolate per l'intervallo compreso tra il primo avvistamento di una forma mobile e lo sfarfallamento, così come per gli altri stadi pre-immaginali o per il momento significativo di schiusura delle uova.

Tabella 3. Sommatoria termica media provinciale per anno e vigneto per la prima neanide e il primo adulto di scafoideo osservati in provincia di Reggio Emilia

Anno	Inizio schiusura uova			Inizio sfarfallamento		
2000	nd	-	-	848,1	-	-
2001	394,08	nd	-	nd	828,4	-
2003	370,72	-	-	nd	-	-
2006	nd	-	-	869,1	-	-
2007	452,4	423	-	nd	880,3	-
2008	409,11	-	-	931,6	-	-
2009	nd	nd	422,6	857	870,7	834,8
2010	373,67	397,2	-	900,6	851,8	-
2011	nd	386	-	840,8	868,3	-
2012	412,69	nd	-	920,8	897,4	-
2013	nd	417,6	nd	921,2	872,5	887,9
2014	381,96	407,3	-	941	876,1	-
2015	372,32	nd	-	904,3	877,4	-
Media	401,48			880		
Scarto medio o deviazione dalla media	19,203			25,239		
Scarto medio espresso come % rispetto alla media	4,783			2,868		
Varianza	557,276			1006,52		
Deviazione standard (SD) o scarto quadratico medio	23,607			31,726		
Errore standard	6,095			8,192		
Errore standard relativo	1,518			0,931		

nd: dato non utilizzabile per quell'anno in quel vigneto

Stabilite tali modalità di calcolo, la sommatoria termica media per la provincia di Reggio Emilia per i due stadi fenologici considerati (tabella 3) è stata ottenuta valutando, sempre in base a scarto medio percentuale ed errore standard relativo, diverse combinazioni di vigneti. Tali combinazioni sono state ottenute considerando la classificazione dei vigneti in funzione del momento dei ritrovamenti e delle densità di popolazione.

Per l'inizio della schiusura delle uova si è tenuto conto dei soli vigneti di primo ritrovamento di una forma mobile per ogni anno. La sommatoria termica media provinciale per l'inizio della schiusura delle uova è pari a 401,5 gradi giorno.

Per lo sfarfallamento sono stati considerati tutti i vigneti con densità della popolazione superiore o uguale alla media provinciale. La sommatoria termica media provinciale per l'inizio dello sfarfallamento è pari a 880 gradi giorno.

Le previsioni

Per le predizioni si è considerata l'area vitata di Correggio (RE) vista la disponibilità di una serie storica di dati meteo utile al nostro scopo e la sua posizione geografica intermedia nella pianura reggiana, ma anche in virtù dell'elevata concentrazione vitata (il 22% circa della superficie provinciale).

L'*output* predittivo è rappresentato da un intervallo di giorni del mese di maggio, per la schiusura delle uova, e dei mesi di giugno e/o luglio, per l'adulto.

PMScaTiLife (*Phenology Model of the Scaphoideus titanus* Life), implementato con i dati dal 2001 al 2015, ha fornito i valori previsionali per l'inizio della schiusura delle uova nell'area vitata di Correggio come riportati in tabella 4. In tale tabella si riporta per necessità di sintesi il solo errore medio per anno.

Tabella 4. Giorni di maggio previsti per l'inizio della schiusura delle uova di scafoideo nell'area di Correggio (RE)

Anno	(0)	Dati reali al 31/3			Dati reali al 10/4			Dati reali al 20/4			Dati reali al 30/4			Errore medio in giorni
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	
2001	5	7	6	6	6	6	7	6	8	9	7	9	10	2,2
2002	6	8	7	7	8	8	8	8	9	10	7	9	10	2,1
2003	8	10	9	9	12	12	12	12	13	14	12	13	14	3,8
2004	17	14	13	12	13	13	13	13	13	14	12	14	15	-4,0
2005	10	10	9	8	10	10	10	10	11	11	10	11	12	0,1
2006	8	12	11	10	11	11	11	10	11	12	9	11	12	3,2
2007	8	9	8	8	8	8	8	5	6	7	2	5	6	-1,3
2008	13	10	9	8	9	9	9	8	10	11	9	10	12	-3,5
2009	11	10	9	8	7	8	8	5	7	8	5	7	9	-3,4
2010	10	12	11	10	11	11	11	11	12	13	10	12	13	1,6
2011	5	10	9	8	5	6	6	4	6	7	4	6	8	1,5
2012	7	6	5	5	5	6	6	5	7	8	5	7	9	-0,9
2013	13	13	12	12	13	13	13	10	11	12	10	11	12	-0,9
2014	2	7	6	6	4	4	5	2	4	5	1	3	5	2,3
2015	4	10	9	9	10	10	10	8	9	10	7	8	10	5,1

(0) giorno di maggio in cui è stata rinvenuta in campo la prima forma mobile; (1) data della previsione per difetto; (2) data della previsione media; (3) data della previsione per eccesso

Lo scostamento tra data prevista e data di osservazione in campo della prima forma mobile si riduce in 7 casi passando dal 31 marzo al 30 aprile, cioè avvicinandoci sempre più con i dati reali al momento delle nascite, ma peggiora in altrettanti casi. Lo scostamento più alto

registrato tra previsione e dato reale di campo è stato di 6 giorni, mentre quello più basso è di 0 giorni.

Ragionando sull'accuratezza del modello (tabella 5), RMSE e EF indicano come migliori previsioni per l'inizio schiusura uova quelle con dati reali al 31 marzo-10 aprile, cioè all'incirca un mese prima. Su tale linea anche CRM, che indica in generale una sovrastima nelle previsioni.

Tabella 5. RMSE, RRMSE, EF e CRM per le previsioni d'inizio schiusura uova per gli anni 2001-'15

	Previsione	RMSE	RRMSE	EF	CRM
dati reali al 31 marzo	per difetto	3,06	4,4%	0,36	-0,02
	media	2,84	4,1%	0,45	-0,01
	per eccesso	2,82	4,1%	0,46	0,00
dati reali al 10 aprile	per difetto	2,83	4,1%	0,45	0,00
	media	2,85	4,1%	0,45	-0,01
	per eccesso	2,90	4,2%	0,43	-0,01
dati reali al 20 aprile	per difetto	3,05	4,4%	0,37	0,01
	media	2,99	4,3%	0,39	-0,01
	per eccesso	3,32	4,8%	0,25	-0,02
dati reali al 30 aprile	per difetto	3,17	4,6%	0,32	0,02
	media	2,96	4,3%	0,40	-0,01
	per eccesso	3,52	5,1%	0,15	-0,03

Le previsioni, dal 2000 al 2015, per l'inizio dello sfarfallamento dello scafoideo nell'area di Correggio, tra la seconda decade di giugno e la prima di luglio, sono riportate in tabella 6. Manca l'anno 2003 per problemi di attendibilità dei dati meteo disponibili e nel rilevamento dell'adulto di scafoideo.

Tabella 6. Giorni di fine giugno-inizio luglio previsti per lo sfarfallamento di scafoideo nell'area di Correggio (RE)

	(0)	Dati reali al 30/4			Dati reali al 10/5			Dati reali al 20/5			Dati reali al 31/5			Dati reali al 10/6			Errore medio in gg
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	
2000	24	27	26	25	26	25	25	24	24	24	23	24	25	22	23	25	0,5
2001	26	27	26	25	26	25	25	25	25	25	23	24	25	23	25	26	-0,9
2002	24	27	26	25	27	26	26	26	26	26	26	26	27	25	27	28	2,3
2004	1	1	29	28	2	1	30	1	1	1	2	3	3	2	3	4	0,3
2005	28	29	27	26	28	27	27	28	28	28	26	27	28	26	28	29	-0,6
2006	29	29	27	26	29	28	27	28	27	27	27	28	29	28	29	30	-0,9
2007	22	24	23	22	23	22	22	22	22	22	20	21	22	20	21	23	-0,1
2008	3	28	27	26	28	27	27	28	28	28	27	27	28	26	28	29	-5,6
2009	19	26	25	24	25	25	24	23	23	23	21	22	23	21	22	24	4,4
2010	28	29	28	27	29	28	28	29	29	29	28	29	29	27	28	30	0,5
2011	17	25	24	23	24	24	24	23	24	24	22	23	24	21	23	24	6,4
2012	26	26	25	24	25	25	24	26	26	26	25	26	26	24	25	26	-0,9
2013	1	29	28	26	27	27	26	27	27	27	29	29	30	29	30	1	-2,8
2014	23	23	22	21	22	22	22	22	22	23	22	23	23	21	22	24	-0,8
2015	24	27	26	25	25	25	24	24	24	24	24	25	25	22	23	24	0,3

(0) giorno di fine giugno o inizio luglio di avvistamento del primo adulto in campo; (1) data di previsione per difetto; (2) data di previsione media; (3) data di previsione per eccesso

Lo scostamento più alto registrato tra previsione e data di avvistamento in campo è di 7 giorni, mentre quello più basso è di 0 giorni.

I parametri per l'accuratezza del modello indicano che la miglior previsione per l'inizio dello sfarfallamento si avrebbe con dati reali già al 20 e 31 maggio, e quindi circa un mese prima (tabella 7). CRM indica, anche per lo sfarfallamento, per lo più una sovrastima nelle previsioni.

Tabella 7. RMSE, RRMSE, EF e CRM per le previsioni d'inizio sfarfallamento per gli anni 2000-'15

	Previsione	RMSE	RRMSE	EF	CRM
dati reali al 30 aprile	per difetto	3,30	2,80%	0,42	-0,01
	media	3,10	2,63%	0,49	0,00
	per eccesso	3,27	2,78%	0,43	0,01
dati reali al 10 maggio	per difetto	3,11	2,64%	0,48	-0,01
	media	3,08	2,61%	0,50	0,00
	per eccesso	3,13	2,66%	0,48	0,00
dati reali al 20 maggio	per difetto	2,71	2,31%	0,61	0,00
	media	2,76	2,35%	0,59	0,00
	per eccesso	2,81	2,39%	0,58	0,00
dati reali al 31 maggio	per difetto	2,54	2,16%	0,66	0,01
	media	2,50	2,13%	0,67	0,00
	per eccesso	2,69	2,28%	0,62	-0,01
dati reali al 10 giugno	per difetto	2,72	2,32%	0,60	0,01
	media	2,45	2,08%	0,68	0,00
	per eccesso	2,85	2,42%	0,57	-0,01

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Un modello previsionale costruito solo su dati di campo inevitabilmente presenta un'approssimazione insita nell'approccio empirico. Si pensi solo al fattore umano o alla frequenza dei rilievi di campo e al loro essere soggetti ad una tempistica che, per quanto stringente, non potrà mai essere continua. Altri punti critici, validi per ogni tipo di modello, sono i dati meteo (disponibilità di una capannina meteorologica, distanza di questa da un campo di monitoraggio, sua efficienza e attendibilità del dato registrato) e la validazione.

PMScaTiLife (*Phenology Model of the Scaphoideus titanus* Life), il modello predittivo per le fenofasi del ciclo dello scafoideo presentato, ha avuto in provincia di Reggio Emilia, per la schiusura delle uova, un errore medio della previsione compreso tra 0 e 5 giorni, con i rilievi di campo che avevano una cadenza di 3-4 giorni. RMSE ha oscillato tra 2,8 e 3,5 giorni, con i valori più bassi per le previsioni ad oltre un mese dall'evento.

Per lo sfarfallamento, l'errore medio è stato compreso tra 0 e 6 giorni, con un turno medio di osservazioni in campo di 7 giorni. RMSE ha oscillato tra 2,5 e 3,3 giorni, con i valori più bassi quando sono stati utilizzati i dati reali al 31 maggio, per un evento che nell'anno di maggior anticipo si è verificato il 17 giugno.

Partendo da dati di campo e utilizzando somme termiche (come già per Maixner e Langer, 2006), tale modello ci permette quindi di prevedere, con buona attendibilità, le due fasi fenologiche fondamentali (l'inizio del ciclo e quello dello sfarfallamento) dello scafoideo già con i dati reali al 31 marzo e al 31 maggio, rispettivamente.

È in corrispondenza dell'inizio dello sfarfallamento che generalmente è posizionato in provincia di Reggio Emilia l'unico intervento insetticida effettuato attualmente contro il vettore della flavescenza dorata della vite.

Una previsione ottenuta così in anticipo è tale da essere utile e tempestiva per l'organizzazione e la razionalizzazione del monitoraggio e per la diffusione capillare delle notizie di difesa ad un intero territorio.

Le stime dello scarto tra valori misurati e simulati hanno restituito un'accuratezza del modello interessante e comparabile con altri sistemi previsionali.

Il modello proposto, la cui attendibilità è stata verificata nella sola provincia di Reggio Emilia, dovrà essere provato e validato in altri areali viticoli.

Attualmente PMScaTiLife è implementato su foglio di calcolo Microsoft Excel® ed è un sistema dinamico in grado negli anni di migliorare sempre più la precisione predittiva. Dopo opportuna validazione anche in altri areali viticoli, potrebbe essere adattato con adeguato software alla consultazione diretta da parte di tecnici e viticoltori, a supporto delle decisioni.

Ringraziamenti

Un giusto ringraziamento agli amici viticoltori (tanti da non poterli citare tutti), che ci hanno ospitato nei loro vigneti; ai colleghi dott. P. Belletti, dott. D. Brigandì e dott. A. Piazza, che negli anni hanno collaborato al monitoraggio; al direttore del CFP dott. A. Montermini; al prof. P. A. Nasuelli (Università di Bologna), per i suggerimenti e l'incoraggiamento; e a Laura Cavetti per l'ispirazione del nome. Un sentito ringraziamento ai colleghi dott.ssa A. Barani e dott. A. Franchi per il sostegno e la revisione critica del lavoro.

LAVORI CITATI

- Allen J. C., 1976. A modified sine wave method for calculating degree-days. *Env. Entomol.*, 5, 388-396.
- Chuche J., Thiéry D., 2009. Cold winter temperatures condition the egg-hatching dynamics of a grape disease vector. *Naturwissenschaften*, 96, 827-834.
- Fox D. G., 1981. Judging air quality model performance: a summary of the AMS workshop on dispersion model performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 62, 599-609.
- Jørgensen S.E., Kamp-Nielsen L., Christensen T., Windolf-Nielsen J., Westergaard B., 1986. Validation of a prognosis based upon a eutrophication model. *Ecol. Modell.*, 32, 165-182.
- Loague K.M., Green R.E., 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. *J. Contam. Hydrol.*, 7, 51-73.
- Maixner M., Johannesen J., Seitz A., 2009. Aspects of interaction of Stolbur phytoplasma, vectors and host plants in the two epidemic systems of Bois noir. *Extended abstracts 16th Meeting of ICVG*, 141-142.
- Maixner M., Langer M., 2006. Prediction of the flight of *Hyalesthes obsoletus*, vector of stolbur phytoplasma, using temperature sums. *IOBC Bulletin*, Vol. 29 (11), 161-166.
- Montermini A., Mazio P., 2007. I GY in provincia di Reggio Emilia. In: I Giallumi della vite (A. Montermini, a cura di). Cap. 2, Edizioni L'Informatore Agrario, 11-26.
- Nash J.E., Sutcliffe J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles. *J. Hydrol.*, 10, 282-290.
- Wang E., Engel T., 1998. Simulation of phenological development of weath crops. *Agricultural systems*, 58 (1), 24 pp.