

APPLICAZIONE E VERIFICA DEL MODELLO DI DINAMICA DI POPOLAZIONE DI *DROSOPHILA SUZUKII* (SUZ-S) IN TEMPO REALE NEL TERRITORIO EMILIANO-ROMAGNOLO: CONFRONTO CON I DATI DI CAMPO

S. PESOLILLO¹, R. TISO², A. BUTTURINI², S. PAOLINI³, G. VACCARI⁴, S. CARUSO⁴,
M. G. TOMMASINI⁵

¹ Consulente Ri.Nova, via dell'Arrigoni, 120 - 47522 Cesena

² Servizio Fitosanitario Regione E-R, via Andrea da Formigine, 3 - 40128 Bologna

³ Astra Innovazione e Sviluppo, via Calcinaro, 1920 - 47521 Cesena

⁴ Consorzio Fitosanitario di Modena, via Santi, 14 - 41123 Modena

⁵ Ri.Nova, via dell'Arrigoni, 120 - 47522 Cesena

s.pesolillo@gmail.com

RIASSUNTO

Il modello di dinamica di popolazione multivoltina SUZ-S simula lo sviluppo del ciclo vitale uovo-adulto e i tempi di ovideposizione di *Drosophila suzukii* in funzione delle condizioni meteorologiche che si verificano in campo. La struttura matematica del modello si basa sulla teoria dei Modelli a Ritardo Variabile. I parametri bioclimatici specifici per *D. suzukii* sono presenti in letteratura e sono stati calibrati tramite il confronto con i dati storici di presenza dell'insetto (2012-2016). Il processo di verifica della qualità delle simulazioni settimanali si è basato sul confronto con il monitoraggio dei voli e dei danni sui frutti in ceraseti delle province di Modena e Forlì-Cesena (2017-2021) e ha fatto emergere una buona corrispondenza su: variabilità storica di presenza dell'insetto osservata negli anni, differenze dello sviluppo in tempo reale sul territorio, previsioni settimanali sull'evoluzione della popolazione. L'applicazione del modello per le simulazioni spazializzate, in tempo reale e previsionale, fornisce uno strumento di supporto utile per la gestione e la programmazione della difesa dei ceraseti agli attacchi di *D. suzukii* sul territorio emiliano-romagnolo.

Parole chiave: Modello a Ritardo Variabile, popolazione multivoltina, dati meteorologici, simulazioni previsionali

SUMMARY

REAL-TIME APPLICATION AND VERIFICATION OF THE *DROSOPHILA SUZUKII* (SUZ-S) POPULATION DYNAMICS MODEL IN THE EMILIA-ROMAGNA AREA: COMPARISON WITH FIELD DATA

The SUZ-S multivoltine population dynamics model simulates the development of the egg-adult life cycle and the oviposition times of *Drosophila suzukii* as a function of the meteorological conditions occurring in the field. The mathematical structure of the model is based on the theory of Variable Delay Models. The specific bioclimatic parameters for *D. suzukii* are present in literature and have been calibrated by comparison with the historical data of the presence of the insect (2012-2016). The quality verification process of the weekly simulations was based on the comparison with the monitoring of flights and damage to the cherry groves in the provinces of Modena and Forlì-Cesena (2017-2021) and revealed a good correspondence on: the historical variability of presence of the insect observed over the years, the differences in development in real time on the territory, the weekly forecasts on the evolution of the population. The application of the SUZ-S model for spatial simulations, in real time and forecasting, provides a useful support tool for the management and planning of the defense of the cherry orchards against attacks by *D. suzukii* in the Emilia-Romagna area.

Keywords: Distributed Delay Model, multivoltine population, meteorological data, forecast simulations

INTRODUZIONE

I modelli di sviluppo delle popolazioni di insetti sono strumenti matematici che semplificano tramite equazioni e parametri bioclimatici le relazioni tra l'ambiente e lo sviluppo del parassita, restituendo informazioni numeriche sugli andamenti stagionali degli individui nei vari stadi del ciclo vitale. Se applicati a più anni e ad aree con caratteristiche meteorologiche differenti, anche i risultati dei modelli varieranno, e in funzione della loro capacità di rappresentare la dinamica dell'insetto, restituiranno informazioni utili per distinguere anticipi o ritardi nella comparsa dei primi individui svernanti, dimensioni e distribuzioni stagionali della popolazione. Questi risultati, se confermati dalle osservazioni in campo, rendono il modello uno strumento utile per programmare la difesa delle colture agricole dagli attacchi dei parassiti, fornendo indicazioni previsionali sugli andamenti della popolazione in funzione del variare delle condizioni meteorologiche che si verificano sul territorio.

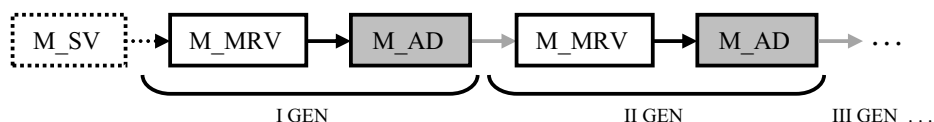
Per questo obiettivo è stato calibrato e validato un nuovo modello (SUZ-S) per simulare il ciclo annuale di *Drosophila suzukii* Matsumura in funzione delle condizioni meteo che si verificano in campo. I parametri e la struttura del modello sono stati calibrati grazie al confronto con i dati storici di presenza dell'insetto sul territorio regionale (2012-2016) e validati seguendo in tempo reale lo sviluppo della popolazione e i relativi danni sulla produzione con monitoraggi mirati nelle province di Modena e Forlì-Cesena (2017-2021). La validazione del modello ha permesso di individuare una serie di indicatori soglia che descrivono in tempo reale l'andamento della popolazione di *D. suzukii*, consentono di stimare i potenziali rischi sulla produzione di ciliege nel corso della stagione e suggeriscono il momento migliore per intervenire considerando la proiezione settimanale della dinamica dell'insetto ottenuta dall'inserimento dei dati meteo previsionali.

MATERIALI E METODI

Il modello SUZ-S è strutturato per fornire il numero giornaliero di adulti e di uova di *D. suzukii* che si sviluppano a partire dall'inizio dell'anno fino alla conclusione della raccolta delle varietà tardive di ciliege sul territorio regionale. Il modello è costituito da due differenti moduli: uno basato sulla teoria del Modello a Ritardo Variabile (Manetsch, 1976; Vansieckle, 1977) per lo sviluppo degli individui da uovo a adulto (Modulo MRV), l'altro in grado di simulare la dinamica del processo di ovideposizione (Modulo Adulto; basato sugli algoritmi presenti in Bieri et al., 1983). I parametri iniziali che definiscono le relazioni tra fattori ambientali e le caratteristiche fisiologiche dell'insetto sono definiti nell'articolo di Gutierrez et al., 2016 e sono stati calibrati tramite il confronto tra i dati storici di presenza di *D. suzukii* sui cerasetti regionali e le simulazioni ottenute con l'uso dei relativi dati meteo giornalieri (2012-2016). Schematicamente può essere rappresentato con una serie di moduli opportunamente collegati tra loro (modulo MRV e modulo Adulto) che rappresentano i diversi blocchi di equazioni e parametri che permettono di descrivere lo sviluppo della popolazione multivoltina (figura 1).

Il primo modulo del modello è quello svernante, basato sulla teoria del Ritardo Variabile ma con parametri e funzioni calibrate differentemente rispetto al modulo MRV successivo, che considera lo sviluppo di *D. suzukii* da uovo ad adulto. I flussi in uscita dal modulo MRV rappresentano l'ingresso per il Modulo Adulto che simula il numero di uova deposte nel tempo. La successione ordinata dei due moduli (MRV e Adulto) viene ripetuta tante volte per quante sono le generazioni da rappresentare.

Figura 1. Schema a blocchi del modello SUZ-S. I rettangoli definiscono i moduli e il loro susseguirsi in maniera ordinata per simulare lo sviluppo della popolazione di *D. suzukii* nelle diverse generazioni per anno. Le frecce indicano i flussi di individui che escono da un modulo ed entrano in quello successivo



Le simulazioni del modello sono guidate dall'andamento della temperatura media giornaliera: inserendo la serie completa di dati relativi a una specifica zona del territorio regionale, si ottiene come risultato il flusso di adulti e di uova che si sviluppano in quell'area. Inoltre, inserendo i dati meteo previsti settimanalmente per ogni zona, è possibile ottenere la proiezione futura dell'andamento della popolazione. I dati meteo, sia osservati che previsti, sono stati messi a disposizione dall'ARPA Emilia Romagna ed estratti dal sistema Meteo-Gias che suddivide il territorio regionale in una griglia regolare e stima il valore dei principali parametri meteo per ogni quadrante in base alle misure delle stazioni presenti. I quadranti selezionati per la calibrazione, validazione e applicazione del modello corrispondono alle zone in cui è stato effettuato il monitoraggio di presenza di *D. suzukii* e la stima del danno sulla produzione di ciliegie negli ultimi dieci anni.

Partendo dai flussi giornalieri dei diversi moduli del SUZ-S sono stati calcolati quattro indici numerici per stimare il rischio di sviluppo dell'insetto in diversi momenti della stagione e prevederne la pericolosità sulla produzione cerasicola. Il primo calcola la sopravvivenza invernale degli individui inseriti il primo gennaio (SOP_C); il secondo è dato dalla somma degli adulti che si sviluppano nei primi due mesi dell'anno e permette di stimare l'effetto delle condizioni meteo invernali sulla popolazione (AD_GF); il terzo indice calcola il numero di uova deposte nei mesi di aprile e maggio, per prevedere l'impatto dell'insetto sulla produzione delle varietà precoci e medio tardive (UO_AM); il quarto somma le uova deposte nel mese di giugno, periodo di produzione delle varietà tardive (UO_GIU). Oltre ai quattro indici descritti, il modello SUZ-S fornisce in tempo reale e previsionale gli andamenti settimanali dei flussi di individui adulti sviluppati e di uova deposte, queste informazioni, se confrontate con quelle degli anni precedenti costituiscono un elemento di supporto per stimare l'evoluzione stagionale dell'insetto e programmare gli interventi di difesa.

RISULTATI

In tabella 1 vengono riportati i risultati degli indici numerici stagionali elaborati nel quinquennio 2012-2016 nella fase di calibrazione del modello. Le simulazioni fanno riferimento a due quadranti della provincia di Forlì-Cesena (Montereale e San Giorgio) e due di Modena (Vignola e Marano sul Panaro). In grassetto vengono evidenziati i valori più alti degli indici per ogni zona. Analizzando i risultati in tabella è possibile individuare i periodi e gli anni in cui le condizioni meteo sono state favorevoli allo sviluppo di *D. suzukii*: in generale, la maggior pressione dell'insetto sulla produzione si evidenzia negli anni 2014, 2015 e 2016, mentre negli altri anni lo sviluppo della popolazione è risultato più contenuto. In tutte le zone, nel 2014 e nel 2016, i valori dei primi due indici (SOP_C, AD_GF) sono tra i più alti dell'intero quinquennio e sottolineano l'effetto favorevole del clima invernale sullo sviluppo della popolazione svernante e le ripercussioni sull'intero ciclo vitale dell'insetto. Nel 2015,

nonostante i valori più contenuti degli indici invernali, la popolazione ha ripreso vigore e raggiunto nel periodo aprile-maggio (UO_AM) e giugno (UO_GIU) dimensioni paragonabili al 2014 e al 2016. La differenza climatica tra le due province è messa in evidenza anche dagli indici: i valori relativi ai diversi anni risultano essere in media più bassi nella provincia di Modena rispetto a Forlì-Cesena, segno di una variabilità meteorologica che rallenta lo sviluppo della popolazione nell'area modenese.

L'analisi dei dati storici di presenza sul territorio di *D. suzukii* confermano gli andamenti della popolazione simulati nel quinquennio 2012-2016, segnalando il 2014 e il 2016 come i due anni in cui la produzione cerasicola ha subito danni maggiori nonostante una programmazione della difesa molto intensa. I danni alla produzione sono invece stati molto contenuti nel biennio 2012-2013. Situazione intermedia si è invece verificata nel 2015, anno in cui, nel complesso, la difesa è riuscita a contenere la pressione dell'insetto nonostante un incremento dei danni sulle cultivar tardive. Inoltre, a causa delle differenti caratteristiche meteorologiche delle due province, i monitoraggi confermano l'anticipo dello sviluppo della popolazione di *D. suzukii* nell'area di Forlì-Cesena, come messo in evidenza dai numeri più alti dell'indice AD_GF in tutti gli anni.

Tabella 1. Risultati dei quattro indici numerici nel periodo 2012-2016 per le zone di Montereale (FC), S. Giorgio (FC), Vignola (MO) e Marano sul Panaro (MO). SOPC indica la sopravvivenza degli individui inseriti nel modello all'inizio dell'anno, AD_GF la somma degli adulti sviluppati nel periodo gennaio-febbraio, UO_AM il numero totale di uova deposte nei mesi di aprile e maggio, UO_GIU le uova deposte a giugno. In grassetto sono evidenziati i valori più alti per indice e zona.

Anno	Quadrante n. 1990 Montereale (FC)			
	SopC	AD_GF	UO_AM	UO_GIU
2012	39	0	76	122
2013	30	0	76	151
2014	74	65	152	274
2015	44	6	158	305
2016	76	75	187	348

Anno	Quadrante n. 1221 Vignola (MO)			
	SopC	AD_GF	UO_AM	UO_GIU
2012	39	0	76	118
2013	21	0	41	81
2014	51	10	132	230
2015	37	0	125	233
2016	49	10	148	273

Anno	Quadrante n. 2028 S. Giorgio (FC)			
	SopC	AD_GF	UO_AM	UO_GIU
2012	38	0	94	139
2013	30	0	91	174
2014	75	66	201	328
2015	44	3	175	304
2016	71	65	204	387

Anno	Quadrante n. 1182 Marano s. Panaro (MO)			
	SopC	AD_GF	UO_AM	UO_GIU
2012	44	1	85	117
2013	22	0	51	91
2014	57	18	164	252
2015	37	0	130	212
2016	66	49	204	357

In tabella 2 vengono riportati i risultati degli indici per il quinquennio 2017-2021: in grassetto vengono evidenziati i valori più alti per sottolineare i periodi critici previsti con il modello. In questo secondo periodo si osserva un forte impatto delle ovideposizioni nel 2018 in tutte le aree, mentre il 2019 risulta essere l'anno con i valori più bassi per le uova deposte,

sia nel periodo di aprile-maggio che di giugno: la pressione dell'insetto sulla produzione è stata alquanto modesta. Nel 2020 i risultati delle simulazioni sono paragonabili a quelle del 2014 e del 2016, ovvero tutti e quattro gli indici assumono valori tra i più alti del quinquennio. Nel 2021, nonostante gli indici invernali risultano molto simili a quelli del 2020, lo sviluppo della popolazione e le ovideposizioni simulate in tutte le zone sono rimaste notevolmente più modeste (in media circa il 40% più basse), segno di un'influenza climatica sfavorevole per l'insetto nella seconda parte della stagione.

Anche in questo quinquennio, le osservazioni effettuate in campo hanno messo in evidenza una buona corrispondenza con il simulato. Il 2018 è stato un anno in cui la pressione sulle cultivar tardive è stata molto alta mentre è risultata più contenuta nelle precoci (soprattutto nella zona di Modena). Nel 2020 tutta la stagione è risultata molto impegnativa per la difesa della produzione finale: l'andamento sul territorio regionale è stato in linea con quanto osservato negli anni più critici, al contrario del 2021, quando la presenza dell'insetto si è mantenuta contenuta per tutto l'anno.

Tabella 2. Risultati dei quattro indici numerici nel periodo 2017-2021 per le zone di Montereale (FC), S. Giorgio (FC), Vignola (MO) e Marano sul Panaro (MO). SOPC indica la sopravvivenza degli individui inseriti ne modello all'inizio dell'anno, AD_GF la somma degli adulti sviluppati nel periodo gennaio-febbraio, UO_AM il numero totale di uova deposte nei mesi di aprile e maggio, UO_GIU le uova deposte a giugno. In grassetto sono evidenziati i valori più alti per indice e zona.

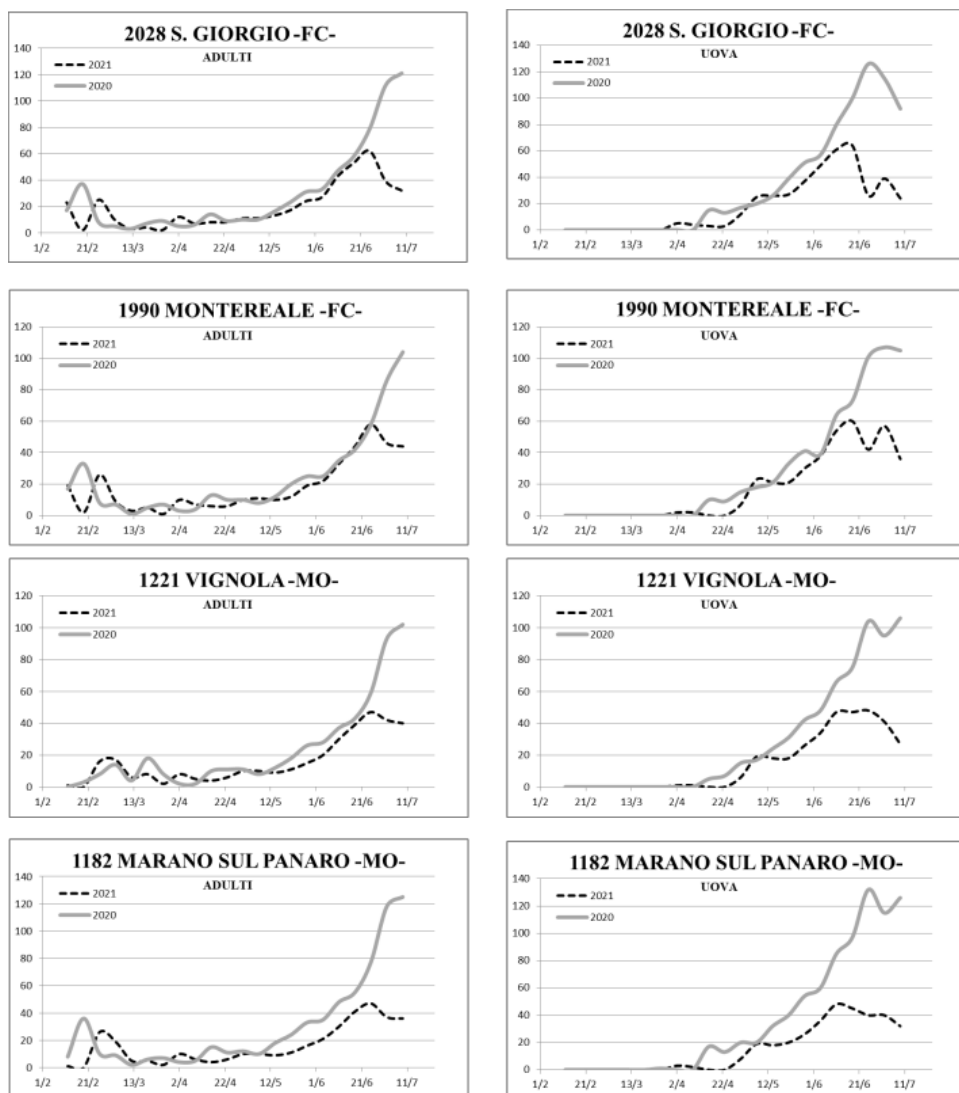
Anno	Quadrante n. 1990 Montereale (FC)				Quadrante n. 1221 Vignola (MO)			
	SopC	AD_GF	UO_AM	UO_GIU	SopC	AD_GF	UO_AM	UO_GIU
2017	47	5	134	199	44	0	124	144
2018	42	4	194	381	33	0	132	250
2019	54	19	55	90	48	3	62	88
2020	67	65	186	239	54	21	189	245
2021	62	54	106	201	52	27	89	176

Anno	Quadrante n. 2028 S. Giorgio (FC)				Quadrante n. 1182 Marano sul Panaro (MO)			
	SopC	AD_GF	UO_AM	UO_GIU	SopC	AD_GF	UO_AM	UO_GIU
2017	46	2	150	209	47	3	154	163
2018	39	1	200	352	34	0	147	274
2019	50	4	67	103	55	28	67	84
2020	68	67	238	311	67	62	256	308
2021	63	57	142	200	56	40	96	169

In figura 2 viene riportato graficamente l'andamento simulato degli adulti e delle uova deposte nelle provincie di Forli-Cesena e Modena nel 2020 (linee continue grigie) e nel 2021 (linee tratteggiate nere). Dal confronto dettagliato tra i due anni si evidenzia l'anticipo del picco di presenza di adulti a febbraio del 2020 seguito dall'allineamento per la maggior parte della stagione e da un'impennata di presenze nella fase finale del 2020, a partire dalla seconda

metà di giugno. Molto più evidente la differenza tra i due anni nei grafici delle simulazioni delle uova deposte: la linea grigia (2020) corre sempre molto più alta rispetto a quella tratteggiata (2021) e il divario aumenta soprattutto nel periodo finale, in corrispondenza della raccolta delle varietà tardive.

Figura 2. Confronto andamento adulti e uova 2020-2021. I grafici nella colonna sinistra mostrano gli andamenti degli adulti, quelli di destra delle uova, simulati per la provincia di Forlì-Cesena (Montereale, S. Giorgio) e di Modena (Vignola, Marano sul Panaro): la linea continua in grigio descrive lo sviluppo relativo al 2020, quella tratteggiata nera al 2021



DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

L'affidabilità di un modello matematico nel simulare il ciclo vitale di una popolazione multivoltina in funzione delle condizioni meteorologiche si valuta attraverso il processo di calibrazione e validazione della struttura e dei parametri bioclimatici utilizzati. Per il SUZ-S, questo percorso si è basato sul confronto tra le simulazioni e le osservazioni della presenza dell'insetto, del danno sulla produzione e della programmazione della difesa in diverse zone delle provincie di Forlì-Cesena e Modena degli ultimi dieci anni. I risultati ottenuti hanno permesso di definire quattro indici numerici per descrivere sinteticamente l'andamento stagionale della popolazione e stimare il rischio del danno sulla produzione delle diverse colture. Nei dieci anni analizzati, gli indici mettono in evidenza: tre stagioni particolarmente favorevoli per lo sviluppo dell'insetto (2014, 2016 e 2020), sia nella parte invernale che tardo primaverile; un'ovideposizione totale molto alta nel 2015; una pressione tra le più elevate soprattutto sulle varietà tardive dovuta al picco di uova deposte nel periodo di giugno 2018; una differenza sostanziale tra gli andamenti degli ultimi due anni, indicando il 2020 come stagione molto favorevole allo sviluppo dell'insetto, al contrario del 2021. Gli andamenti stagionali osservati in campo negli ultimi dieci anni confermano quanto simulato con il modello, sia confrontando i risultati in tempo reale che previsionale, e sottolineano una forte correlazione con la variabilità di sviluppo dell'insetto sul territorio regionale.

La verificata capacità del SUZ-S di simulare l'andamento della popolazione distinguendo i risultati per le diverse aree, insieme alla possibilità di prevederne l'andamento settimanale e sintetizzare quello stagionale con degli indici numerici, rende questo modello uno strumento di supporto utile per la gestione e la programmazione della difesa dei ceraseti dagli attacchi di *D. suzukii*.

Ringraziamenti

Lavoro svolto nell'ambito del progetto PSR Emilia-Romagna 14-20 Misura 16.1.01 G.O. Fruttanova – D.N. 5005112 F.A. 4B sulle “Strategie innovative di difesa del ciliegio dal moscerino dei piccoli frutti”.

Si ringrazia il dott. Andrea Pasquali dell'ARPAE-SIMC di Bologna per aver fornito i dati meteo previsionali settimanali relativi ai quadranti delle provincie di Forlì-Cesena e Modena per la validazione del modello.

LAVORI CITATI

- Bieri M., Baumgärtner J., Bianchi G., Delucchi V., Von Arx R., 1983. Development and fecundity of pea aphid (*Acyrtosiphon pisum* Harris) as affected by constant temperatures and pea varieties. *Mitt Schweiz Ent Ges*, 56,163-17
- Gutierrez A. P., Ponti L., Dalton D. . 2016. Analysis of the invasiveness of spotted wing Drosophila (*Drosophila suzukii*) in North America, Europe, and the Mediterranean Basin. *Biol. Invasions*, 18, 12, 3647-3663
- Manetsch T. J., 1976. Time-varying distributed delay models and their use in aggregative models of large systems. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, 6, 547-553
- Vansickle J., 1977. Attrition in distributed delay models. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, 7, 635-638