

## Strategie di difesa integrata contro *Drosophila suzukii*

Nicola Mori<sup>1\*</sup>, Lorenzo Tonina<sup>1</sup>, Manuel Sancassani<sup>1</sup>, Fernanda Colombari<sup>1</sup>, Patrizia Dall'Ara<sup>1</sup>, Matteo Dal Cero<sup>2</sup>, Enrico Marchesini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DAFNAE - sez. Entomologia, Università di Padova, Legnaro (PD)

<sup>2</sup> Agrea Centro Studi, San Giovanni Lupatoto (VR)

### Integrated pest management approaches against *Drosophila suzukii*

**Abstract.** The appearance of *Drosophila suzukii* in 2009 has strongly affected the cherry cultivation. Prior to SWD invasion, Italian cherry orchards were treated with only two insecticide applications, the first against aphids (*Myzus cerasi* Sulz.) before flowering and the second against *Rhagoletis cerasi*, about 20-30 days before harvest. After *D. suzukii* invasion, additional two-three pre-harvest (close to harvest) insecticide treatments are required, but the number of insecticide applications can increase to 5-8 depending on pest abundance, crop susceptibility and other environmental factors. The intensive use of insecticides poses serious concerns about the presence of residues on fruits exceeding maximum residue limits (MRLs), the development of resistance, and negative impacts on the environment beyond beneficials. To obtain a good and sustainable control of *D. suzukii* the chemical strategies should be coupled with cultural management the use of nets and parasitoids. To achieve good control of the carpophagus it is essential to monitor, as well as the adults with trap lured with blends of fermentig substances, the oviposition on the ripening fruit, because the percentage of infestation is not related to the number of catches in the food traps. Considering the viability of SWD eggs and larvae is lower under dry, warm conditions, cool humid microhabitats should be avoided by pruning to open up the canopy in order to increase airflow on the trees and reduce shading. In addition, the use of mulches reducing standing water can further contribute to the reduction of humidity in fruit orchards. Precision irrigation should also be incorporated to reduce pooling of water on the ground. Mass trapping, placing numerous traps around the perimeter outside fruit fields, is suitable and cost-effective method only for cultivations where the pest pressure is considerably low, if necessary insecticides could be applied to the surface of the traps to function as an attract-and-kill strategy. Among the sustainable protection techniques for the control of *D. suzukii*, the use of insect-proof nets has

proved effective, reducing or completely replacing the use of insecticides in some instances, and providing high levels of exclusion of *D. suzukii* from the crop. During the ripening season, sanitary measures such as removal of dropped, infested and over-ripe fruits is recommended. The collection and treatment of infested fruit through sun exposure, disposal in closed containers, crushing, low temperature treatments, bagging and burying, to destroy *D. suzukii* eggs and larvae are essential IPM procedures to limit the infestation of healthy fruit. The augmentative release of parasitoids and conservation biocontrol of generalist predators, potentially, could contribute to the integrated management of *D. suzukii* populations, especially in natural habitats close to commercial crops, however further work on the effectiveness of native parasitoids and generalist predators in Europe and the USA, in the field, is required. In this paper, the integration of different tools for *D. suzukii* control will be discussed, in order to develop effective, eco-friendly and practical strategies in the management of the pest on cherry.

**Key words:** Spotted Wing *Drosophila*, Cherry, Cultural management, Eco-friendly control strategies.

### Introduzione

*Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (Ditteri: Drosophilidae) - Spotted Wing *Drosophila* (SWD) (fig. 1) dittero originario dell'Asia, è divenuto negli ultimi anni un fitofago chiave per la frutticoltura in Europa e Nord America (Rota-Stabelli *et al.*, 2013). A differenza della maggior parte degli altri insetti del genere *Drosophila* che si sviluppano solo su frutti sovra maturi o in decomposizione, *D. suzukii* è in grado di ovideporre nei frutti integri in fase di maturazione grazie ad un ovopositore particolarmente robusto, provvisto di una struttura sclerificata e dentellata molto caratteristica ed adatta ad incidere l'epicarpo di frutti perfettamente sani (Lee *et al.*, 2011; Walsh *et al.*, 2011).

Una delle caratteristiche che fanno di questo insetto una vera e propria calamità per la frutticoltura, risiede nella sua elevatissima polifagia (Lee *et al.*,

\* nicola.mori@unipd.it



Fig. 1 - Adulto (femmina) di *Drosophila suzukii* con uovo (Foto UniPD con Hirox Digital Microscope RH-2000, Simitecno S.r.l.).

Fig. 1 - Adult (female) of *Drosophila suzukii* with egg (Photo UniPD with Hirox Digital Microscope RH-2000, Simitecno S.r.l.).

2015; Kenis *et al.*, 2016), essendo esso in grado di ovideporre e svilupparsi su una vasta gamma di frutti coltivati, ornamentali e selvatici, a cominciare dalle prime specie che vanno a frutto nella tarda primavera fino alle ultime fruttificazioni autunnali, in un crescendo demografico di difficile contenimento. A ciò si affiancano la rapidità del ciclo di sviluppo, l'elevata prolificità e la capacità di svilupparsi bene a temperature comprese tra 11°C (Tonina *et al.*, 2016) e 28-30°C (Kinjo *et al.*, 2014) in condizioni di umidità superiore al 70% (Tochen *et al.*, 2016).

### Dannosità di *D. suzukii* su ciliegio

Nella ampia gamma di ospiti di *D. suzukii*, il ciliegio è segnalato fra quelli più suscettibili (Lee *et al.*, 2011; Ioriatti *et al.*, 2015) sia perché fruttifica in un periodo nel quale non sono presenti ospiti alternativi, sia per le sue caratteristiche chimico fisiche che risultano ideali per lo sviluppo delle larve che riescono a svilupparsi senza incorrere in significativi tassi di mortalità (Bellamy *et al.*, 2013).

*D. suzukii* attacca le ciliegie in prossimità della raccolta (fig. 2), danneggiando l'epicarpo di frutti sani e deponendoci le uova le quali si svilupperanno in larve che con la loro attività trofica provocheranno il rammollimento dei frutti (Stacconi *et al.*, 2013). La lesione dell'ovopositore costituisce anche un via di entrata per infezioni batteriche e fungine o per altri parassiti (Walsh *et al.*, 2011). Gravi infestazioni su ciliegio sono state segnalate per la prima volta in Giappone nel 1916 (Kanzawa, 1935); più recentemente, sulla penisola giapponese sono stati quantificati danni variabili dal 26 al 100% a seconda delle condizioni ambientali (Sasaki e Sato, 1995). Negli Stati Uniti, *D. suzukii* ha causato danni del 26% sulla produzione di ciliegie per la prima volta nel



Fig. 2 - Ciliegie infestate da *Drosophila suzukii* in prossimità della raccolta (Foto Tonina).

Fig. 2 - Cherries infested close to harvest by *Drosophila suzukii* (Photo Tonina).

2009 (Beers *et al.*, 2011). In Italia, nei due anni successivi al primo rilevamento nel 2009 (Cini *et al.*, 2012), il dittero ha causato danni fino al 90% nelle varietà tardive e nei ceraseti situati nelle aree collinari, con perdite annue stimate a 3-5 € milioni di euro all'anno (Grassi *et al.*, 2011; De Ros *et al.*, 2013; Ioriatti *et al.*, 2015).

Il danno causato è variabile tra le diverse aree di coltivazione e fortemente condizionato dall'ambiente circostante i frutteti. Generalmente, le infestazioni sono più elevate ai margini dei ceraseti, vicino a siepi e boschi, a causa della presenza di numerose piante ospiti selvatiche che forniscono cibo e aree di rifugio all'insetto (Grassi *et al.*, 2013; Pelton *et al.*, 2016; Santoiemma *et al.*, 2018; Tonina *et al.*, 2018b). Questi gradienti (fig. 3) devono essere considerati nella progettazione di nuovi frutteti o nelle applicazioni insetticide (Tonina *et al.*, 2018b). Ai bordi del frutteto sono da preferire le cultivar a maturazione precoce (con meno possibilità di attacco), inoltre le file dovrebbero essere disposte in modo parallelo alla fonte di infestazione al fine di intercettare gli individui provenienti dalla foresta sulle prime file di piante e proteggere la parte più interna del frutteto. Le applicazioni insetticide potrebbero essere maggiori ai margini delle colture, nel rispetto delle zone tampone riportate in etichetta. Queste considerazioni indicano la necessità di una gestione del carpo-fago a livello di agroecosistema e non limitata solo al singolo frutteto.

Inoltre, le catture ed i danni di *D. suzukii* variano ampiamente a seconda dell'andamento climatico: annate caratterizzate da inverni miti e primavere fresche e piovose sono favorevoli alle infestazioni del parassita con bassa mortalità in svernamento e forte





Fig. 3 - Andamento delle infestazioni di *Drosophila suzukii* all'interno del ceraseto. La gradazione del colore indica l'intensità di attacco da parte di *D. suzukii* (più è scuro e più le ciliegie sono danneggiate).

Fig. 3 - *Drosophila suzukii* infestation trend in Cherry orchard. The color gradation indicates the intensity of *D. suzukii* infestation (darker color means more infested cherries).

incremento demografico a scapito delle prime fruttificazioni (ciliegio, ciliegio canino, sambuco, rovo, ...); al contrario, inverni freddi, secchi e ventosi seguiti da mesi caldi e siccitosi limitano fortemente lo sviluppo delle popolazioni (Sancassani *et al.*, 2016).

### Strategie di difesa integrata

La difesa contro di *D. suzukii* su ciliegio risulta essere molto complessa in quanto le uova vengono deposte all'interno dei frutti sani durante le fasi finali della maturazione e le larve svolgono il loro ciclo completamente riparate all'interno della polpa del frutto. Per questo motivo la lotta è focalizzata prevalentemente a contrastare la presenza degli adulti e a proteggere il frutto in prossimità della raccolta.

La biologia e l'ecologia del carpo-fago impongono, per una difesa efficace della coltura, la combinazione di tutti i mezzi di contenimento.

Prerequisito essenziale per la pianificazione di una razionale lotta contro *D. suzukii* è la programmazione di un adeguato monitoraggio all'interno dei ceraseti e nelle aree circostanti i frutteti. Dato che l'intensità delle infestazioni non è correlata con il numero di catture, oltre al monitoraggio degli adulti con le trappole attivate con esche alimentari, è importante il controllo delle ovi-deposizioni sulle drupe in via di sviluppo (Tonina *et al.*, 2018a).

### Mezzi chimici di contenimento

Il controllo di *D. suzukii* si basa principalmente sull'applicazione di insetticidi a largo spettro d'azione come piretroidi, organofosfati e spinosine (Beers *et al.*, 2011; Van Timmeren e Isaacs, 2013; Cuthbertson *et al.*, 2014; Profaiser *et al.*, 2015; Shawer *et al.*, 2018). Prima della comparsa del drosophilide, nei ceraseti venivano effettuate due applicazioni di insetticidi, una contro gli afidi (*Myzus cerasi* Sulz.) prima della fioritura, ed una contro *Rhagoletis cerasi* L. all'invasione, indicativamente 20-30 giorni prima della raccolta. Dal 2009, per il contenimento del drosophilide sono richiesti ulteriori due-tre trattamenti insetticidi in prossimità della raccolta (Beers *et al.*, 2011; Haviland e Beers, 2012; Shawer *et al.*, 2018) ma il numero di applicazioni può aumentare fino a 5-8 a seconda delle densità di popolazione del parassita, della suscettibilità varietale e dei fattori ambientali (Van Timmeren e Isaacs, 2013). L'ampio intervallo di temperature adatte allo sviluppo di *D. suzukii*, la sua velocità di riproduzione, l'elevata disponibilità di piante ospiti e di habitat colonizzati e la complessità territoriale delle nostre aree di coltivazione, rendono la sola lotta insetticida non sufficiente a contrastare in modo pienamente efficace gli attacchi del moscerino.

Inoltre, l'uso intensivo di insetticidi pone serie preoccupazioni circa la presenza di residui sui frutti

che rischiano di superare i limiti massimi di residui ammessi (MRL) (Haviland e Beers, 2012), nonché per lo sviluppo di resistenze e l'impatto negativo sull'ambiente (Asplen *et al.*, 2015).

### Cattura massale

Lo scopo della cattura massale è quello di contribuire al contenimento del danno di *D. suzukii* riducendo la presenza degli adulti utilizzando numerose trappole attrattive. L'efficacia di questo metodo è limitata a causa della mancanza di un'esca alimentare specifica ed efficace in grado di competere con l'attrazione dei frutti maturi (Ioriatti *et al.*, 2015, Tonina *et al.*, 2018b). Indagini condotte nel Nord Italia, impiegando la trappola Drosotrap® (Biobest) innescata con Droskidrink® (Prantil), hanno dimostrato che questo metodo è adatto, ed economicamente sostenibile, solo ove la pressione del parassita è considerevolmente bassa in impianti estesi e di forma regolare, non circondati da altre piante ospiti ed in annate con clima caldo e secco (Sancassani *et al.*, 2016). Le trappole per la cattura massale dovrebbero essere posizionate ogni 2-3 metri sui bordi dell'appezzamento (distanti almeno 5 metri dalle piante di ciliegio) (Sancassani *et al.*, 2016) (fig. 4); l'efficacia del metodo può essere aumentata applicando insetticidi residui sulla superficie delle trappole (Hampton *et al.*, 2014).

### Reti anti-insetto

L'uso di reti anti-insetto è una tecnica di contenimento di *D. suzukii* molto efficace che consente una significativa riduzione dell'impiego di insetticidi. Per un'adeguata protezione la dimensione della maglia non deve superare l'1 mm<sup>2</sup> (Grassi *et al.*, 2013). Le reti devono essere installate subito dopo la fioritura (per consentire l'azione dei pronubi) e prima dell'invasiatura (Caruso *et al.*, 2017). Attualmente in commercio sono disponibili diversi sistemi che prevedono la copertura delle singole piante, delle singole file o dell'intero frutteto (fig. 5); in base alle esperienze finora acquisite le soluzioni migliori sono la copertura a file con il doppio strato nella parte superiore con funzione anti-pioggia e la copertura dell'impianto lasciando ampi spazi perimetrali per la movimentazione dei mezzi agricoli e degli operatori. L'efficacia di questi sistemi di protezione può venire compromessa dalla non corretta gestione delle aperture e dalla non tempestiva riparazione delle rotture (Ghelfi *et al.*, 2016; Caruso *et al.*, 2017). Sebbene l'investimento iniziale sia estremamente costoso, il rendimento a lungo termine può essere favorevole considerando l'alto valore economico delle produzioni, le potenziali perdite dovute a *D. suzukii* e gli eventi meteorologici avversi (Ghelfi *et al.*, 2016).



Fig. 4 - Ceraseto con cattura massale (Foto Tonina).  
Fig. 4 - Cherry orchard with mass trapping technique (Photo Tonina).





Fig. 5 - Ceraseto con reti anti-insetto monofila (Foto Tonina)

Fig. 5 - Cherry orchard with insect-proof nets (Photo Tonina)

### Pratiche agronomico-culturali

Come già riportato, *D. suzukii* predilige climi freschi ed umidi: la vitalità degli stadi giovanili è infatti inferiore in ambienti caldi ed asciutti (Kinjo *et al.*, 2014; Tochen *et al.*, 2016). All'interno della chioma le maggiori infestazioni si hanno al centro ed in prossimità del suolo o nelle zone ombrose (fig. 3). Per limitare i danni è necessario adottare nel frutteto tutte quelle pratiche colturali ed agronomiche che riducono i microhabitat favorevoli allo sviluppo del carpfago. Con la potatura invernale ed estiva è essenziale aprire la vegetazione per aumentare il flusso d'aria e ridurre l'ombreggiamento all'interno della pianta, per lo stesso motivo attenzione deve essere posta nella scelta dei portainnesti e dei sesti d'impianto. Chiome rade facilitano anche la penetrazione delle applicazioni insetticide e la concentrazione temporale del periodo di maturazione dell'intera pianta e di conseguenza una rapida raccolta. L'uso della pacciamatura sulla fila, lo sfalcio frequente del cotico erboso tra le file e un'irrigazione localizzata, che evitando il ristagno dell'acqua, contribuisce alla riduzione dell'umidità nei frutteti soprattutto in prossimità delle foglie (Tonina *et al.*, 2017).

Durante il periodo di maturazione è fondamentale la rimozione dei frutti infestati o maturi che cadono a terra o che rimangono sulle piante (Lee *et al.*, 2011; Shi 2015, Tonina *et al.*, 2017) i quali rappresentano

un importante sorgente di nuovi individui di *D. suzukii* (Dreves *et al.*, 2009; Walsh *et al.*, 2011). La raccolta e la distruzione di questi frutti devono essere effettuate attraverso la solarizzazione all'interno di sacchetti plastici chiusi, lo smaltimento in contenitori chiusi o mediante l'interramento. La distruzione di questa fonte di uova e di larve di *D. suzukii* è la pratica agronomica più importante per limitare le infestazioni sulle ciliegie sane delle cultivar tardive (Cini *et al.*, 2012; Noble *et al.*, 2017).

### Controllo biologico

Nelle aree di recente invasione, in Europa e Nord America, numerosi nemici naturali generalisti sono risultati capaci di attaccare *D. suzukii*: predatori quali dermatteri, carabidi, emitteri e ragni (Woltz *et al.*, 2015; Schmidt *et al.*, 2019) e parassitoidi (Chabert *et al.*, 2012; Rossi-Stacconi *et al.*, 2013). Tra quest'ultimi sono stati riportati alcuni imenotteri associati a specie di drosofilidi nativi in grado di adattarsi a *D. suzukii*: i parassitoidi larvali generalisti *Leptopilina heterotoma* e *L. boulardi* (Hymenoptera: Figitidae), che pur mostrando alti livelli di parassitizzazione in condizioni di laboratorio non riescono spesso a svilupparsi sino allo stadio adulto a causa della risposta immunitaria delle larve del dittero (Poyet *et al.*, 2013; Mazzetto *et al.*, 2016) e i parassitoidi pupali *Trichopria drosophilae* (Hymenoptera: Diapriidae) e

*Pachycrepoideus vindemiae* (Hymenoptera: Pteromalidae), considerati i più promettenti agenti di biocontrollo in quanto meno suscettibili alle difese del carpofago e quindi in grado di svilupparsi completamente su di esso (Chabert *et al.*, 2012; Gabarra *et al.*, 2015; Rossi Stacconi *et al.*, 2015).

Il rilascio aumentativo di parassitoidi pupali e la conservazione dei predatori generalisti potrebbero potenzialmente contribuire alla gestione integrata di *D. suzukii*: ciò tuttavia implica che dovrà essere posta particolare attenzione ai possibili effetti negativi di alcune delle attuali pratiche di gestione (ad esempio l'applicazione di sostanze chimiche) che dovrebbero pertanto essere modificate per fornire condizioni più favorevoli per i nemici naturali (Rossi Stacconi *et al.*, 2018; Wolf *et al.*, 2018).

I funghi entomopatogeni disponibili in commercio (es., *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Isaria fumosorosea*) hanno sortito discreti risultati nella riduzione delle popolazioni del carpofago in laboratorio (Cuthbertson *et al.*, 2014; Cuthbertson e Audsley, 2016) e i nematodi entomopatogeni (*Heterorhabditis bacteriophora*, *Steinernema carpocapsae*, *S. feltiae*, *S. kraussei*) sembrano efficaci se applicati su larve e pupe che cadono sul terreno (Cuthbertson *et al.*, 2014; Woltz *et al.*, 2015). Sono necessari ulteriori studi per valutare l'effettiva efficacia di questi agenti di bio-controllo in pieno campo.

## Conclusioni

La biologia e l'ecologia del carpofago impongono, per una difesa efficace della coltura, la combinazione di tutti i mezzi di contenimento (Van Timmeren e Isaacs 2013; Haye *et al.*, 2016, Tochen *et al.*, 2016). Anzitutto è necessario adottare nel frutteto tutte quelle pratiche colturali ed agronomiche atte a sfavorire lo sviluppo del moscerino quali potature, sfalci, gestione bordure e l'abbandono di frutta matura. Dall'invasiatura l'uso della cattura massale aiuta ad abbassare le densità delle popolazioni presenti; l'impiego delle reti che garantisce un efficace controllo, ma deve essere sottoposto ad una preventiva valutazione economica. I problemi legati ai residui ed agli effetti collaterali sull'ambiente, impongono una attenta gestione dei trattamenti chimici che dovranno essere limitati alle fasi di maggiore infestazione. Di fondamentale importanza è la programmazione di una raccolta rapida e tempestiva di tutti i frutti.

Nel prossimo futuro è auspicabile che le infestazioni di *D. suzukii* possano trovare un efficace limitazione con altri mezzi biotecnologici e biologici; molte speranze sono poste sull'adattamento dei parassitoidi autoctoni e sull'autorizzazione al rilascio di quelli presenti negli areali di origine.

La gestione di *D. suzukii* richiede un approccio olistico che deve interessare tutta la filiera agroalimentare, dalla produzione integrata (fig. 6), al trasporto in

|                                                                                     | Gestione chioma                                                                                                                                    |                                                                                     | Gestione<br>cotico erboso                                                                                                  | Gestione raccolta                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                     | Potatura<br>invernale                                                                                                                              | Potatura<br>estiva                                                                  |                                                                                                                            | Raccolta<br>completa                                                                                                                                                                                                                                                            | Gestione<br>scarti                                                                    |
|  |                                                                 |  |                                         |                                                                                                                                                                                             |  |
|  |                                                                 |  |                                         |                                                                                                                                                                                             |  |
|                                                                                     | Potatura invernale ed estiva per aprire la chioma per aumentare il flusso d'aria tra la vegetazione e ridurre l'ombreggiamento nella parte interna |                                                                                     | Tagli frequenti del cotico (altezza dell'erba inferiore a 15/20 cm) per ridurre l'acqua stagnante e l'umidità nel frutteto | Durante il periodo di raccolta: <ul style="list-style-type: none"> <li>• raccolta rapida</li> <li>• rimozione completa dei frutti caduti, infestati e troppo maturi</li> <li>• gestione dei rifiuti (mediante solarizzazione o interrimento) e non abbandono in loco</li> </ul> |                                                                                       |

Fig. 6 - Tecniche di produzione integrata per il contenimento di *Drosophila suzukii*  
Fig. 6 - Integrated production techniques for *Drosophila suzukii* control



condizioni di temperatura controllata, alle fasi di stoccaggio e di distribuzione dove è stato osservato che brevi shock termici (0,5 C per 24 ore) possono bloccare le infestazioni in corso e prolungare la durata di conservazione della frutta (Saeed *et al.*, 2018).

La ricerca degli strumenti di contenimento delle popolazioni di *D. suzukii* è estremamente complicata a causa dell'elevata performance biologica della specie. La rimozione del parassita dalle aree in cui è già presente è impossibile (Eppo 2018); è quindi necessaria l'integrazione di tutte le possibili strategie per la soppressione continua delle popolazioni al fine di ridurre le successive infestazioni.

## Riassunto

La biologia di *Drosophila suzukii* impone, per una efficace difesa della coltura, la combinazione di tutti i mezzi di contenimento: agronomico-colturali (gestione chioma, cotico erboso, bordure e raccolta), fisici (reti anti-insetto), biotecnologici (cattura massale, lure & kill), biologici (impiego di parassitoidi) e chimici. Nel presente lavoro vengono trattate le possibilità di contenimento di *D. suzukii* da mettere in atto su ciliegio al fine di rendere economicamente conveniente e sostenibile la convivenza tra pianta ospite e fitofago.

**Parole chiave:** *Spotted Wing Drosophila* (SWD), ciliegio, mezzi di contenimento agronomico-colturali, difesa ecosostenibile.

## Bibliografia

- ASPLEN, M.K., ANFORA, G., BIONDI, A., CHOI, D.S., CHU, D., DAANE, K.M., GIBERT, P., GUTIERREZ, A.P., HOELMER, K.A., HUTCHISON, W.D., ISAACS, R., JIANG, Z.-L., KA'RPA'TI, Z., KIMURA, M., PASCUAL, M., PHILIPS, C.R., PLANTAMP, C., PONTI, L., VE' TEK, G., VOGT, H., WALTON, V.M., YU, Y., ZAPPALA, L., DESNEUX, N., 2015. *Invasion biology of spotted-wing Drosophila (Drosophila suzukii): a global perspective and future priorities*. J. Pest. Sci. 88:469-494.
- BEERS, E.H., VAN STEENWYK, R.A., SHEARER, P.W., COATES, W.W., GRANT, J.A., 2011. *Developing Drosophila suzukii management programs for sweet cherry in the western United States*. Pest management science 67, 1386-1395.
- BELLAMY, D.E., SISTERSON, M.S., WALSE, S.S., 2013. *Quantifying host potentials: indexing postharvest fresh fruits for spotted wing drosophila, Drosophila suzukii*. PLoS One, 8(4):e61227.
- CARUSO, S., VACCARI, G., LUGLI, S., BELLELLI, S., FRANCATI, S., MAISTRELLO, L., CASSANELLI, S., 2017. *Drosophila, efficaci le reti ma servono soluzioni più convenienti*. Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura. 4:14-19.
- CHABERT, S., ALLEMAND, R., POYET, M., ESLIN, P., GILBERT, P., 2012. *Ability of European parasitoids (Hymenoptera) to control a new invasive Asiatic pest, Drosophila suzukii*. Biol. Control 63:40-47.
- CINI, A., IORIATTI, C., ANFORA, G., 2012. *A review of the invasion of Drosophila suzukii in Europe and a draft research agenda for integrated pest management*. Bulletin of Insectology 65, 149-160.
- CUTHBERTSON, A.G., COLLINS, D.A., BLACKBURN, L.F., AUDSLEY, N., BELL, H.A., 2014. *Preliminary screening of potential control products against Drosophila suzukii*. Insects 5, 488-498.
- CUTHBERTSON, A.G.S., AUDSLEY, N., 2016. *Further Screening of Entomopathogenic Fungi and Nematodes as Control Agents for Drosophila suzukii*. Insects. 7:24-33.
- DE ROS G., ANFORA G., GRASSI A., IORIATTI C., 2013. *The potential economic impact of Drosophila suzukii on small fruits production in Trentino (Italy)*. IOBC-WPRS Bulletin 91:317-321.
- DREVES, A.J., WALTON, V., FISHER, G., 2009. *A new pest attacking healthy ripening fruit in Oregon. Spotted wing drosophila: Drosophila suzukii (Matsumura)*. Oregon State University Extension Publication EM 8991. (Hymenoptera: Ichneumonidae) in cornfields. Environ. Entomol. 26(4):924-932.
- EPP0. 2018. EPPO Global Database. <https://gd.eppo.int/taxon/DROSSU/distribution>.
- GABARRA, R., RIUDAVETS, J., RODRÍGUEZ, G.A., PUJADE-VILLAR, J., ARNÓ, J., 2015. *Prospects for the biological control of Drosophila suzukii*. Biocontrol. 60:331-339.
- GRASSI, A., PALLAORO, M., 2012. *Drosophila suzukii (Matsumura), a revolution for soft fruits in Trentino*. Foedergemeinschaft Oekologischer Obstbau eV (FOEKO)(ed) Ecofruit: 15th International Conference on Organic Fruit-Growing. Hohenheim, pp. 20-22.
- GRASSI, A., MAISTRI, S., ECCHER, F., PEZZÈ, M., 2013. *Biologia dell'insetto e strategie di contenimento da applicarsi sui piccoli frutti e ciliegio*. Giornata tecnica Drosophila suzukii Fondazione Mach 13 febbraio 2013.
- GHELFI, R., PALMIERI, A., FRANCATI, S., DINDO, M. L., MUZZI, E., 2016. *Analisi tecniche ed economiche sulle coperture multifunzionali*. Rivista di frutticoltura e di ortofloricoltura. 78(4):42-49.
- HAYE, T., GIROD, P., CUTHBERTSON, A., WANG, X., DAANE, K., HOELMER, K., BAROFFIO, C., ZHANG, J., DESNEUX, N., 2016. *Current SWD IPM tactics and their practical implementation in fruit crops across different regions around the world*. Journal of Pest Science 89, 643-651.
- HAMPTON, E., KOSKI, C., BARSOIAN, O., FAUBERT, H., COWLES, R.S., ALM, S.R., 2014. *Use of early ripening cultivars to avoid infestation and mass trapping to manage Drosophila suzukii (Diptera: Drosophilidae) in Vaccinium corymbosum (Ericales: Ericaceae)*. J. Econ. Entom. 107(5):1849-1857.
- HAVILAND, D.R., BEERS, E.H., 2012. *Chemical control programs for Drosophila suzukii that comply with international limitations on pesticide residues for exported sweet cherries*. Journal of Integrated Pest Management 3, F1-F6.
- IORIATTI, C., BOSELLI, M., CARUSO, S., GALASSI, T., GOTTARDELLO, A., GRASSI, A., TONINA, L., VACCARI, G., MORI, N., 2015. *Approccio integrato per la difesa dalla Drosophila suzukii*. Frutticoltura 4:32-36.
- KANZAWA, T., 1935. *Research into the fruit-fly Drosophila suzukii Matsumura (preliminary report)*. Yamanashi Prefecture Agricultural Experiment Station Report.
- KENIS, M., TONINA, L., ESCHEN, R., VAN DER SLUIS, B., SANCASSANI, M., MORI, N., HAYE, T., HELSEN, H., 2016. *Non-crop plants used as hosts by Drosophila suzukii in Europe*. J. Pest. Sci. 89:735-748.
- KINJO, H., KUNIMI, Y., & NAKAI, M., 2014. *Effects of temperature on the reproduction and development of Drosophila suzukii (Diptera: Drosophilidae)*. Applied entomology and zoology, 49(2), 297-304.
- LEE, J.C., BRUCK, D.J., CURRY, H., EDWARDS, D., HAVILAND, D.R., VAN STEENWYK, R.A., YORGEY, B.M., 2011. *The susceptibility of small fruits and cherries to the spotted-wing drosophila, Drosophila suzukii*. Pest management science 67, 1358-1367.

- LEE, J.C., DREVES, A.J., CAVE, A.M., KAWAI, S., ISAACS, R., MILLER, J.C., VAN TIMMEREN, S., BRUCK, D.J., 2015. *Infestation of wild and ornamental non-crop fruits by Drosophila suzukii (Diptera: Drosophilidae)*. Ann. Entomol. Soc. Am. 108:117-129.
- MAZZETTO, F., MARCHETTI, E., AMIRESMAEILI, N., SACCO, D., FRANCATI, S., JUCKER, C., TAVELLA, L., 2016. *Drosophila parasitoids in northern Italy and their potential to attack the exotic pest Drosophila suzukii*. J. Pest Sci. 89(3):837-850.
- NOBLE, R., DOBROVIN-PENNINGTON, A., SHAW, B., BUSS, D. S., CROSS, J.V., FOUNTAIN, M.T., 2017. *Fermentation for disinfecting fruit waste from Drosophila species (Diptera: Drosophilidae)*. Environmental entomology, 46(4):939-945
- PELTON, E., GRATTON, C., ISAACS, R., VAN TIMMEREN, S., BLANTON, A., GUÉDOT, C., 2016. *Earlier activity of Drosophila suzukii in high woodland landscapes but relative abundance is unaffected*. J. Pest Sci. 89(3):725-733.
- POYET, M., HAVARD, S., PREVOST, G., CHABRIER, O., DOURY, G., GIBERT, P., ESLIN, P., 2013. *Resistance of Drosophila suzukii to the larval parasitoids Leptopilina heterotoma and Asobara japonica is related to haemocyte load*. Physiol. Entomol. 38(1):45-53.
- PROFAIZER, D., ANGELI, G., SOFIA, M., ZADRA, E., 2015. *Chemical control of Drosophila suzukii infesting cherries*. Inform. Agrario 71, 51-55.
- ROSSI-STACCONI, M.V., BUFFINGTON, M., DAANE, K.M., DALTON, D.T., GRASSI, A., KACAR, G., et al., 2015. *Host stage preference, efficacy and fecundity of parasitoids attacking Drosophila suzukii in newly invaded areas*. Biol. Control. 84:28-35
- ROTA-STABELLI, O., BLAXTER, M., ANFORA, G., 2013. *Drosophila suzukii*. Current Biology 23, R8-R9.
- SAEED N., TONINA L., BATTISTI A., MORI N., 2018. *Postharvest short cold temperature treatment to preserve fruit quality after Drosophila suzukii damage*. International Journal of Pest Management DOI 10.1080/09670874.2018.1539531
- SCHMIDT, J.M., WHITEHOUSE, T.S., GREEN, K., KREHENWINKEL, H., SCHMIDT-JEFFRIS, R., SIAL, A.A., 2019. *Local and landscape-scale heterogeneity shape spotted wing drosophila (Drosophila suzukii) activity and natural enemy abundance: Implications for trophic interactions*. Agric. Ecosys. Environ. 272:86-94
- SANCASSANI, M., TONINA, L., TIRELLO, P., GIOMI, F., MARCHESINI, E., ZANINI, G., MORI, N., 2016. *Drosophila suzukii su ciliegio, esperienze di lotta integrata*. L'Informatore Agrario 15 59-63.
- SANTOEMMA, G., MORI, N., TONINA, L., MARINI, L., 2018. *Semi-natural habitats boost Drosophila suzukii populations and crop damage in sweet cherry*. Agric. Ecosys. Environ. 257: 152-158.
- SASAKI, M., SATO, R., 1995. *Bionomics of the cherry drosophila, Drosophila suzukii Matsumura (Diptera: Drosophilidae) in Fukushima Prefecture [Japan], 3: Life cycle*. Annual Report of the Society of Plant Protection of North Japan (Japan).
- SHAWER, R., TONINA, L., TIRELLO, P., DUSO, C., MORI, N., 2018. *Laboratory and field trials to identify effective chemical control strategies for integrated management of Drosophila suzukii in European cherry orchards*. Crop Protect. 103: 73-80.
- SHI, J.C., 2015. *Occurrence characteristics and integrated control technology of fruit fly on cherry in Tianshui (Gansu)*. Pomol. Hosp. 5:35-36
- STACCONI, M.R., GRASSI, A., DALTON, D., MILLER, B., OUANTAR, M., LONI, A., IORIATTI, C., WALTON, V., ANFORA, G., 2013. *First field records of Pachycrepoideus vindemiae as a parasitoid of Drosophila suzukii in European and Oregon small fruit production areas*. Entomologia 1, 3.
- TOCHEN, S., WOLTZ, J.M., DALTON, D.T., LEE, J.C., WIMAN, N.G., WALTON, V.M., 2016. *Humidity affects populations of Drosophila suzukii (Diptera: Drosophilidae) in blueberry*. J. Appl. Entomol. 140(1-2):47-57.
- TONINA, L., MORI, N., GIOMI, F., & BATTISTI, A., 2016. *Development of Drosophila suzukii at low temperatures in mountain areas*. J. pest science, 89(3), 667-678.
- TONINA, L., GOTTARDELLO, A., ROSSI-STACCONI, M.V., SANTOEMMA, G., VACCARI, G., 2017. *Ecologia e gestione integrata di Drosophila suzukii al Nord*. L'Informatore Agrario 12: 40-44
- TONINA, L., GRASSI, A., CARUSO, S., MORI, N., GOTTARDELLO, A., ANFORA, G., IORIATTI, C., 2018a. *Comparison of attractants for monitoring Drosophila suzukii in sweet cherry orchards in Italy*. J. Appl. Entom. 142(1-2):18-25.
- TONINA, L., MORI, N., SANCASSANI, M., DALL'ARA, P., MARINI, L., 2018b. *Spillover of Drosophila suzukii between noncrop and crop areas: implications for pest management*. Agric. Forest Entomol. 20(4):575-581.
- VAN TIMMEREN, S., ISAACS, R., 2013. *Control of spotted wing drosophila, Drosophila suzukii, by specific insecticides and by conventional and organic crop protection programs*. Crop Protection 54, 126-133.
- WALSH, D.B., BOLDA, M.P., GOODHUE, R.E., DREVES, A.J., LEE, J., BRUCK, D.J., WALTON, V.M., O'NEAL, S.D., ZALOM, F.G., 2011. *Drosophila suzukii (Diptera: Drosophilidae): invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential*. J. Integrated Pest Management 2, G1-G7.
- WOLTZ, J.M., DONAHUE, K.M., BRUCK, D.J., LEE, J.C., 2015. *Efficacy of commercially available predators, nematodes and fungal entomopathogens for augmentative control of Drosophila suzukii*. J. Appl. Entomol. 139:759-770