



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti
Risorse Naturali e Ambiente

Corso di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie

Il complesso di parassitoidi associato a *Drosophila suzukii* nella Regione del Veneto

Relatore

Prof. Nicola Mori

Correlatore

Dott.ssa Fernanda Colombari

Laureando

Filippo Federici

Matricola n. 1180821

ANNO ACCADEMICO 2018/2019

A chi è stato padre senza esserlo

Indice

Riassunto

Abstract

1. Introduzione.....	1
1.1 <i>Drosophila suzukii</i>	1
1.1.1 Ecologia e Habitat.....	1
1.2 Danni e strategie di controllo.....	3
1.3 Controllo biologico e parassitoidi nativi.....	5
1.3.1 <i>Trichopria drosophilae</i>	6
1.3.2 <i>Pachycrepoideus vindemmiae</i>	7
1.3.3 <i>Spalangia erythromera</i>	8
1.3.4 <i>Leptopilina spp</i>	8
1.4 Il controllo biologico di <i>Drosophila suzukii</i> in Veneto.....	9
1.5 Scopo della Tesi.....	10
2. Materiali e Metodi.....	11
2.1 Aree oggetto di studio.....	11
2.2 Monitoraggio delle popolazioni.....	13
2.3 Analisi dei dati.....	16
3. Risultati e Discussioni.....	17
3.1 Andamento climatico.....	17
3.2 Valutazione presenza Drosofilidi e parassitoidi.....	19
3.3 Influenza dell'habitat sui parassitoidi.....	26
4. Conclusioni.....	31
Ringraziamenti.....	33
Bibliografia.....	35

Riassunto

Dal suo arrivo in Europa, *Drosophila suzukii* ha provocato ingenti danni a molte delle colture frutticole, in particolare ciliegio, uva e piccoli frutti. La difesa tramite l'uso di prodotti chimici si è rivelata scarsamente efficace nel contenimento del fitofago a causa della bassa persistenza dei formulati commerciali, della velocità di sviluppo del carpofoago e alla sua capacità di trovare riparo in aree non trattate ai margini degli appezzamenti (Tonina et al., 2017). La lotta integrata con l'impiego di reti anti-insetto, pratiche agronomico-colturali e l'utilizzo di parassitoidi nativi è l'unica possibilità efficace di contenimento. L'obiettivo della presente tesi è stato quello di analizzare la presenza e distribuzione dei parassitoidi nativi associati a *D. suzukii* in areali Veneti al fine di pianificare i piani di lotta biologica-integrata. Al fine di comprendere in maniera più approfondita le interazioni che influenzano la densità di popolazione delle specie studiate, i dati del monitoraggio 2019 sono stati confrontati con i risultati dei campionamenti effettuati precedentemente a questo elaborato negli anni 2017 e 2018. Dall'analisi dei risultati ottenuti emerge che il clima e le condizioni meteorologiche hanno una fondamentale importanza sul ciclo di sviluppo di *D. suzukii* e sui relativi parassitoidi. Inoltre, la struttura dell'ecosistema in cui è inserita la coltura infestata è di fondamentale importanza per lo sviluppo del carpofoago e dei suoi parassitoidi poiché le zone di margine e di foresta possono fungere sia da rifugio che da fonti alimentari. Questi dati forniscono informazioni essenziali per la pianificazione di piani di lotta biologica su ampia scala.

Abstract

Since its appearance in Europe, *Drosophila suzukii* has caused extensive damages to many of the fruit crops, especially cherry, grapes and small fruits. The chemical defense has shown a scarce effectiveness in containing the phytophagous due to the low persistence of commercial formulations, to the development speed of the carpophagus and to its ability to find shelter in untreated areas on the plot edges (Tonina et al., 2017). The integrated struggle is the only effective possibility of containment, thanks to the help of anti-insect nets, agronomic-cultural practices and native parasitoids. This thesis aims to analyze the presence and the distribution of native parasitoids associated with *D. suzukii* in Veneto areas, in order to plan integrated-biological control plans. The 2019 monitoring data were compared with the results of the sampling carried out in the previous years (2017 and 2018), in order to better understand the interactions that influence the population density of the studied species. Observations on the obtained results highlight that different climate and meteorological conditions are really important for the development cycle of *D. suzukii* and on the related parasitoids. Moreover, the structure of the ecosystem in which the infested crop is inserted is fundamental for the development of the carpophagus and its parasitoids, since the marginal and the forest zones can act both as shelters and food sources. This data provides essential information for the planning of large-scale biological control plans.

1. Introduzione

1.1 *Drosophila suzukii*

Drosophila suzukii (Matsumura, 1931) è un dittero appartenente alla famiglia dei Drosophilidae originario dell'est asiatico. In Europa, e più precisamente in Italia e Spagna, è stato segnalato verso la fine della prima decade del nuovo millennio (Calabria *et al.*, 2010; Cini *et al.*, 2012). La sua introduzione è stata certamente causata dall'incremento degli scambi commerciali a livello intercontinentale (Rota-Stabelli *et al.*, 2013); infatti spesso accade che insieme alle merci trasportate vengono introdotte specie alloctone che possono risultare altamente impattanti sia sull'ecosistema sia sull'economia locale. (Lodge, 1993; Williamson and Fitter, 1996; Mooney and Cleland, 2001).

Drosophila suzukii è stata osservata per la prima volta in Giappone nel 1916 e descritta da Matsumura nel 1931 (Kanzawa, 1939). Da qui è stata poi avvistata in Corea e Cina (Kanzawa, 1939; Cini *et al.*, 2012; Walsh *et al.*, 2012), fino al suo arrivo nel continente americano intorno agli anni '80 (Hawaii) (Kaneshiro, 1983; Cini *et al.*, 2012; Walsh *et al.*, 2012; Deprà *et al.*, 2014). Il dittero si è espanso poi a livello globale giungendo quasi contemporaneamente in California (Santa Cruz, 2008) e in Europa (2009) (Bolda *et al.*, 2010; Cini *et al.*, 2012). Per quanto concerne la Regione Veneto questa specie invasiva è stata osservata per la prima volta su lampone e ciliegio nel 2012 (Mori *et al.*, 2015; Tonina *et al.*, 2017).

A livello morfologico si riscontra una notevole differenza fra i sessi con i maschi che presentano sui bordi delle ali una macchia scura e una fila di pettini sulle zampe anteriori, mentre le femmine possiedono un ovopositore sclerificato e dentellato utilizzato per incidere la superficie del frutto in cui poi andrà depositato l'uovo (Fig. 1). Più generalmente ha due occhi rossi un torace

bruno chiaro e un addome con strisce chiare e scure alterate fra loro; raggiunge una lunghezza fra i 2 e i 3 mm (Kanzawa, 1939).



Figura 1. Esemplari femmina (sinistra) e maschio (destra) di *Drosophila suzukii* (Lorenzo Tonina, 2015).

Per quanto riguarda il ciclo biologico, questo è costituito da uovo, tre stadi di larva, pupa e adulto. Grazie al particolare ovopositore l'uovo, provvisto di due spiracoli tracheali per l'ossigeno, viene deposto sotto all'epicarpo del frutto; schiusosi la larva si nutre del frutto fino alla sua trasformazione in pupa che avviene direttamente nel frutto o sul terreno. Il ciclo, in condizioni ottimali richiede tra i 10 e i 15 giorni e *D. suzukii* è in grado di compiere fino a 13 generazioni all'anno, dal mese di marzo a quello di ottobre (Kanzawa, 1939; Lee *et al.*, 2011; Tochen *et al.*, 2014).

1.1.1 Ecologia e Habitat

D. suzukii predilige climi temperato-freschi e umidi con temperature medie massime di circa 30 °C; al di sopra di queste temperature smette di volare e i maschi possono diventare sterili (Kinjo *et al.*, 2014; David *et al.*, 2005). Per questi motivi estati molto calde e secche sono estremamente negative per il carpfago. Il suo habitat ideale risulta essere perciò il bosco che, a differenza degli impianti colturali dove va a nutrirsi, presenta un microclima più adatto

alle sue esigenze ambientali con umidità più alte e temperature più fresche (Tonina *et al.*, 2017). Oltre a ciò l'ambiente boschivo contiene al suo interno numerose specie selvatiche che possono fungere da ospiti per *D. suzukii*, facilitando in questo modo l'espansione demografica del dittero (Tonina *et al.*, 2017). Questi studi dimostrano perciò l'elevata polifagia di questo insetto che lo rende ormai stabilmente presente nei nostri areali.

1.2 Danni e strategie di controllo

A causa dell'elevata polifagia causa danni su più colture: le più colpite sono uva, piccoli frutti e soprattutto ciliegio, dove nel nord Italia può portare a perdite di produzione consistenti, anche fino all'80-90% (Boselli *et al.*, 2012; Grassi *et al.*, 2012; Ioriatti *et al.*, 2015). Il danno principale è causato dalle larve che, in seguito alla schiusura dell'uovo all'interno del frutto, si nutrono scavando gallerie nella polpa. Questo può portare alla marcescenza del frutto stesso e alla sua cascola. Oltre al danno primario provocato dalle larve, spesso in prossimità della raccolta, vi può essere anche l'attacco di patogeni fungini che sfruttando le vie aperte dall'insetto possono provocare muffe e marciumi (Calabria *et al.*, 2010; Cini *et al.*, 2012; Grassi *et al.*, 2011; Walsh *et al.*, 2011) (Fig. 2). Questi danni indiretti rendono difficile la gestione dello stoccaggio e del post-raccolta. Un ulteriore perdita economica è causata dalla diffidenza dei mercati esteri per il rischio di introduzione nel loro territorio *D. suzukii* (Bolda *et al.*, 2010; Goodhue *et al.*, 2011; Walsh *et al.*, 2011; Cini *et al.*, 2012).

Per quanto riguarda le pratiche di difesa da adottare in campo per limitare lo sviluppo e la dannosità del carpofago, considerando la biologia dell'insetto, è necessario adottare una difesa integrata attuando tutti gli interventi possibili (agronomici-colturali, chimici, fisici, biologici) per abbassare la densità di popolazione dell'insetto all'interno della coltura (Asplen *et al.*, 2015; Cini *et al.*, 2012; Tonina *et al.*, 2017). La lotta chimica non è sufficiente data la bassa

persistenza dei prodotti attualmente disponibili. Inoltre, gli insetticidi impiegabili avendo un ampio spettro d'azione hanno degli effetti collaterali negativi sugli insetti utili e dovendo essere impiegati in concomitanza con la raccolta possono lasciare residui nelle produzioni (Bruck *et al.*, 2011; Ioriatti *et al.*, 2015; Tonina, 2018).



Figura 2. Danni sulle principali colture colpite da *Drosophila suzukii* (<https://medium.com/@TapTrap/catturare-la-drosophila-suzukii-in-maniera-bio-ad5f9c3fa4ba>).

L'impiego delle reti anti-insetto è molto utile, ma la difficile gestione e l'elevato costo le rendono poco sostenibili dal punto di vista economico (Caruso *et al.*, 2017; Ioriatti *et al.*, 2015; Sancassani *et al.*, 2016).

L'unica soluzione percorribile nel lungo periodo è quella ottenuta dal controllo biologico assieme ad una razionale ed attenta gestione colturale e agronomica dell'appezzamento che va a sfavorire e lo sviluppo dell'insetto. Nel caso di *D. suzukii* bisogna considerare la sua predilezione per microclimi umidi e la sua elevata polifagia anche a carico di ospiti selvatici alternativi. Si può agire quindi tramite il mantenimento di una chioma ben areata, lo sfalcio del cotico

erboso e tutto ciò che evita ristagni di umidità (Sancassani *et al.*, 2016; Caruso *et al.*, 2017); nella progettazione di nuovi impianti inoltre, nelle zone limitrofe all'appezzamento è utile valutare attentamente le specie vegetali da inserire scegliendo quelle non ospiti per *D. suzukii* (Cini *et al.*, 2012; Tonina *et al.*, 2017). È bene poi al termine della raccolta non lasciare frutta a terra ed eliminare tutta quella non raccolta poiché rappresentano un'ottima fonte d'inoculo (Walsh *et al.*, 2011; Cini *et al.*, 2012; Sancassani *et al.*, 2016; Tonina *et al.*, 2017). Infine, soprattutto per quel che riguarda i ceraseti, nella scelta delle cultivar da adottare potrebbe essere efficace l'uso di varietà a maturazione precoce, meno suscettibili all'attacco del carpofago (Tonina *et al.*, 2017).

1.3 Controllo biologico e parassitoidi nativi

Alla luce di quanto descritto finora appare chiaro come l'unico metodo di lotta diretta per far fronte efficacemente a questo parassita sia il controllo biologico, in particolar modo l'utilizzo di imenotteri parassitoidi, dato che gli insetti predatori generalisti di *D. suzukii* si sono rivelati poco efficienti (Gabarra *et al.*, 2015). In Italia, per valutare quali fossero le specie più adatte a questo scopo sono state prese in considerazione le specie di parassitoidi già presenti al fine di ottemperare le norme imposte dal DLgs 120/2003 che vieta l'importazione di specie esotiche da utilizzare nella lotta biologica classica. Le specie che hanno dato i risultati più soddisfacenti sono quattro: *Trichopria drosophilae* (Perkins), *Pachycrepoideus vindemmiae* (Rondani) *Spalangia erythromera* (Förster) e *Leptopilina heterotoma* (Thomson) (Gabarra *et al.*, 2015; Mazzetto *et al.*, 2016). I primi tre sono parassitoidi pupali, mentre l'ultimo è un parassitoide larvale.

1.3.1 *Trichopria drosophilae*

Trichopria drosophilae (Perkins) è un endoparassitoide pupale cosmopolita idiobionte facente parte dell'ordine degli Imenotteri e della famiglia dei Diapriidi. È lungo dai 2 ai 4 mm, di colore nero, con addome di forma allungata e leggermente affusolata e zampe e antenne rossicce (Fig. 3).



Figura 3. Esemplare di *T. drosophilae* durante l'ovideposizione in una pupa (<http://bioplanet.it/it/trichpria-drosophilae/>).

La specie presenta dimorfismo sessuale con i maschi che possiedono antenne molto più lunghe rispetto alle femmine. Le antenne in questo insetto svolgono un ruolo fondamentale nella ricerca e nel riconoscimento dell'ospite da parassitizzare (Romani *et al.*, 2002). Data la sua natura di idiobionte la femmina durante la fase di ovideposizione inietta nell'ospite del veleno che lo paralizza e ne arresta lo sviluppo (Carton *et al.*, 1986). Il suo range termico va dai 15 ai 32 °C con picchi di parassitizzazione intorno ai 20-25 °C (Xin-Geng Wang *et al.*, 2018; Rossi Stacconi *et al.*, 2017). In generale, come tutti i parassitoidi pupali di *D. suzukii*, ha una maggiore efficienza parassitica rispetto ai parassitoidi larvali in quanto, avendo la larva di *D. suzukii* un ottimo sistema immunitario che agisce incapsulando l'uovo, riesce a proteggersi in maniera ottimale dagli attacchi esterni. Inoltre, restando la larva all'interno della polpa del frutto, è più difficilmente raggiungibile (Kacsoh and Schlenke, 2012).

Analizzando tutte le sue caratteristiche, *Trichopria drosophilae* sembra essere la specie più adatta nei nostri territori per essere impiegata in un'ottica strategica di biocontrollo contro *D. suzukii* (Rossi Stacconi *et al.*, 2017).

1.3.2 *Pachycrepoideus vindemiae*

Pachycrepoideus vindemiae (Rondani) è un imenottero parassitoide della famiglia Pteromalidae (Fig. 4). È un ectoparassita cosmopolita pupale idiobionte, perciò anche questa specie, come *Trichopria drosophilae*, durante la fase di ovideposizione paralizza l'ospite iniettando al suo interno del veleno. La differenza rispetto a *T. drosophilae* è che la parassitizzazione avviene però sulla superficie della pupa poiché ectoparassita. *P. vindemiae* ha un range termico tra i 12 °C e i 32 °C con picchi di attività che si attestano tra i 25 °C e i 30 °C (Xin-Geng Wang *et al.*, 2018; Rossi Stacconi *et al.*, 2017). Presenta però una problematica tecnica nel caso di un suo eventuale impiego come agente di biocontrollo: la bassa disponibilità di preda può portare a fenomeni di iperparassitismo che possono verificarsi anche su specie di insetti utili (Van Alphen and Thunissen, 1982; Wang and Messing, 2004).



Figura 4. Esemplare di *Pachycrepoideus vindemiae* (<https://www.freshplaza.it/article/82768/Individuati-potenziali-parassitoidi-indigeni-di-Drosophila-suzukii-nel-Nord-Italia/>).

1.3.3 *Spalangia erythromera*

Spalangia erythromera (Förster) è un Imenottero parassitoide della famiglia Pteromalidae generalista di ditteri (Fig. 5). Come i primi due parassitoidi descritti parassitizza le pupe delle prede. Da studi condotti in Svizzera e nel nord-Italia è emerso come questo parassitoide è in grado di compiere il suo ciclo a discapito di *D. suzukii*, ma in campo viene riscontrato solo occasionalmente (Knoll *et al.*, 2017; Mazzetto *et al.*, 2016).



Figura 5. Esemplare di *Spalangia erythromera* (http://v3.boldsystems.org/index.php/Taxbrowser_Taxonpage?taxid=484380).

1.3.4 *Leptopilina spp.*

Leptopilina spp. è un imenottero endoparassitoide della famiglia Figitidae (Fig. 6). Depone le uova all'interno della preda durante il suo stadio larvale; la larva continua il suo ciclo vitale fino alla schiusura dell'uovo. Attacca varie specie di Drosophilidi e questo lo rende un parassitoide generalista. Il suo range termico varia tra 20 °C e 35 °C, anche se l'optimum si attesta tra 20 °C e 25 °C (Rossi Stacconi *et al.*, 2017). Le specie principalmente presenti nei nostri areali sono *Leptopilina heterotoma* e *Leptopilina boulardi*. Secondo prove di laboratorio entrambe le specie hanno un buon grado di infestazione su larve di *D. suzukii* nonostante la capacità di quest'ultima di incapsulare l'uovo, seppur con bassi

tassi di sfarfallamento del parassitoide; in altri termini l'attività parassitica porta a morte sia la larva di SWD sia il parassitoide (Chabert *et al.*, 2012; Rossi Stacconi *et al.*, 2015).



Figura 6. Esemplare di *Leptopilina heterotoma* (<https://alchetron.com/Leptopilina>).

1.4 Il controllo biologico di *D. suzukii* in Veneto

A causa degli ingenti danni causati da *D. suzukii*, la Regione Veneto ha deciso di intervenire contro il fitofago promuovendo un programma di lotta biologica in collaborazione con il dipartimento DAFNAE dell'Università degli Studi di Padova. L'azione di contenimento si è resa necessaria in virtù del fatto che gli interventi con prodotti fitosanitari svolti fino a quel momento dai cerasicoltori non hanno sortito i risultati sperati. Il programma di lotta biologica classica ha previsto una serie di lanci di parassitoidi, svoltisi nelle annate 2017 e 2018, su siti che si trovano all'interno di zone per la produzione di piccoli frutti, ciliegie e uva che sono le principali colture del carpofago. A seguito degli studi effettuati è stato scelto di lanciare il parassitoide pupale *T. drosophilae*. L'obiettivo della Regione era quello di aumentare la densità dell'insetto nelle zone strategiche del Veneto liberandolo in zone non soggette a trattamenti chimici.

Nel 2019 sono stati effettuati ulteriori lanci di *T. drosophilae* nelle stesse zone utilizzate dalla Regione per il programma promosso dal 2016. Questi lanci, condotti da privati o cooperative di agricoltori, sono stati eseguiti per abbassare ulteriormente la densità di *D. suzukii* e salvaguardare le produzioni dai suoi attacchi.

1.5 Scopo della tesi

La presente tesi si inserisce nel progetto “Impiego di *Trichopria drosophilae* per il contenimento delle popolazioni di *Drosophila suzukii* in Veneto” promosso dalla Regione Veneto e condotto dal dipartimento DAFNAE dell’Università degli studi di Padova.

L’obiettivo di questa tesi è stato di quello di verificare l’abbondanza dei parassitoidi nativi associati a *Drosophila suzukii* (*Trichopria drosophilae*, *Pachycrepoideus vindemiae*, *Spalangia erythromera*, *Leptopilina heterotoma* e *Leptopilina boulardi*) in diversi habitat al fine di valutare l’influenza dell’ambiente sulla coorte di nemici naturali presenti in Veneto.

Per far ciò è stato condotto un lavoro di monitoraggio nei principali areali di produzione cerasicola nel periodo Aprile - Ottobre 2019 tramite l’utilizzo di trappole cromotropiche attivate con un attrattivo alimentare non selettivo.

2. Materiali e metodi

2.1 Aree oggetto di studio

I siti indagati in questo lavoro sono stati 24 suddivisi in 4 blocchi da 6 siti ciascuno (Fig. 7) e sono stati scelti preliminarmente attraverso un attento studio di vari parametri tra loro non correlati. I siti avevano tra loro una distanza minima di 2 km in quanto è stato considerato che *T. drosophilae* è in grado di spostarsi fino a 1 km (Colombari e Battisti, 2015). I fattori considerati sono stati: l'altitudine, la percentuale di bosco di ceraseto e di vigneto, e la lunghezza dell'ecotono (zona di margine tra bosco e area coltivata) (Tab. 1).

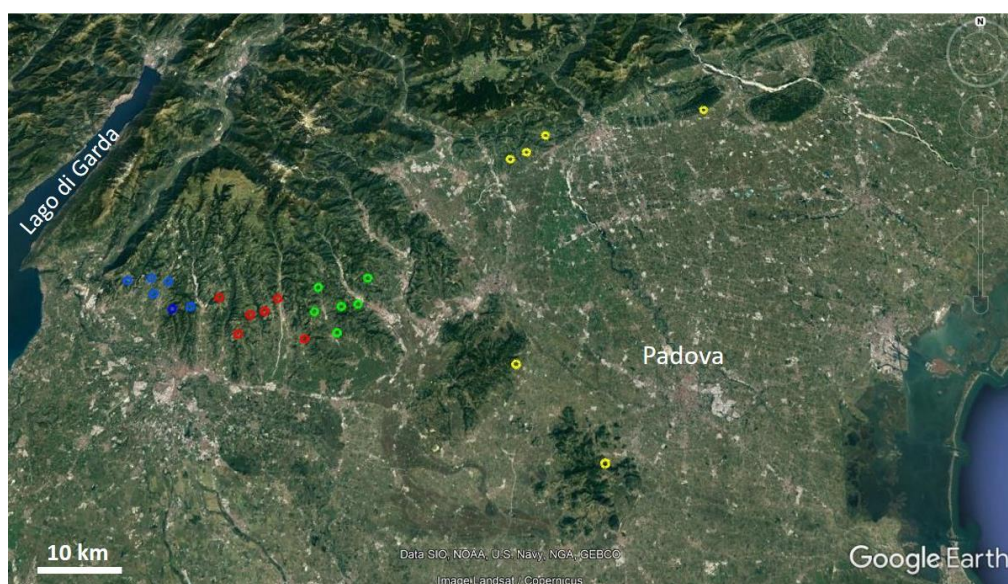


Figura 7. Posizione siti sperimentali individuati tramite Google Earth. Il colore blu indica i siti del blocco 1 (siti dall'1 al 6); il colore rosso indica i siti del blocco 2 (siti dal 7 al 12); il colore verde indica i siti del blocco 3 (siti dal 13 al 18); il colore giallo indica i siti del blocco 4 (siti dal 19 al 24).

ID #	Site location	Prov.	altitude	% forest	% cherry	% vineyard	forest margin (m)
01	Fumane (Mazzurega-Cavalo)	VR	530	37,95	12,66	31,79	5236
02	Marano Valpolicella (Gnirega)	VR	340	27,38	6,30	56,13	9303
03	Marano Valpolicella (San Rocco-Pezza)	VR	420	24,79	21,68	21,40	10863
04	Negrar (Torbe-Mazzano)	VR	370	46,85	7,00	32,91	11368
05	Negrar (Cerè-Montecchio)	VR	360	30,34	4,52	35,34	10265
06	Grezzana (Casevecchie-Volpare)	VR	460	67,05	5,00	10,77	6852
07	Grezzana (Azzago - Lumiago)	VR	520	34,76	2,01	13,18	11521
08	Mezzane di Sotto-Verona (Pian di Castagnè-Bisano)	VR	350	23,54	4,46	32,09	10831
09	Verona (Moruri)	VR	440	37,13	11,33	11,36	7145
10	Tregnago (Centro di Tregnago)	VR	410	44,01	8,93	17,39	9681
11	Tregnago (Scorgnano)	VR	380	32,38	16,64	11,83	5683
12	Cazzano di Tramigna	VR	200	33,29	5,11	27,71	9266
13	Montecchia di Crosara (Casarotti-Tognettini)	VR	130	15,63	26,20	30,69	9363
14	San Giovanni Ilarione (Guarato-Lore-Potacci)	VR	420	16,41	17,89	34,23	10238
15	San Giovanni Ilarione (Nogarotto-Rebeli)	VR	340	37,80	24,17	10,02	10530
16	San Giovanni Ilarione (Galiotti)	VI	440	59,50	12,36	15,79	11471
17	Chiampo (Cischi)	VI	220	25,43	10,47	8,11	14337
18	Nogarele Vicentino (Cremoni, Gastaldo, Lago)	VI	350	37,16	8,88	1,92	11062
19	Castagnero	VI	60	36,43	13,78	11,99	10689
20	Molvena (Valderio)	VI	170	22,22	8,30	1,35	14702
21	Fara Vicentino (S. Giorgio di Perlina-Fortelongo)	VI	250	31,82	3,72	17,54	11540
22	Marostica (Capitelli-Placa-Vallonara)	VI	210	30,21	2,29	2,04	10524
23	Maser (Coste)	TV	180	42,14	1,66	12,06	11718
24	Torreglia (Castelletto)	PD	30	47,80	4,88	8,21	14743

Tabella 1. Locazione dei siti e relativi parametri.

2.2 Monitoraggio delle popolazioni

Per eseguire il monitoraggio di *D. suzukii* e dei suoi parassitoidi nativi sono state utilizzate le trappole cromotropiche Drosotrap® realizzate dalla ditta Biopest® (Fig. 8). Queste sono costituite da un involucro rosso munito di fori per l'ingresso degli insetti, da un coperchio trasparente rimovibile per l'operazione di riempimento e svuotamento delle trappole e da un gancio in ferro per appenderle ad un sostegno.



Figura 8. Esempio di trappola Drosotrap (<https://www.biobestgroup.com/en/biobest/products/monitoring-and-scouting-4464/pheromone-traps-4494/droso-trap-4708/>).

Le trappole sono state attivate ad ogni ciclo di monitoraggio con Droskidrink®, un formulato costituito da aceto di mele, vino rosso, rispettivamente al 75% e al 25%, e 20 g/L di zucchero. A questo è stato poi aggiunto il Triton®, un tensioattivo incolore, per provocare l'annegamento degli insetti.

Per ogni sito si sono scelti 4 punti di monitoraggio, due all'interno del ceraseto e due nell'ecotono, con una trappola ciascuno, e sono stati effettuati 7 cicli di riempimento e svuotamento delle trappole (Tab. 2). A ogni ciclo è stata corrisposta una lettera, che veniva riportata insieme al numero identificativo del sito e al codice del punto di monitoraggio (Z1 e Z2 per i punti nel ceraseto, e Z3 e Z4 per i punti nell'ecotono) sulla bottiglietta di plastica dove veniva svuotato il contenuto della Drosotrap®. Le bottigliette sono state poi conservate in freezer fino alla loro analisi in modo tale da evitare fenomeni degradativi.

CICLO	BLOCCO 1		BLOCCO 2		BLOCCO 3		BLOCCO 4	
	Riempimento	Svuotamento	Riempimento	Svuotamento	Riempimento	Svuotamento	Riempimento	Svuotamento
A	10/04	17/04	10/04	17/04	18/04	09/05	16/04	07/05
B	09/05	16/05	09/05	16/05	09/05	16/05	07/05	14/05
C	11/06	19/06	11/06	19/06	11/06	17/06	12/06	18/06
D	09/07	16/07	09/07	16/07	10/07	16/07	08/07	15/07
E	06/08	14/08	06/08	14/08	06/08	13/08	05/08	12/08
F	03/09	10/09	03/09	10/09	02/09	09/09	01/09	08/09
G	05/10	11/10	05/10	11/10	03/10	10/10	03/10	10/10

Tabella 2. Date riempimento e svuotamento trappole.

In seguito, l'analisi del contenuto delle bottigliette è stata svolta presso il laboratorio di entomologia del dipartimento DAFNAE dell'Università di Padova situato presso il polo di Agripolis a Legnaro (PD).

Una volta prelevate le bottiglie dal freezer e lasciate a scongelare, tramite l'utilizzo di un colino a maglie fini e ad un'organza, sono stati separati gli insetti dalla frazione liquida e questi sono stati poi riversati all'interno di una piastra Petri. Data la dimensione degli insetti è stato utilizzato uno stereoscopio e grazie al suo utilizzo sono stati identificati, separati e conteggiati gli insetti presenti nella piastra. Questa operazione è stata svolta per ogni singola bottiglia raccolta. Gli insetti sono stati suddivisi in *D. suzukii*, a sua volta separata in base al sesso, altre specie di Drosophilidi, parassitoidi e altri insetti (Fig. 9).

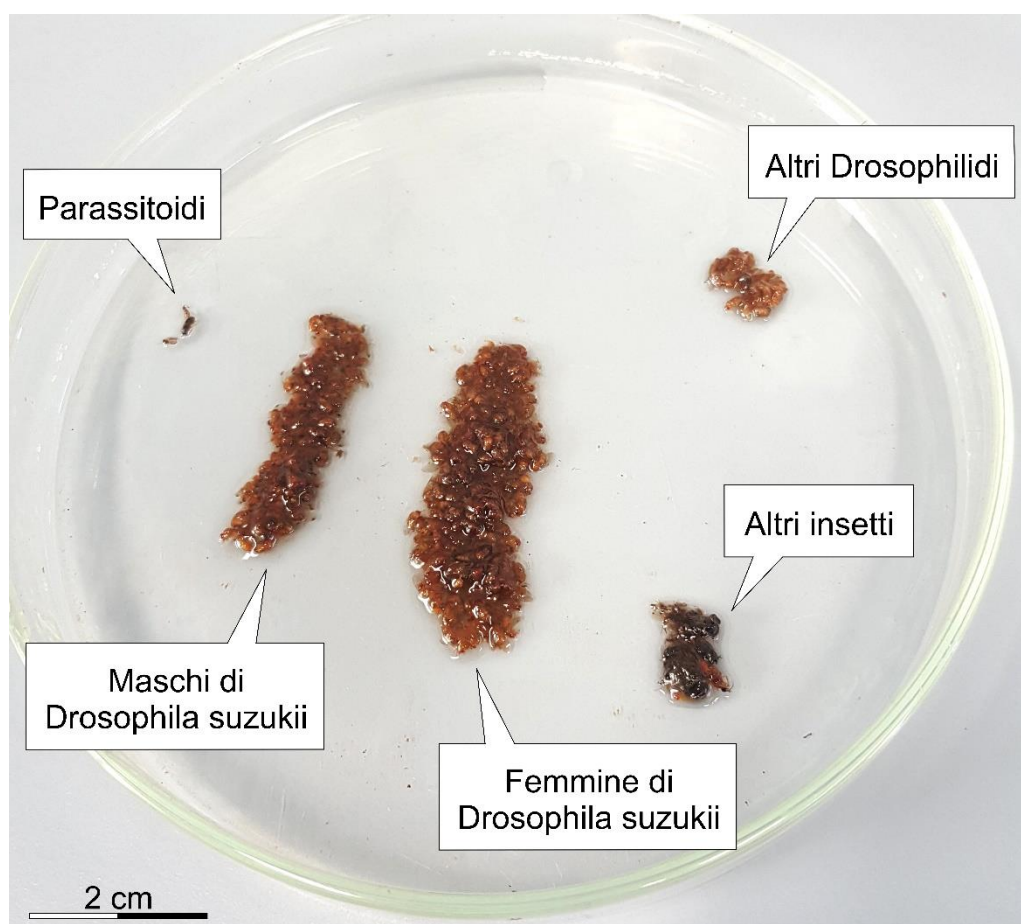


Figura 9. Esempio di piastra Petri in seguito all'identificazione e alla separazione degli insetti (Filippo Federici, 2019).

Una volta terminato il conteggio gli insetti sono stati riposti all'interno di provette Eppendorf di diverso colore (verde per *D. suzukii* maschi e femmine, blu per *Drosophila* spp., gialla per i parassitoidi e rossa/arancio per gli altri insetti). All'interno di ognuna di queste è stato inserito un foglietto di carta con il codice identificativo della trappola. Le eppendorf contenenti i parassitoidi sono state successivamente analizzate per procedere con la loro identificazione a livello di specie.

2.3 Analisi dei dati

I dati ottenuti con il campionamento attraverso le trappole cromotropiche sono stati intabellati grazie al software Excel di Microsoft, utilizzato anche per la creazione degli istogrammi e dei grafici a torta. Le analisi statistiche sono state ottenute tramite "Statistica 8", programma sviluppato da Statsoft Inc., USA.

Per quanto concerne i dati meteorologici (temperatura media e precipitazioni), questi sono stati scaricati dal sito dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV). Nello specifico sono stati utilizzati i dati forniti dalla stazione radiobase di Ilasi (VR), utilizzata come punto di riferimento per tutti i siti della tesi.

3. Risultati e discussione

3.1 Andamento climatico

I grafici 1, 2 e 3 mostrano i dati meteo di temperatura media e precipitazione rilevati dalla stazione meteo di Ilasi (VR), utilizzata come punto di riferimento per tutti i siti della tesi. È importante considerare questo tipo di dati poiché possono svolgere un ruolo fondamentale sulla biologia sia di *D. suzukii* sia dei parassitoidi nativi (Kinjo *et al.*, 2014; David *et al.*, 2005). Mettendo a confronto le tre annate è stato osservato come nel 2017 e nel 2019 l'andamento climatico sia stato simile con temperature medie giornaliere nel periodo estivo vicine ai 30 °C ed eventi piovosi anche di grossa intensità. In generale sono state due estati piuttosto calde e secche. Nel 2018 invece, le temperature medie giornaliere sono state più basse rispetto agli altri due anni con eventi piovosi meno intensi, ma leggermente più frequenti; ciò ha portato ad avere un'estate più fresca e umida che ha favorito lo sviluppo del carpofoago e conseguentemente anche quello dei parassitoidi ad esso associato.

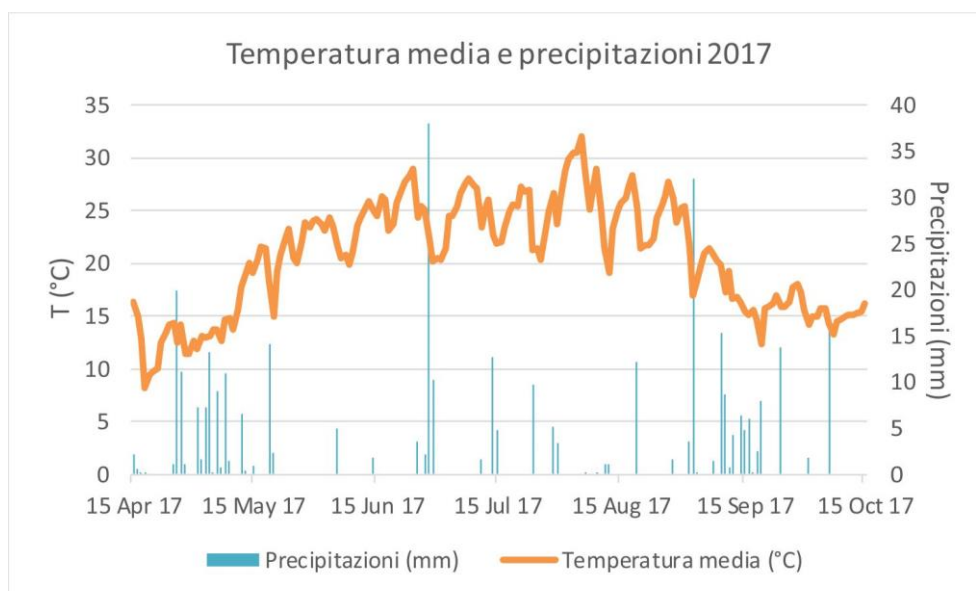


Grafico 1. Andamento temperatura media e precipitazioni durante il periodo di campionamento dell'anno 2017 utilizzando come riferimento la stazione base di Ilasi (VR) - (Dati ARPAV, 2017).

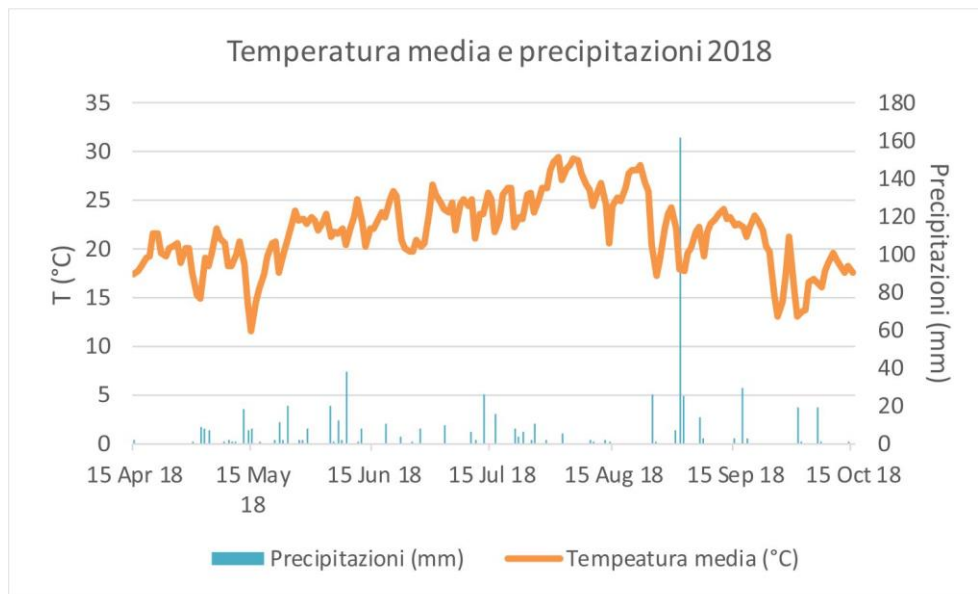


Grafico 2. Andamento temperatura media e precipitazioni durante il periodo di campionamento dell'anno 2017 utilizzando come riferimento la stazione base di Ilasi (VR) - (Dati ARPAV, 2017).

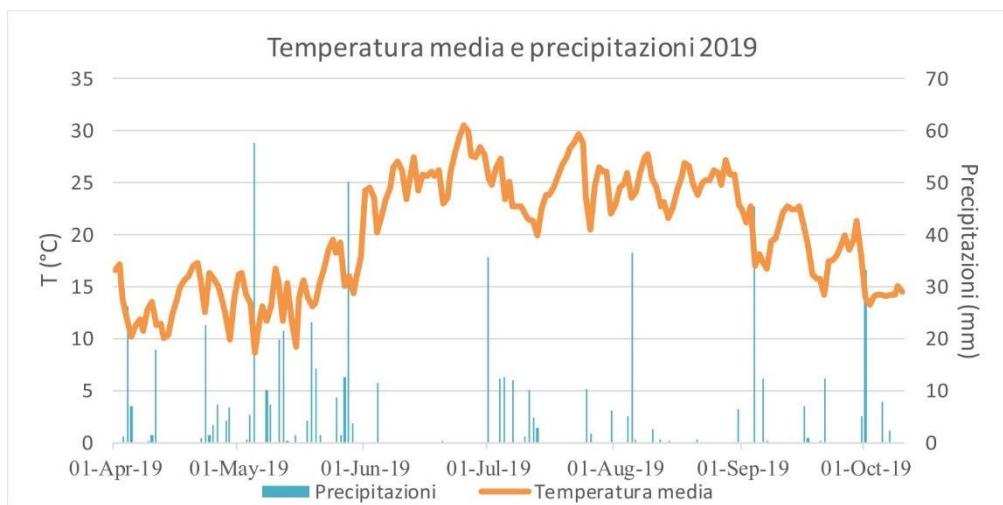


Grafico 3. Andamento temperatura media e precipitazioni durante il periodo di campionamento dell'anno 2019 utilizzando come riferimento la stazione base di Ilasi (VR) - (Dati ARPAV, 2019).

3.2 Valutazione presenza Drosofilidi e parassitoidi

Il grafico 4 mostra l'andamento delle catture totali di *D. suzukii* e degli altri Drosofilidi nell'arco delle tre annate (2017, 2018, 2019). I risultati mostrano che le fluttuazioni avvenute tra i 3 anni sono tutte significative; tra il 2017 e il 2018 si è verificato un aumento significativo di catture ($F(2, 2235)=137,86$, $p<0,05$), mentre le catture rilevate nel 2019 sono state inferiori sia a quelle del 2018 che a quelle del 2017. Queste fluttuazioni sono molto probabilmente da imputare alle diverse condizioni climatiche delle tre stagioni: il 2017 e il 2019 sono stati in generale due anni piuttosto caldi e con condizioni che hanno sfavorito lo sviluppo del carpofago; il 2018 invece ha presentato temperature medie più fresche e umidità leggermente più alte, fattori predisponenti all'aumento delle popolazioni di *D. suzukii* e Drosofilidi.

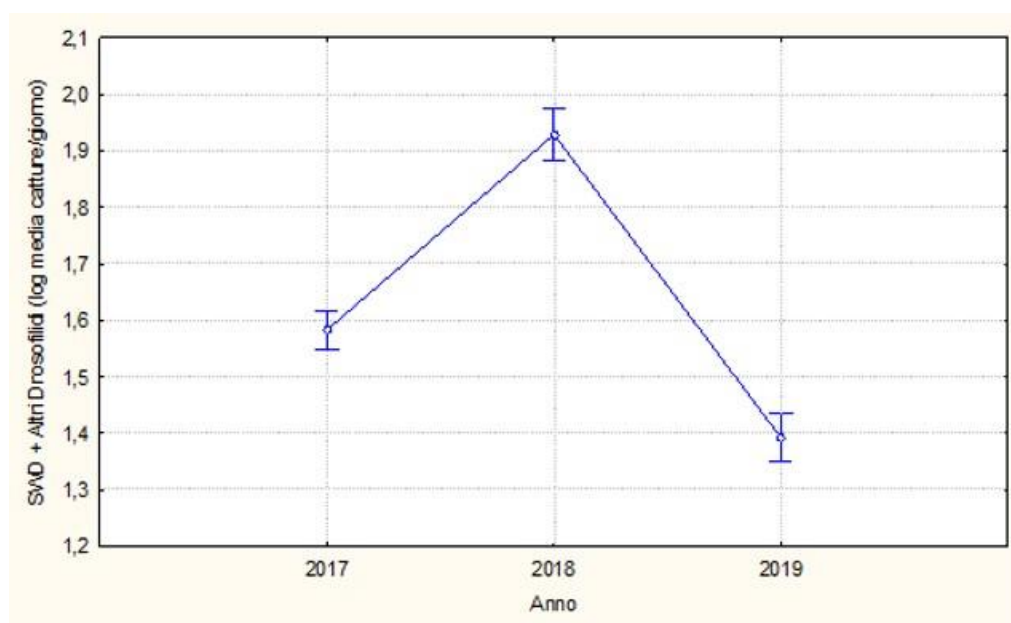


Grafico 4. Andamento in scala logaritmica delle catture di *D. suzukii* (SWD) e di altri Drosofilidi negli anni 2017, 2018 e 2019 in tutti i siti.

L'andamento delle catture dei parassitoidi nativi negli anni 2017, 2018 e 2019 ha seguito in maniera molto simile quello di *D. suzukii* e degli altri Drosofilidi. In questo caso però solo l'aumento di catture avvenute tra il 2018 e il 2017 è

risultato essere significativo con un intervallo di confidenza del 95% ($F(2, 2235)=12,563, p<0,05$) (Grafico 5).

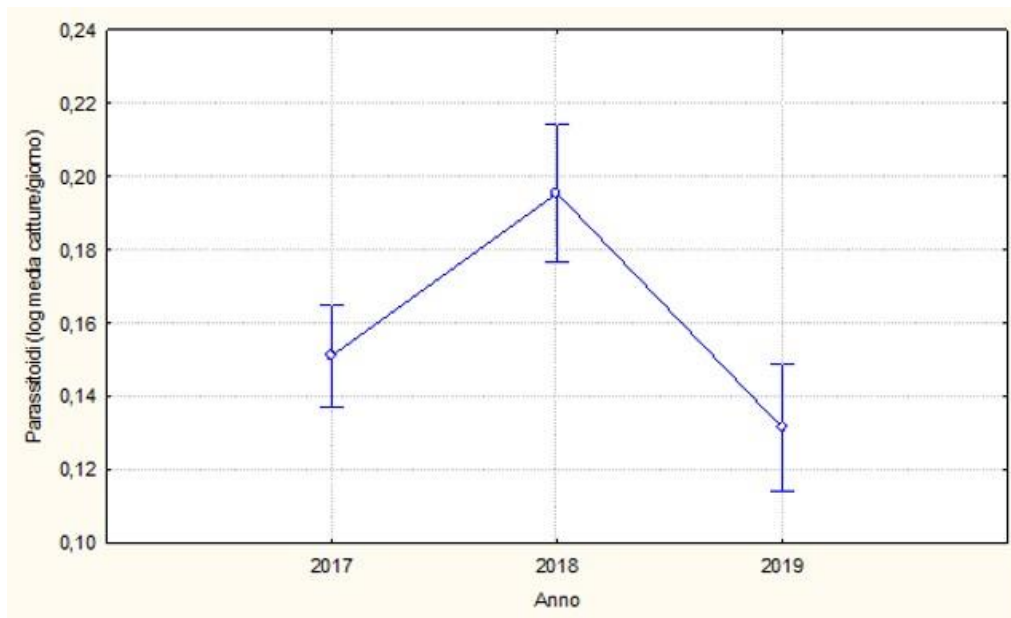


Grafico 5. Andamento in scala logaritmica delle catture dei parassitoidi nativi negli anni 2017, 2018 e 2019 in tutti i siti.

Per analizzare i risultati ottenuti sulle abbondanze relative dei parassitoidi associati a *Drosophila suzukii* in seguito al monitoraggio effettuato durante il lavoro di questa tesi, è stato deciso di confrontare i dati raccolti nel 2019 con quelli ottenuti dai campionamenti effettuati negli stessi siti nelle annate 2017 e 2018. Nei grafici 6, 7 e 8 è stata riportata l'abbondanza delle diverse specie nei 3 anni di indagine. Dai dati raccolti è possibile notare come negli ecosistemi dei siti analizzati la specie di parassitoide più presente è *P. vindemmiae*, nonostante non ci sia una variazione significativa ($F(2, 2235)=0,42848, p > 0,05$). Per quanto riguarda la presenza di *T. drosophilae*, la sua abbondanza in relazione al totale di parassitoidi catturati, è risultata essere significativamente più abbondante nel 2017 rispetto a 2018 e 2019 ($F(2, 2235)= 47,663, p<0,05$). Essendo stati considerati anche i siti di rilascio, il livello maggiore di *T. drosophilae* è probabilmente dovuto proprio ai rilasci effettuati durante quell'anno. *S. erythromera* invece, è variata significativamente in tutte e tre le

annate ($F(2, 2235) = 16,009$, $p < 0,05$). Caso particolare è quello delle due specie di *Leptopilina* (*L.heterotoma* e *L.boulardi*), che dopo un incremento evidente a livello percentuale nel 2018 rispetto al 2017 risultato essere significativo per entrambe le specie (Lepto h $F(2, 2235) = 43,941$, $p < 0,05$ Lepto b $F(2, 2235) = 66,728$, $p < 0,05$), nel 2019 sono tornate ai livelli osservati nel 2017; questo aumento avvenuto nel secondo anno di monitoraggio è in linea con altri dati raccolti in areali differenti da quelli in oggetto in questo studio (San Michele all'Adige, comunicazione personale).

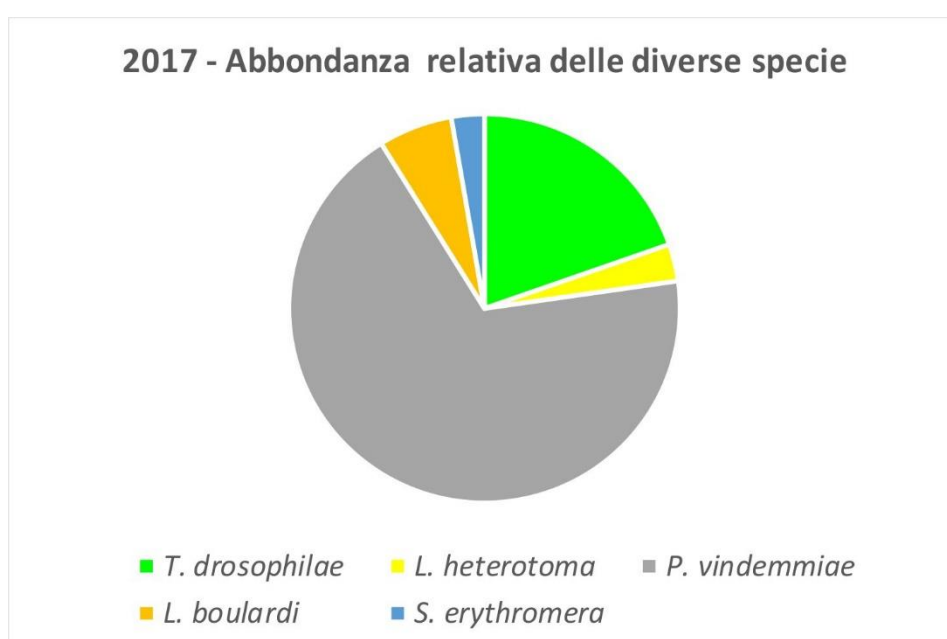


Grafico 6. Abbondanza relativa in % delle diverse specie di parassitoidi nativi associati a *D. suzukii* nell'annata 2017.

2018 - Abbondanza relativa delle diverse specie

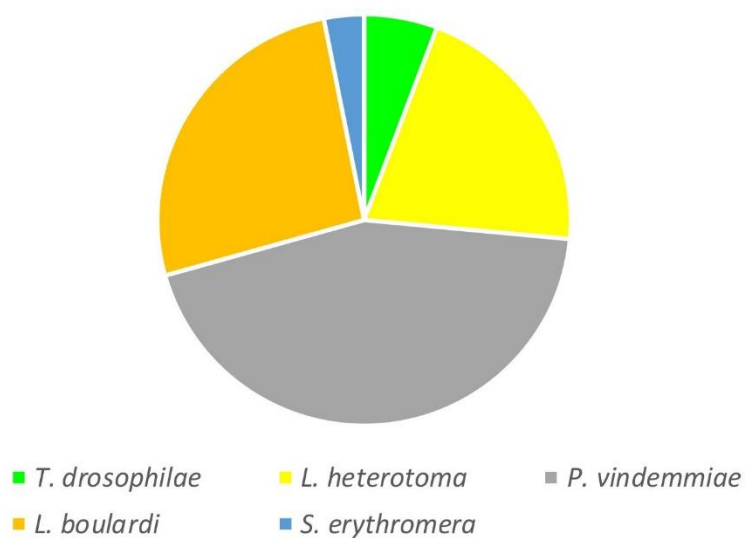


Grafico 7. Abbondanza relativa in % delle diverse specie di parassitoidi nativi associati a *D. suzukii* nell'annata 2018.

2019 - Abbondanza relativa delle diverse specie

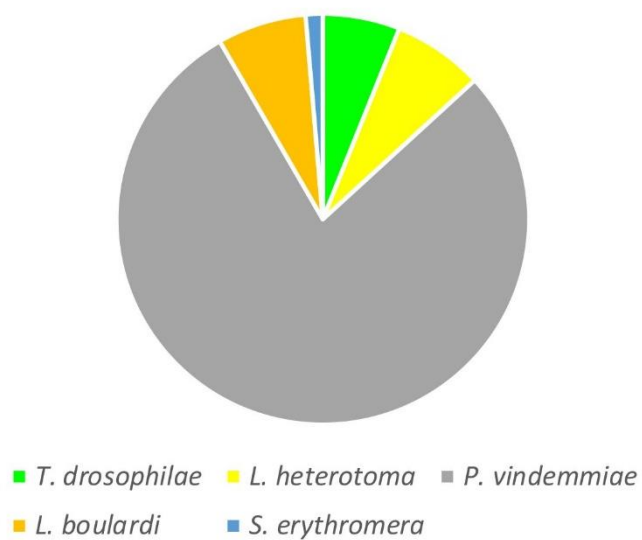


Grafico 8. Abbondanza relativa in % delle diverse specie di parassitoidi nativi associati a *D. suzukii* nell'annata 2019.

Per valutare invece in maniera assoluta la presenza delle specie di parassitoidi studiati, nel grafico 9 sono state messe a confronto, per ogni specie, le 3 annate (2017, 2018, 2019) in base alle medie delle catture giornaliere per trappola. Per avere un dato non influenzato dai rilasci di *T. drosophilae*, in questo istogramma sono state prese in considerazione solo le trappole appartenenti ai siti di non rilascio. Si può notare che i risultati ottenuti in questo grafico rispecchiano quelli ottenuti nei grafici delle abbondanze relative (Grafici 6,7 e 8). Anche nel grafico 4 infatti, *P. vindemmiae* nei tre anni è la specie più abbondante senza però variare significativamente ($F(2, 368)=0,41001$, $p>0,05$), esattamente come *T. drosophilae* ($F(2, 368)=1,9244$, $p>0,05$). Come nei grafici precedenti si può notare solo nel 2018 la presenza piuttosto importante di *L. boulandi* e *L. heterotoma* che risulta essere significativa per entrambe le specie (Lepto b $F(2, 368)=7,6484$; $p<0,05$; Lepto h $F(2, 368)=8,3247$, $p<0,05$). In questo caso *S. erythromera* è significativamente più abbondante solo nel 2018 ($F(2, 368)=5,1731$, $p<0,05$)

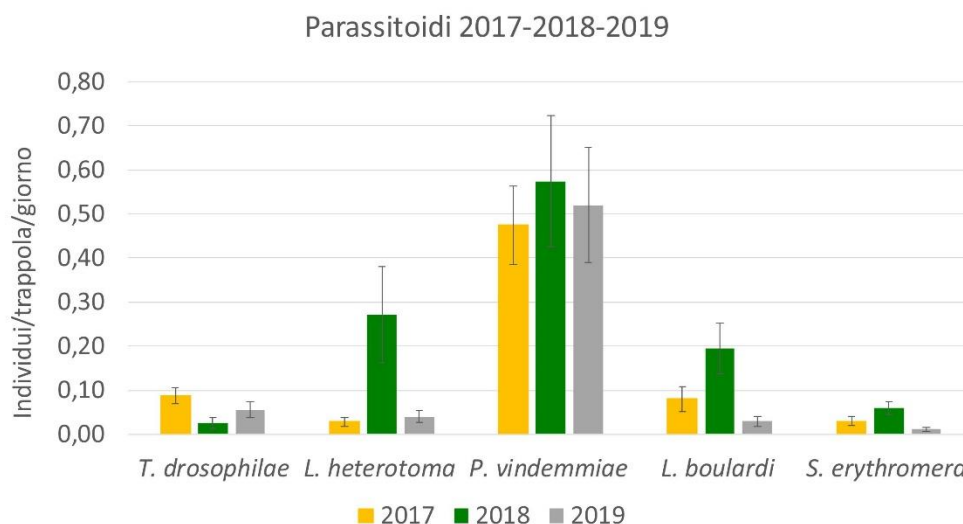


Grafico 9. Andamento (media $\pm$ SE) delle catture giornaliere per trappola delle specie di parassitoidi nativi associati a *D. suzukii* nei siti di non rilascio. In ordinata è riportato il numero di individui catturati per trappola al giorno, e in ascissa le specie di parassitoidi. Le barre indicano l'errore standard.

Nei grafici 10, 11 e 12 sono state prese in esame le catture delle singole specie in relazione al periodo di cattura, per vedere quali fossero i momenti all'interno

della stagione in cui era maggiore la presenza dei parassitoidi. Dai risultati ottenuti si evince come, in linea generale, il trend delle presenze dei vari parassitoidi sia simile seppur con diversi tassi di cattura: si ha un primo picco verso il periodo di giugno che coincide con il periodo di crescita di *D. suzukii* e un secondo picco verso la fine della stagione estiva, momento in cui i Drosophilidi nativi dei nostri areali sono più presenti poiché si nutrono di frutta surmatura o in via di marcescenza. Le uniche due eccezioni riguardano: uno il 2018 in cui in piena estate c'è stato un picco di *Leptopilina spp* che, come già spiegato in precedenza, ha influito sulle catture medie stagionali di quest'ultime; e la seconda riguarda la presenza pressoché costante, con picchi in piena estate, di *P. vindemmiae*. Quest'ultimo punto può essere spiegato con il fatto che *P. vindemmiae* è l'unico tra i parassitoidi nativi che ha picchi di attività tra i 25 °C e i 30 °C, mentre tutti gli altri hanno optimum termici tra i 20 °C e i 25°C (Xin-Geng Wang *et al.*, 2018; Rossi Stacconi *et al.*, 2017).

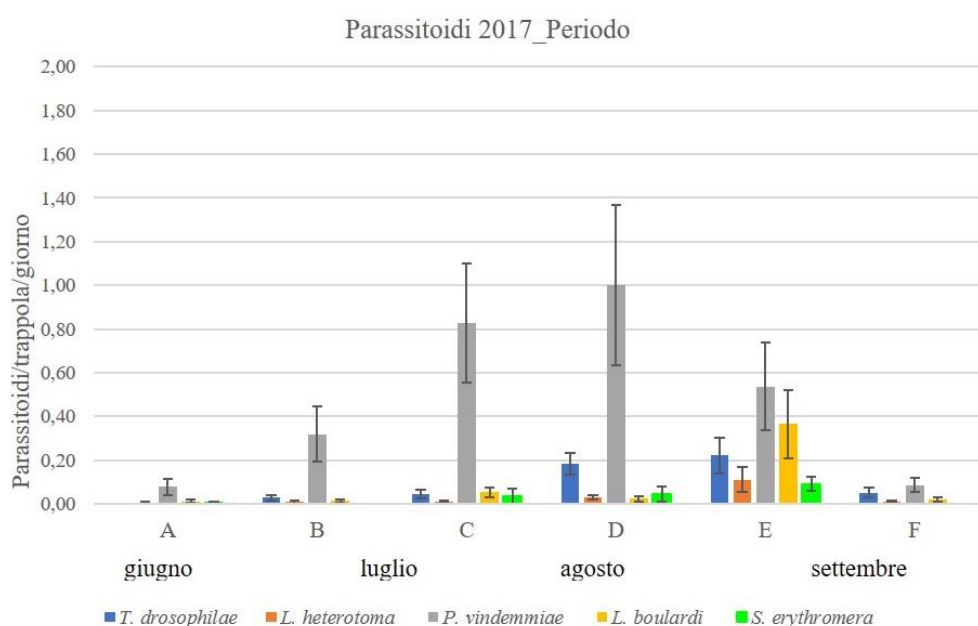


Grafico 10. Andamento (media $\pm$ SE) delle catture giornaliere per trappola delle specie di parassitoidi nativi associati a *D. suzukii* nei siti di non rilascio in relazione al periodo nell'annata 2017. In ordinata è riportato il numero di individui catturati per trappola al giorno, e in ascissa le date di monitoraggio (A, B, C, D, E, F) con il relativo periodo all'interno della stagione. Le barre indicano l'errore standard (Colombari e Tonina, 2019).

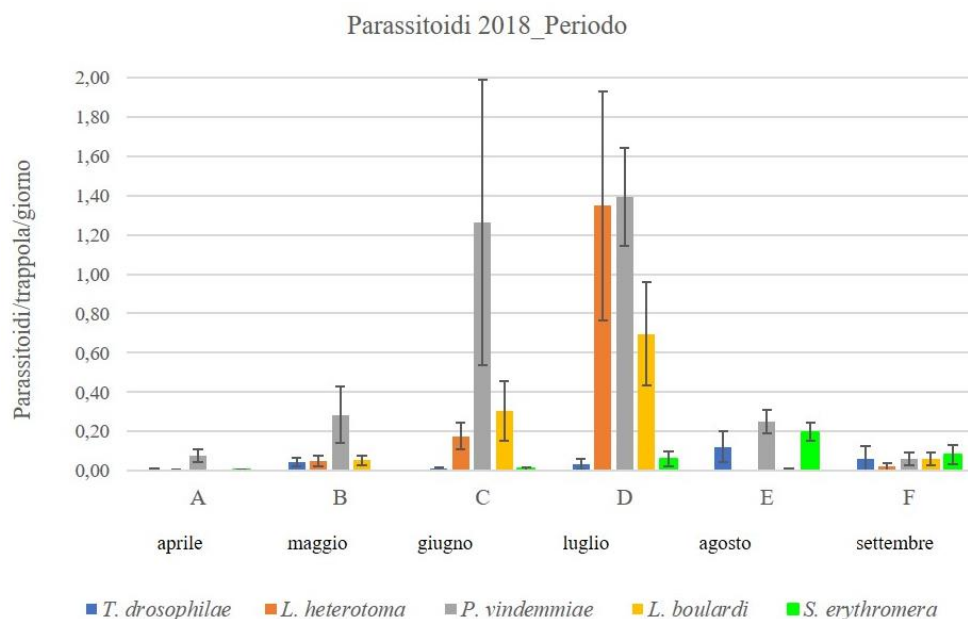


Grafico 11. Andamento (media $\pm$ SE) delle catture giornaliere per trappola delle specie di parassitoidi nativi associati a *D. suzukii* nei siti di non rilascio in relazione al periodo nell'annata 2018. In ordinata è riportato il numero di individui catturati per trappola al giorno, e in ascissa le date di monitoraggio (A, B, C, D, E, F) con il relativo periodo all'interno della stagione. Le barre indicano l'errore standard (Colombari e Tonina, 2019).

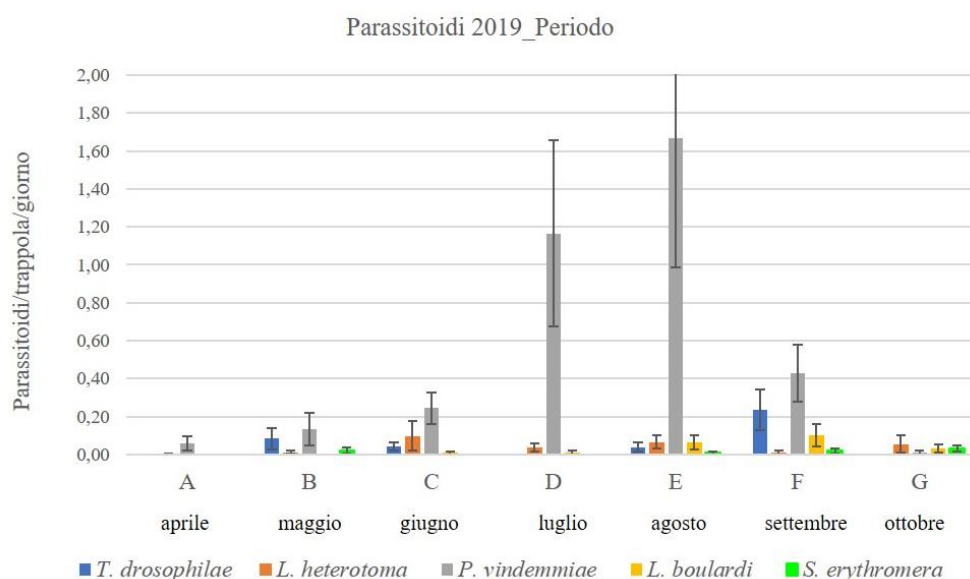


Grafico 12. Andamento (media $\pm$ SE) delle catture giornaliere per trappola delle specie di parassitoidi nativi associati a *D. suzukii* nei siti di non rilascio in relazione al periodo nell'annata 2019. In ordinata è riportato il numero di individui catturati per trappola al giorno, e in ascissa le date di monitoraggio (A, B, C, D, E, F) con il relativo periodo all'interno della stagione. Le barre indicano l'errore standard.

3.3 Influenza dell'habitat sui parassitoidi

La particolare conformazione di un ecosistema o la presenza di un ben determinato habitat possono far variare la presenza dei parassitoidi all'interno di un ambiente. Per questo motivo sono stati studiati nei siti di non rilascio gli habitat presenti per valutare se questi svolgono un ruolo di rilievo nel favorire o meno la presenza dei parassitoidi nativi. È stata valutato quindi il numero di individui catturati sia in un ambiente naturale che in un ambiente antropico coltivato: nel 2017 come ambiente naturale sono stati presi in esame le zone di foresta ed ecotono, mentre come ambiente antropico zone di vigneto (grafico 13).

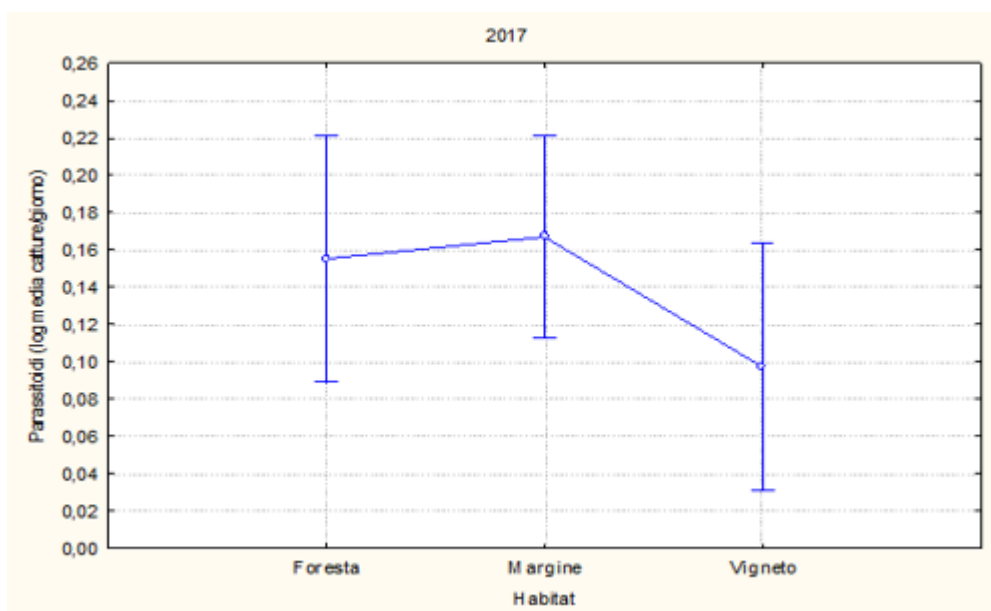


Grafico 13. Andamento in scala logaritmica delle catture dei parassitoidi nativi in relazione all'habitat nel 2017 nei siti non rilascio.

In generale vi è stato un leggero incremento di catture passando dal vigneto all'habitat naturale, per quanto le differenze non siano significative (2017 $F(2, 165)=1,3826$, $p>0,05$). Il trend nelle annate 2018 e 2019 è rimasto lo stesso, nonostante ci si sia concentrati su un ambiente più congruo alla dieta di *D. suzukii* come il ceraseto piuttosto del vigneto (2018 $F(1, 92)=1,2850$, $p>0,05$; 2019 $F(1, 107)=3,2859$, $p>0,05$) (Grafici 14 e 15). Nelle annate 2018 e 2019 inoltre non sono state prese in considerazione le zone di foresta dato che in

precedenza avevano espresso risultati molto simili a quelli di ecotono. Il leggero calo del tasso di cattura passando da habitat naturali ad habitat antropici coltivati come ceraseto e vigneto è probabilmente dovuto al fatto che questi ultimi due sono ambienti più semplici rispetto ad esempio all'ambiente ecotono, che con la sua complessità presenta temperature e umidità relative più adatte allo sviluppo dei parassitoidi (Tonina et al., 2017). Inoltre è importante considerare altri fattori che possono contribuire più o meno efficacemente alla biologia sia dei parassitoidi che degli ospiti: ad esempio una elevata percentuale di foresta, dove i parassitoidi possono disperdersi su vari ospiti presenti su più piante con frutti, che va a diminuire la presenza degli insetti utili nei margini e nell'ambiente coltivato; anche il periodo di campionamento può giocare un ruolo chiave, poiché può essere influenzato da un clima particolarmente sfavorevole o favorevole all'ospite e di conseguenza anche ai parassitoidi, oppure può avvenire in un momento in cui sono presenti frutti nell'ambiente coltivato e far aumentare la densità di ospiti e parassitoidi al suo interno piuttosto che nella foresta o nei margini.

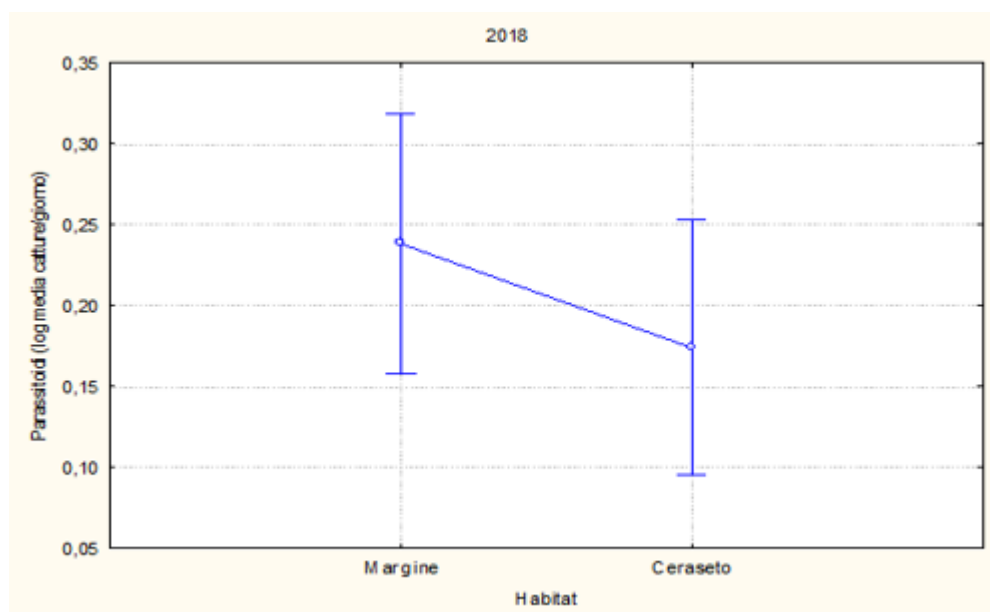


Grafico 14. Andamento in scala logaritmica delle catture dei parassitoidi nativi in relazione all'habitat nel 2018 nei siti non rilascio.

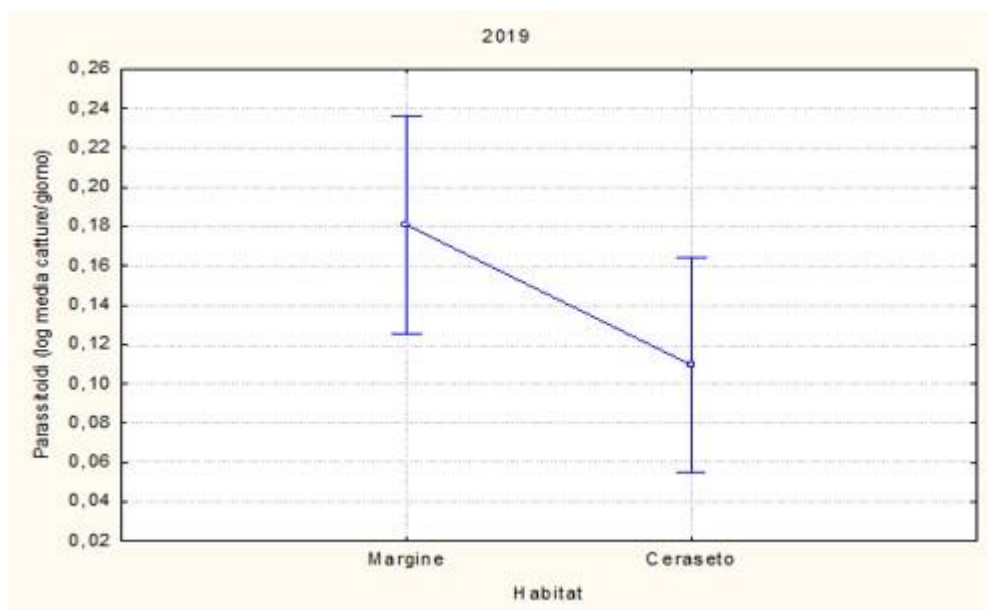


Grafico 15. Andamento in scala logaritmica delle catture dei parassitoidi nativi in relazione all'habitat nel 2019 nei siti non rilascio.

Andando a investigare sull'abbondanza delle singole specie nelle tre diverse annate in relazione all'habitat, sempre considerando solo i siti di non rilascio, nel 2017 solo *S. erythromera* è significativamente più abbondante in entrambi gli habitat naturali che non in vigneto ($F(2, 165)=4,2349$, $p=,01609$) (Grafico 16). Nel 2018 invece nessuna delle 5 specie analizzate ha presentato differenze significative tra margine e ceraseto (Grafico 17). Infine, nel 2019 sia *S. erythromera* sia le due specie di Leptopilina sono risultate essere significativamente più abbondanti nell'ambiente naturale rispetto all'ambiente antropico coltivato (*S. ery* $F(1, 107)=8,6564$, $p<0,05$; *Lepto h* $F(1, 107)=5,8124$, $p<0,05$; *Lepto b* $F(1, 107)=4,6425$, $p<0,05$) (Grafico 18). Questi risultati, in linea con quanto affermato precedentemente sono difficilmente interpretabili a causa dei numerosi fattori che possono far variare l'abbondanza di queste specie all'interno dei diversi habitat. Ogni ecosistema ha caratteristiche uniche e queste possono influenzare più o meno pesantemente la presenza sia del carpfago sia dei parassitoidi ad esso associato.

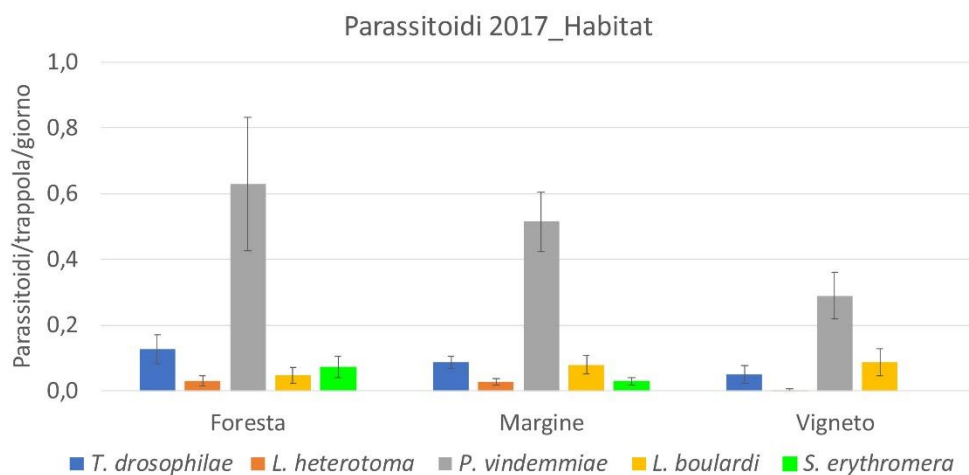


Grafico 16. Andamento (media $\pm$ SE) delle catture giornaliere per trappola delle specie di parassitoidi nativi associati a *D. suzukii* nei siti di non rilascio in relazione all'habitat nell'annata 2017. In ordinata è riportato il numero di individui catturati per trappola al giorno, e in ascissa le tipologie di habitat. Le barre in dicano l'errore standard (Colombari e Tonina, 2019).

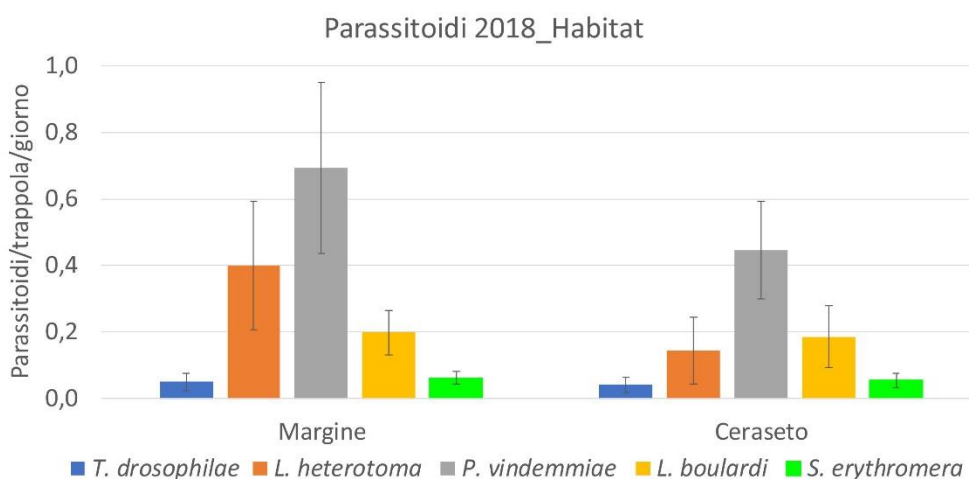


Grafico 17. Andamento (media $\pm$ SE) delle catture giornaliere per trappola delle specie di parassitoidi nativi associati a *D. suzukii* nei siti di non rilascio in relazione all'habitat nell'annata 2018. In ordinata è riportato il numero di individui catturati per trappola al giorno, e in ascissa le tipologie di habitat. Le barre in dicano l'errore standard (Colombari e Tonina, 2019).

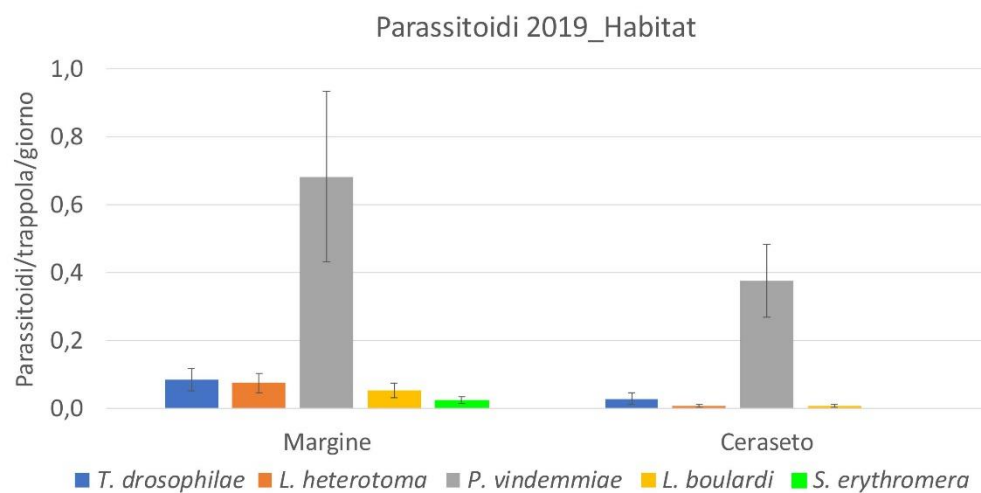


Grafico 18. Andamento (media $\pm$ SE) delle catture giornaliere per trappola delle specie di parassitoidi nativi associati a *D. suzukii* nei siti di non rilascio in relazione all'habitat nell'annata 2019. In ordinata è riportato il numero di individui catturati per trappola al giorno, e in ascissa le tipologie di habitat. Le barre indicano l'errore standard.

4. Conclusioni

Il presente lavoro si è focalizzato sul monitoraggio dell'abbondanza di *D. suzukii* e gli altri Drosofilidi, e dei parassitoidi nativi a essi associati in Veneto. Dai risultati ottenuti è possibile evidenziare che i fattori che ricoprono un ruolo nella biologia del carpofago e dei parassitoidi nativi sono molteplici:

- Il clima e le condizioni meteorologiche hanno fondamentale importanza sullo sviluppo del ciclo di *D. suzukii* che a sua volta influenza il ciclo dei parassitoidi. Annate calde e secche come quelle del 2017 e del 2019 hanno abbassato la densità del carpofago e ciò si è poi riflesso anche sull'abbondanza di parassitoidi. Allo stesso tempo forti precipitazioni alternate a giornate molto calde, come avvenuto nell'estate del 2019, hanno ridotto ulteriormente la presenza sia di *D. suzukii* che di parassitoidi.
- L'ecosistema in cui è inserita la coltura attaccata dal fitofago è di fondamentale importanza per il suo sviluppo poiché zone di margine e foresta possono fungere da rifugio in caso di condizioni meteorologiche avverse e inoltre forniscono un insieme di ospiti alternativi sia al carpofago che ai parassitoidi; è a questi aspetti che si può imputare la maggior presenza, seppur lieve, di parassitoidi e di *D. suzukii* negli ambienti naturali.
- Il periodo di maturazione della frutta attaccata dal carpofago coincide con l'aumento dei parassitoidi e questo aspetto deve essere considerato quando viene organizzato il piano di monitoraggio.

Alla luce di quanto di quanto discusso è evidente la necessità di ulteriori indagini considerando i molteplici fattori che interagiscono nella biologia sia del carpofago sia dei parassitoidi nativi ad esso associati.

Il presente elaborato fornisce informazioni essenziali per la pianificazione di piani di lotta biologica su ampia scala e per il confronto sulla presenza e distribuzione dei parassitoidi dei drosofilidi in altri areali.

Ringraziamenti

Per questo lavoro di tesi si ringrazia il progetto “Impiego di *Trichopria drosophilae* per il contenimento delle popolazioni di *Drosophila suzukii* in Veneto” finanziato dalla Regione Veneto.

Si ringraziano il Prof. Nicola Mori, per la supervisione e le correzioni di questo lavoro e la Dott.ssa Fernanda Colombari, per la disponibilità e il sostegno.

Un ulteriore ringraziamento va ai tecnici di laboratorio Dott.ssa Patrizia Dall'Ara e Dott. Paolo Paolucci per la cortesia e l'aiuto offerto durante le analisi di laboratorio.

Infine, un ultimo ringraziamento va ai miei colleghi Dott. Davide Bogoni e Dott. Davide Bozzon per l'appoggio e lo spirito di collaborazione nel corso di questi cinque anni di Università.

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., Kárpáti Z., Kimura M. T., Pascual M., Philips C. R., Plantamp C., Ponti L., Véték G., Vogt H., Walton V. M., Yu Y., Zappalà L., Desneux, N. (2015), Invasion biology of Spotted Wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*): a global perspective and future priorities. *Journal of Pest Science*, 88(3): 469-494.

Bolda, Mark P., Rachael E. Goodhue, and Frank G. Zalom. "Spotted wing drosophila: potential economic impact of a newly established pest." *Agricultural and Resource Economics Update* 13.3 (2010): 5-8.

Boselli M., Tiso R., Nannini R., Bortolotti P., Caruso S., Dradi D. (2012), Monitoraggio di *Drosophila suzukii* in Emilia-Romagna. *ATTI Giornate Fitopatologiche* 1: 429-432.

Bruck, D.J., Bolda, M., Tanigoshi, L., Klick, J., Kleiber, J., Defrancesco, J., Gerdeman, B., Spitler, H., 2011. Laboratory and field comparisons of insecticides to reduce infestation of *Drosophila suzukii* in berry crops. *Pest Manag. Sci.* <https://doi.org/10.1002/ps.2242>

Calabria G., Màca J., Bächli G., Serra L., Pascual M. (2010), First records of the potential pest species *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Europe. *Journal of Applied Entomology* 136:139-147.

Chabert S., Allemand R., Poyet M., Eslin P., Gibert P. (2012), Ability of European parasitoids (Hymenoptera) to control a new invasive Asiatic pest, *Drosophila suzukii*. *Biological Control* 63: 40-47.

Carton Y., Boulétreau M., Van Alphen J. J., Van Lenteren, J.C. (1986), *The Drosophila*

parasitic wasps in *The genetics and biology of Drosophila*, Academic Press, London, vol. 3e:347–393.

Caruso S., Vaccari G., Lugli S., Bellelli S., Francati S., Maistrello L., Costi E., Gullo M., Zanichelli G., Civolani S., Cassanelli S. (2017), *Drosophila suzukii*, le reti sono efficaci ma servono soluzioni più convenienti. Frutticoltura 4: 14-19.

Cini A., Ioratti 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(1): 149-160.

Colombari F., Battisti A. (2015), Spread of the introduced biocontrol agent *Torymus sinensis* in north-eastern Italy: dispersal through active flight or assisted by wind? BioControl DOI:10.1007/s10526-015-9712-1.

David J. R., Araripe L. O., Chakir M., Legout H., Lemos B., Pétavy G., Rohmer C., Joly D., Moreteau B. (2005), Male sterility at extreme temperatures: a significant but neglected phenomenon for understanding *Drosophila* climatic adaptations. Journal of Evolutionary Biology 18: 838-846.

Deprà M., Poppe J.L., Schmitz H.J., De Toni D.C., Valente V.L.S. (2014), The first records of the invasive pest *Drosophila suzukii* in the South American continent. Journal of Pest Science 87(3): 379–383.

Gabarra, R., Riudavets, J., Rodríguez, G. A., Pujade-Villar, J., & Arnó, J. (2015). Prospects for the biological control of *Drosophila suzukii*. *BioControl*, 60(3), 331-339.

Goodhue R.E., Bolda M., Farnsworth D., Williams J., Zalom F. (2011), Spotted Wing *Drosophila* infestation of California strawberries and raspberries: economic analysis of potential revenue losses and control costs. Pest Management Science 67: 1396-1402.

Grassi A., Palmieri L., Giongo L. (2012), *Drosophila* (*Sophophora*) *suzukii*(Matsumura), new pest of soft fruits in Trentino (North-Italy) and in Europe. Integrated Plant Protection in Soft Fruits IOBC/WPRS Bulletin 70: 121-128.

Grassi A., Maistri S., (2013), *Drosophila suzukii* sui piccoli frutti e ciliegio. Terra Trentina 3: 47-53.

Ioriatti, C., Walton, V., Dalton, D., Anfora, G., Grassi, A., Maistri, S., & Mazzoni, V. (2015). *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) and its potential impact to wine grapes during harvest in two cool climate wine grape production regions. *Journal of economic entomology*, 108(3), 1148-1155.

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.

Kacsoh B. Z., Schlenke T. A. (2012), High hemocyte load is associated with increased resistance against parasitoids in *Drosophila suzukii*, a relative of *D. melanogaster*. PLoS ONE 7(4): e34721 DOI:10.1371/journal.pone.0034721.

Kaneshiro K. Y. (1983), *Drosophila* (Sophophora) *suzukii* (Matsumura). Proceedings of the Hawaiian Entomology Society 24: 179.

Kanzawa T. (1939), Abstract: Studies on *Drosophila suzukii* Mats. Kofu, Japan. Yamanashi Agricultural Experiment Station. Reviews of Applied Entomology 29: 622.

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: 297-304.

Knoll V., Ellenbroek T., Romeis J., Collatz J. (2017), Seasonal and regional presence of hymenopteran parasitoids of *Drosophila* in Switzerland and their ability to parasitize the invasive *Drosophila suzukii*. Scientific Reports 7:40697 DOI: 10.1038/srep40697.

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(11), 1358-1367.

Lodge, David M. "Biological invasions: lessons for ecology." *Trends in ecology & evolution* 8.4 (1993): 133-137.

Mazzetto F., Marchetti E., Amiresmaeili N., Sacco D., Francati S., Jucker C., Dindo M. L., Lupi D., Tavella L. (2016), *Drosophila* parasitoids in northern Italy and their potential to attack the exotic pest *Drosophila suzukii*. *Journal of Pest Science* DOI 10.1007/s10340-016-0746-7.

Mooney, Harold A., and Elsa E. Cleland. "The evolutionary impact of invasive species." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98.10 (2001): 5446-5451.

Romani R., Isidoro N., Bin F., Vinson S. B. (2002), Host recognition in the pupal parasitoid *Trichopria drosophilae*: a morpho-functional approach. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 105: 119–128.

Rossi Stacconi M. V., Matt Buffington M., Daane K. M., Dalton D. T., Grassi A., Kaçar G., Miller B., Miller J. C., Baser N., Ioriatti C., Walton V. M., Wiman N. G., Wang X., Anfora G. (2015), Host stage preference, efficacy and fecundity of parasitoids attacking *Drosophila suzukii* in newly invaded areas. *Biological Control* 84: 28-35.

Rossi Stacconi, M.V., Panel, A., Baser, N., Ioriatti, C., Pantezzi, T., Anfora, G., 2017. Comparative life history traits of indigenous Italian parasitoids of *Drosophila suzukii* and their effectiveness at different temperatures. *Biol. Control*. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.06.003>

Rossi Stacconi M. V., Amiresmaeili N., Biondi A., Carli C., Caruso S., Dindo M. L., Francati S., Gottardello A., Grassi A., Lupi D., Marchetti E., Mazzetto F., Mori N., Pantezzi T., Tavella L., Tropea Garzia L., Tonina L., Vaccari G., Anfora G., Ioriatti C. (2017b), Host location and dispersal ability of the cosmopolitan parasitoid *Trichopria drosophilae* released to control the invasive

spotted wing drosophila. Biological Control

<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.11.013>

Rota-Stabelli, O., Blaxter, M., Anfora, G., 2013. *Drosophila suzukii*. Curr. Biol. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.11.021>

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: 59-65.

Tochen S., Dalton D. T., Wiman N., Hamm C., Shearer P. W., Walton V. M. (2014), Temperature-related development and population parameters for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) on cherry and blueberry. Physiological Ecology 43(2): 501-510.

Tonina L., Gottardello A., Rossi Stacconi M. V., Santoiemma G., Vaccari G. (2017), Ecologia e gestione integrata di *Drosophila suzukii* al Nord. L'Informatore Agrario 12: 40-46.

Tonina, L., Mori, N., Sancassani, M., Dall'Ara, P., Marini, L., 2018. Spillover of *Drosophila suzukii* between noncrop and crop areas: implications for pest management. Agric. For. Entomol. <https://doi.org/10.1111/afe.12290>.

Van Alphen, J.J.M., Thunnissen, I., 1982. Host Selection and Sex Allocation by *Pachycrepoideus vindemiae* Rondani (Pteromalidae) as a Facultative Hyperparasitoid of *Asobara tabida* Nees (Braconidae; Alysiinae) and *Leptopilina heterotoma* (Cynipoidea; Eucoilidae). Netherlands J. Zool. <https://doi.org/10.1163/002829683X00228>

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. Journal of Integrated Pest Management 2(1): DOI: 10.1603/IPM10010.

Wang, X.G., Messing, R.H., 2004. The ectoparasitic pupal parasitoid, *Pachycrepoideus vindemmiae* (Hymenoptera: Pteromalidae), attacks other primary tephritid fruit fly parasitoids: Host expansion and potential non-target impact. *Biol. Control*. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2004.04.019>.

Wang, X. G., Serrato, M. A., Son, Y., Walton, V. M., Hogg, B. N., & Daane, K. M. (2018). Thermal Performance of Two Indigenous Pupal Parasitoids Attacking the Invasive *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Environmental entomology*, 47(3), 764-772.

Williamson, Mark, and Alastair Fitter. "The varying success of invaders." *Ecology* 77.6 (1996): 1661-1666.