

SCOPAZZI DEL MELO

STATO ATTUALE DELLA RICERCA

APFELTRIEBSUCHT

AKTUELLER STAND DER FORSCHUNG

A cura di // Herausgegeben von

KATRIN JANIK

DANA BARTHEL

TIZIANA OPPEDISANO

GIANFRANCO ANFORA



FONDAZIONE
EDMUND MACH



Versuchszentrum
Centro di Sperimentazione
Research Centre

LAIBURG
NATURE & SCIENCE: HAND IN HAND

SCOPAZZI DEL MELO

STATO ATTUALE DELLA RICERCA

APFELTRIEBSUCHT

AKTUELLER STAND DER FORSCHUNG

A cura di // Herausgegeben von

KATRIN JANIK

DANA BARTHEL

TIZIANA OPPEDISANO

GIANFRANCO ANFORA



FONDAZIONE
EDMUND MACH



NATURE & SCIENCE: HAND IN HAND

Scopazzi del melo : stato attuale della ricerca = Apfeltriebsucht : aktueller Stand der Forschung / a cura di = herausgegeben von Katrin Janik ... [et al.]. - San Michele all'Adige (TN) : Fondazione Edmund Mach ; Laimburg : Ora (BZ) : Centro di Sperimentazione Laimburg, 2020. - 153 p. : i ll., tab. ; 26 cm.

ISBN: 9788878430532

1. Melo - Malattie da fitoplasmi I. Janik, Katrin II. Fondazione Edmund Mach III. Centro di sperimentazione Laimburg 634.11932

Il presente lavoro è stato svolto nell'ambito dei progetti APPL2.0, APPLClust, APPLIII e SCOPAZZI_FEM ed è stato finanziato dalla Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige, dal Consorzio Mele Alto Adige e dall'Associazione Produttori Ortofrutticoli Trentini (APOT). // Die Arbeiten wurden im Rahmen der Projekte APPL2.0, APPLClust, APPLIII und SCOPAZZI-FEM durchgeführt und von der Autonomen Provinz Bozen - Südtirol, Italien, dem Südtiroler Apfelkonsortium und dem Verband der Obst- und Gemüseerzeuger im Trentino (APOT) finanziert.



SCOPAZZI DEL MELO - STATO ATTUALE DELLA RICERCA APFELTRIEBSUCHT - AKTUELLER STAND DER FORSCHUNG

© 2020 Fondazione Edmund Mach, Via E. Mach 1, 38098 San Michele all'Adige (TN) - Centro di Sperimentazione Laimburg/Versuchszentrum Laimburg, Laimburg 6, 39040 Ora/Auer (BZ).

È vietata la riproduzione con qualsiasi mezzo essa venga effettuata.

TESTI // TEXTE

Dana Barthel, Stefanie Fischnaller, Thomas Letschka, Katrin Janik, Cecilia Mittelberger, Sabine Öttl, Bernd Panassiti - Centro di Sperimentazione Laimburg, Ora (Italia) // Versuchszentrum Laimburg, Auer (Italien)

Gino Angeli, Mario Baldessari, Pier Luigi Bianchedi, Andrea Campisano, Laura Tiziana Covelli, Gastone Dallago, Claudio Ioriatti, Valerio Mazzoni, Mirko Moser, Federico Pedrazzoli, Omar Rota-Stabelli, Tobias Weil - Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige (Italia) // Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige (Italien)

Tiziana Oppedisano - Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige (Italia) / Università degli Studi del Molise // Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige (Italien) / Università degli Studi del Molise (Italien)

Gianfranco Anfora - Centro Agricoltura Alimenti Ambiente (C3A), Università degli Studi di Trento / Centro Ricerca e Innovazione, Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige (Italia) // Centro Agricoltura Alimenti Ambiente (C3A), Università degli Studi di Trento, San Michele all'Adige (Italien) / Centro Ricerca e Innovazione, Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige (Italien)

Wolfgang Jarausch - AlPlanta, Neustadt an der Weinstraße (Germania) // AlPlanta, Neustadt an der Weinstraße (Deutschland)

Josef Österreicher, Michael Unterthurner - Centro di consulenza per la frutticoltura dell'Alto Adige, Lana-BZ (Italia) // Südtiroler Beratungsring für Obst- und Weinbau, Lana-BZ (Italien)

Wolfgang Schweigkofler - Dominican University of California, San Rafael California (USA) // Dominican University of California, San Rafael, Kalifornien (USA)

Rosemarie Tedeschi - DISAFA - Università degli Studi di Torino, Torino (Italia) // DISAFA Università degli Studi di Torino, Turin (Italien)

Hannes Schuler - Libera Università di Bozen-Bolzano, Bolzano (Italia) // Freie Universität Bozen, Bozen (Italien)

CURA E REVISIONE TESTI // BETREUUNG DER TEXTERSTELLUNG UND REVISION

Katrin Janik, Dana Barthel, Tiziana Oppedisano, Gianfranco Anfora

TRADUZIONI // ÜBERSETZUNG

(EN>IT) Mattia Tabarelli, Tiziana Oppedisano

(EN>DE) Studio Traduc - Bolzano (Claudia Lenz), Dana Barthel, Katrin Janik

COORDINAMENTO EDITORIALE // REDAKTIONELLE KOORDINATION

Erica Candioli

REALIZZAZIONE GRAFICA ESECUTIVA // GRAFISCHE UMSETZUNG

IDESIA - www.idesia.it

3

GLI INSETTI VETTORI DEGLI SCOPAZZI DEL MELO

INSEKTEN ALS ÜBERTRÄGER DER APFELTRIEBSUCHT

Tiziana Oppedisano, Gino Angeli,
Mario Baldessari, Dana Barthel, Gastone Dallago,
Stefanie Fischnaller, Claudio Ioriatti,
Valerio Mazzoni, Cecilia Mittelberger,
Sabine Öttl, Bernd Panassiti, Federico Pedrazzoli,
Omar Rota-Stabelli, Hannes Schuler,
Rosemarie Tedeschi, Tobias Weil, Gianfranco Anfora

La diffusione degli scopazzi del melo su grandi distanze

Gli scopazzi del melo rappresentano una fitopatologia descritta per la prima volta negli anni '50 in Trentino (Rui 1950). Successivamente, Bovey (1963) ne ha descritto l'epidemiologia e per primo ha associato la malattia ad alcuni insetti vettori che ne avrebbero consentito una progressiva -ma non rapida- diffusione nel territorio (Bovey 1971; Amici *et al.* 1972). Le indagini si sono immediatamente focalizzate su alcuni gruppi di emitteri, in particolare su cicaline e fulgoridi (che insieme formano il gruppo degli Auchenorrhyncha), i quali erano già stati considerati vettori di diversi altri fitoplasmi. Per questo motivo, gli Auchenorrhynchi sono stati fortemente sospettati di essere potenziali vettori dell'agente causale di AP (Kunze 1976). Sono stati quindi condotti campionamenti nei frutteti infestati e analisi molecolari sono state eseguite per trovare i vettori responsabili della malattia (Kunze 1989; Refatti *et al.* 1985; Carraro *et al.* 1988). Nei primi esperimenti di trasmissione condotti, alcune cicaline appartenenti alle specie *Artianus interstitialis* (Germar 1821) e alla spumacchina *Philaenus spumarius* (Linnaeus 1758) erano stati in grado di acquisire e trasferire l'agente causale da una pianta di sedano precedentemente infettata a diverse piantine di melo (Hegab ed El-Zohairy 1985). Tuttavia, non potendo confermare questi risultati,

Verbreitung der Apfeltriebsucht über größere Distanzen

Nach dem ersten Bericht über die Apfeltriebsucht aus den 1950er-Jahren aus der Provinz Trient (Rui 1950), war es Bovey (1963), der die Epidemiologie beschrieb und als Erster die Krankheit mit bestimmten Vektorinsekten in Verbindung brachte (Bovey 1971; Amici *et al.* 1972). Die Untersuchungen konzentrierten sich unmittelbar auf einige Gruppen von Hemiptera, insbesondere auf Zwergzikaden und Spitzkopfizikaden (gemeinsam als Auchenorrhyncha bekannt), die bereits als Vektoren mehrerer anderer Phytoplasmen galten. Aus diesem Grund standen Auchenorrhyncha Arten stark im Verdacht, potenzielle Vektoren des AP-Erregers zu sein (Kunze 1976). Es wurden Feldstudien in Apfelanlagen und molekulare Analysen durchgeführt, um die Überträger der Krankheit zu identifizieren (Kunze 1989; Refatti *et al.* 1986; Carraro *et al.* 1988). Die ersten Übertragungsversuche mit 'Ca. P. mali' deuteten darauf hin, dass zwei Zikaden, die Zwergzikade - *Artianus interstitialis* (Germar 1821) und die Xylem-saugende Schaumzikade *Philaenus spumarius* (Linnaeus 1758) - den Erreger von infiziertem Sellerie aufnehmen und auf Apfelbaum-Setzlinge übertragen konnten (Hegab und El-Zohairy 1986). Diese Erkenntnisse konnten jedoch von anderen Forschern nicht bestätigt werden (Frisinghelli *et al.* 2000).

presto i ricercatori accantonarono l'ipotesi che entrambe le specie potessero essere putativi vettori del fitoplasma di AP (Frisinghelli *et al.* 2000).

Più recentemente, sebbene diverse specie di emitteri floemomizi siano state dimostrate essere portatori occasionali di AP, solo tre specie sono state riconosciute per essere efficienti vettori del fitoplasma 'Ca. P. mali'. Queste sono rappresentate dalle psille *Cacopsylla picta* (Foerster 1848) (sinonimo di *Cacopsylla costalis* Foerster, 1848) e *Cacopsylla melanoneura* (Foerster 1848) (Hemiptera: Sternorrhyncha: Psyllidae), e dalla cicalina *Fieberiella florii* (Stål 1864) (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae) (Frisinghelli *et al.* 2000; Tedeschi *et al.* 2002; Jarausch *et al.* 2003; Tedeschi e Alma 2006; Carraro *et al.* 2008, Alma *et al.* 2015; Oppedisano *et al.* 2019b). La capacità vettoriale di queste specie è stata comprovata attraverso prove di trasmissione in laboratorio. Inoltre, come tutti i vettori di fitoplasmi, esse trasmettono 'Ca. P. mali' in maniera persistente-propagativa, conservando la potenziale capacità infettiva per tutta la vita (Weintraub e Beanland 2006). Infatti, propagativo significa che il patogeno si può moltiplicare negli insetti e, d'altra parte, persistente significa che l'insetto rimane inoculativo per tutta la vita (Fletcher *et al.* 1998).

I fitoplasmi possono essere ingeriti tramite la linfa durante le fasi di alimentazione, ma non necessariamente si moltiplicano nel corpo degli insetti. Infatti, il rilevamento dei fitoplasmi nell'insetto non è

Auch wenn sich verschiedene Phloem-saugende Hemiptera als gelegentliche Überträger von 'Ca. P. mali' herausstellten, wurden bislang nur drei Arten als Vektoren der Apfeltriebsucht bestätigt. Es handelt sich dabei um die beiden Psylliden *Cacopsylla picta* (Foerster 1848) (syn. *C. costalis*) und *Cacopsylla melanoneura* (Foerster 1848) (Hemiptera: Sternorrhyncha: Psyllidae) sowie die Kleinzikade *Fieberiella florii* (Stål 1864) (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae) (Frisinghelli *et al.* 2000; Tedeschi *et al.* 2002; Jarausch *et al.* 2003; Tedeschi und Alma 2006; Carraro *et al.* 2008; Alma *et al.* 2015; Oppedisano *et al.* 2019b). Die Fähigkeit dieser Arten 'Ca. P. mali' auf persistent-propagative Weise zu übertragen wurde in Laborversuchen nachgewiesen (Weintraub und Beanland 2006). Propagativ bedeutet, dass sich der Krankheitserreger im Insekt vermehren kann; persistent bedeutet dagegen, dass das infizierte Insekt über seine gesamte Lebensdauer infektiös bleibt (Fletcher *et al.* 1998).

Phytoplasmen können beim Saugen des Phloemsafte vom Insekt aufgenommen werden, vermehren sich in diesem aber nicht unbedingt. Deshalb gilt der Nachweis eines Phytoplasmas in einem Phloem-saugenden Insekt nicht *per se* als Beweis, dass das jeweilige Insekt auch in der Lage ist, den Krankheitserreger zu übertragen. Damit sich die Phytoplasmen im Insektenkörper vermehren können, muss das Phytoplasma vom Darmepithel in die Speicheldrüsen übergehen - ein hoch abgestimmter Prozess der bakteriellen

di per sé una dimostrazione che questo sia in grado di trasmettere l'agente patogeno. Il processo moltiplicativo nel corpo dell'insetto richiede il passaggio di fitoplasmi dall'epitelio intestinale alle ghiandole salivari, un processo di adattamento dei batteri nei confronti dell'insetto vettore (Hogenhout *et al.* 2008; Alma *et al.* 2015). Pertanto, la capacità vettoriale di un insetto nel trasmettere i fitoplasmi ingeriti può essere provata solo mediante prove di trasmissione (Bosco e Tedeschi 2013).

Biologia, ecologia e capacità vettoriale degli insetti vettori di AP

Cacopsylla picta e *Cacopsylla melanoneura*

Il genere *Cacopsylla* è, in termini numerici, il più vasto tra quelli appartenenti alla famiglia Psyllidae. Attualmente ne sono riconosciute almeno 400 specie (Ouvrard 2017), tra cui molti dei principali vettori associati a fitoplasmosi di piante da frutto (Hodkinson 1974).

Cacopsylla picta (Fig. 10) è presente in Europa e Asia Minore, mentre *C. melanoneura* (Fig. 10) ha una più ampia distribuzione in tutta la regione olopaleartica. Entrambe le specie sono univoltine, ovvero compiono una generazione per anno ed entrambe svernano allo stadio di adulto (Lauterer 1999; Mattedi *et al.* 2008d; Jarausch e Jarausch 2010; Jarausch *et al.* 2011; 2014; Tedeschi *et al.* 2012) su pian-

Anpassung an das Vektorinsekt (Hogenhout *et al.* 2008; Alma *et al.* 2015). So kann die Fähigkeit eines Insektenvektors, das aufgenommene Phytoplasma zu übertragen, nur durch Übertragungsversuche nachgewiesen werden. Dazu werden infizierte Insekten auf gesunde Wirtspflanzen aufgesetzt und anschließend wird der Infektionsstatus dieser Wirtspflanzen analysiert (Bosco und Tedeschi 2013).

Biologie, Ökologie und Übertragungsfähigkeit von Vektoren der Apfeltriebsucht

Cacopsylla picta und *Cacopsylla melanoneura*

Die Gattung *Cacopsylla* ist die größte Gattung der Familie Psyllidae mit mehr als 400 anerkannten Arten (Ouvrard 2017). Die Gattung umfasst alle bedeutenden Vektoren von Phytoplasmen, die Obstbäume infizieren können (Hodkinson 1974).

Cacopsylla picta (Abb. 10) ist in ganz Europa und Kleinasien verbreitet, während *C. melanoneura* (Abb. 10) in der gesamten Paläarktis weit verbreitet ist. Beide Arten sind univoltin, d. h. sie vollenden pro Jahr eine Generation und überwintern als Adulte auf ihrem Winterwirt (Lauterer 1999; Mattedi *et al.* 2008d; Jarausch und Jarausch 2010; Jarausch *et al.* 2011a; 2014; Tedeschi *et al.* 2012). Bei diesen Winterwirten handelt es sich hauptsächlich um Koniferen (Čermák

te rifugio, soprattutto su conifere (Čermák e Lauterer 2008; Pizzinat *et al.* 2011). Alla fine dell'inverno gli adulti migrano nuovamente dai boschi alle piante ospiti, dove si riproducono e dove si sviluppano gli stadi giovanili.

Cacopsylla melanoneura è una specie oligofaga su piante dei generi *Malus*, *Crataegus*, e occasionalmente *Pyrus*, mentre *C. picta* è strettamente monofaga su *Malus* spp. In Italia, la migrazione di *C. melanoneura* dai siti di svernamento ai frutteti è generalmente registrata tra la fine di gennaio e la metà di marzo, mentre *C. picta* migra da fine marzo ad aprile. Gli adulti di nuova generazione sviluppatasi su melo, progressivamente lasciano le piante ospiti a giugno e luglio (*C. melanoneura* e *C. picta*, rispettivamente) (Mattedi *et al.* 2008d; Tedeschi *et al.* 2012). Lo sviluppo degli stadi giovanili richiede quattro o cinque settimane e gli individui della nuova generazione rimangono nei frutteti per circa due settimane prima di migrare verso

Figura 10

Esemplare di adulto femmina di *C. picta* (adulto di nuova generazione) e di *C. melanoneura* (adulto svernante)



und Lauterer 2008; Pizzinat *et al.* 2011). Am Ende des Winters kehren die Adulten (Remigranten) auf ihre Wirtspflanze zurück, wo Paarung, Eiablage und Entwicklung der Nymphen stattfinden.

Cacopsylla melanoneura ist oligophag auf Pflanzen der Gattungen *Malus* spp., *Crataegus* spp. und gelegentlich *Pyrus* spp., wohingegen *C. picta* auf *Malus* spp. streng monophag ist. In Italien wurde zwischen Ende Januar und Mitte März der Einflug (Migration) von *C. melanoneura* von ihren Winterwirten in die Obstanlagen registriert, während *C. picta* von Ende März bis April in die Anlagen migriert. Die jungen adulten Tiere der neuen Generation (Emigranten) verlassen die Wirtspflanzen schrittweise bis Juni (*C. melanoneura*) bzw. bis Juli (*C. picta*) (Mattedi *et al.* 2008d; Tedeschi *et al.* 2012). Die Larvenentwicklung dauert vier bis fünf Wochen und die jungen Adulten bleiben etwa zwei Wochen in den Apfelanlagen, bevor sie zu ihren Winterwirten migrieren. Die jungen Adulten von *C. picta* sowie *C. melanoneura* sind hellgrün gefärbt, mit einem gelblich gestreif-

Abbildung 10

Exemplar eines adulten *C. picta* (Emigrant) und eines *C. melanoneura* (Remigrant) Weibchens

i siti di svernamento. I giovani adulti di queste psille sono di colore verde chiaro, con un mesotorace giallastro fasciato. Più avanti nella stagione, il loro colore inizia a presentare un imbrunimento con macchie giallastre-arancioni più o meno estese su tutto il corpo (Ossiannilsson 1992). Durante l'ibernazione il corpo cambia colorazione a nero-marrone (Lauterer 1999). Le ali anteriori sono incolore, ma possono presentare vene marrone scuro o nere negli esemplari più vecchi. In *C. picta*, la lunghezza complessiva dei maschi è 2,86-3,24 mm, le femmine raggiungono i 3,14-3,43 mm in lunghezza e una singola femmina depone circa 160 uova (Ossiannilsson 1992). In *C. melanoneura*, la lunghezza dei maschi è 2,52-3,10 mm, delle femmine è 2,95-3,30 mm (Ossiannilsson 1992) e ogni femmina può deporre circa 200 uova.

Il riconoscimento morfologico degli adulti di *C. melanoneura* e *C. picta* dalle altre specie del genere *Cacopsylla* è spesso difficile (Tedeschi *et al.* 2009) e spesso diventa ancora più complicato negli stadi giovanili. Per questo motivo, i ricercatori hanno sviluppato approcci molecolari che consentano la discriminazione delle diverse specie, rafforzando così la determinazione morfologica classica (Tedeschi e Nardi 2010; Oettl e Schlink 2015).

La loro distribuzione, il tasso di infezione e la capacità di trasmissione si sono però dimostrati eterogenei tra le diverse aree geografiche in cui gli scopazzi sono presenti. Nel Nord-Est Italia, in Germania e

ten Mesothorax. Später wechselt ihre Farbe zu einem schmutzigen Gelb oder Orange mit mehr oder weniger großen dunkelbraunen oder schwarzen Markierungen (Ossiannilsson 1992). Während des Überwinterns ändert sich die Körperfarbe in schwarzbraun (Lauterer 1999). Die Vorderflügel sind farblos, die Venen bei alten Exemplaren sind dunkelbraun oder schwarz, das Pterostigma ist grau-braun. Bei *C. picta* beträgt die Gesamtlänge der Männchen 2,86-3,24 mm, die der Weibchen 3,14-3,43 mm (Ossiannilsson 1992), und ein Weibchen kann etwa 160 Eier legen. Bei *C. melanoneura* beträgt die Gesamtlänge der Männchen 2,52-3,10 mm, die der Weibchen 2,95-3,30 mm (Ossiannilsson 1992), und ein Weibchen kann etwa 200 Eier legen.

Die morphologische Unterscheidung von adulten *C. melanoneura* und *C. picta* von anderen *Cacopsylla*-Arten ist schwierig (Tedeschi *et al.* 2009) und noch komplizierter während der Nymphenphase. Es wurden PCR-basierte Ansätze entwickelt, die eine Unterscheidung verschiedener *Cacopsylla*-Arten ermöglichen und somit die klassische morphologische Artenbestimmung ergänzen (Tedeschi und Nardi 2010; Oettl und Schlink 2015).

Die räumliche Verteilung, die natürliche Infektionsrate und das Übertragungspotenzial von *C. picta* und *C. melanoneura* sind in verschiedenen geografischen Regionen unterschiedlich. In Nordostitalien, Deutschland und osteuropäischen Ländern treten *C. picta* und *C. melanoneura* sympatrisch auf, d.h. die Insekten können im

altri paesi dell'Europa orientale sia *C. picta* che *C. melanoneura* vivono in simpatria, vale a dire che gli insetti possono essere presenti nella stessa area geografica ed incontrarsi, ma *C. picta* ha un ruolo più importante come vettore (Frasinghelli *et al.* 2000; Jarausch *et al.* 2003; 2004; 2007; Mattedi *et al.* 2008c; Oppedisano *et al.* 2019). Carraro *et al.* (2008) hanno dimostrato che gli adulti svernanti di *C. picta*, quando arrivano dai boschi ai frutteti, sono già infetti e Jarausch *et al.* (2011a) hanno dimostrato che questi insetti vettori rimangono infettivi durante tutta la loro permanenza nei frutteti. D'altra parte, per quanto riguarda *C. melanoneura*, Tedeschi *et al.* (2003) dopo diversi anni di studi condotti in Piemonte e Valle d'Aosta, hanno evidenziato l'importanza degli adulti svernanti come vettori, trovando una percentuale maggiore di adulti svernanti infetti rispetto agli adulti di nuova generazione.

In Germania, Jarausch *et al.* (2007; 2011a) trovarono tassi di trasmissione di 8-45 % e 0 % in adulti svernanti di *C. picta* e *C. melanoneura*, rispettivamente. Nei primi anni 2000, una serie di studi condotti in Trentino ha confermato l'efficienza di trasmissione maggiore di *C. picta* rispetto a *C. melanoneura*, con rispettivamente il 4,1 % e 0,36 % di piante risultate infette a seguito di prove di trasmissione sperimentali (Mattedi *et al.* 2008e). Dopo una recrudescenza improvvisa della malattia avvenuta in alcune aree melicole del Trentino-Alto Adige nel 2011, prove di acquisizione e trasmissione sono state nuovamente

selben geographischen Gebiet gemeinsam vorkommen, jedoch gilt *C. picta* als Hauptüberträger der Krankheit (Frasinghelli *et al.* 2000; Jarausch *et al.* 2003; 2004a; 2007; Mattedi *et al.* 2008d; Oppedisano *et al.* 2019b). Carraro *et al.* (2008) konnten zeigen, dass adulte *C. picta* (Remigranten) bereits hochinfektiös sind, wenn sie vom Winterquartier in die Apfelanlagen migrieren und Jarausch *et al.* (2011a) zeigten, dass die Vektoren während ihrer gesamten Lebensdauer in den Apfelanlagen infektiös bleiben. Tedeschi *et al.* (2003) weisen vor allem in Hinblick auf *C. melanoneura* auf die Bedeutung der Remigranten als Vektoren hin. Grund dafür sind die längere Verweildauer in den Apfelanlagen und ein höherer Anteil von infizierten Exemplaren im Vergleich zu den Emigranten, den Adulten der neuen Generation. In Deutschland, fanden Jarausch *et al.* (2007; 2011a) Übertragungsraten von 8 bis 45 % bei überwinterten Adulten von *C. picta*, jedoch 0 % bei überwinterten Adulten von *C. melanoneura*. Eine sechsjährige Studie in der Provinz Trient (Nordostitalien) bestätigte die höhere Übertragungseffizienz von *C. picta* mit 4,1 % infizierten Versuchspflanzen gegenüber *C. melanoneura* mit 0,36 % (Mattedi *et al.* 2008e). Nach einem plötzlichen Ausbruch der Krankheit, der 2011 in einigen Apfelanbaugebieten der Region Trentino-Südtirols beobachtet wurde, wurden erneut Versuche zur Aufnahme und Übertragung durchgeführt, um den neuen Übertragungsstatus der beiden Hauptvektoren zu bewerten. In allen Lebensphasen erreichte

effettuate per valutare il nuovo 'stato vettoriale' dei due vettori principali e, considerando una media tra tutti gli stadi vitali considerati, l'efficienza di trasmissione ha raggiunto l'1,5 % in *C. melanoneura* e il 10,2 % in *C. picta* (Oppedisano *et al.* 2019b). Anche altri studi hanno dimostrato che le psille del melo sono in grado di trasmettere i fitoplasmi sia come adulti sia come ninfe (Tedeschi e Alma 2004; Jarausch *et al.* 2004a; 2011; Oppedisano *et al.* 2019b).

Per quanto riguarda l'infettività naturale delle specie raccolte in campo, tassi di infezione sono risultati essere meno dell'1 % in Germania, Svizzera settentrionale e Francia orientale per *C. melanoneura* (Mayer *et al.* 2009). Questo è in contrasto con il comportamento di *C. melanoneura* nel Nord-Ovest Italia dove Tedeschi *et al.* (2003) hanno riportato che il 45 % degli individui di *C. melanoneura* raccolti in un frutteto con il 100 % di piante infette sono risultati positivi alla presenza del fitoplasma. Per *C. picta*, al contrario, il tasso di infezione naturale è risultato essere elevato in molti studi (Jarausch *et al.* 2003; 2004; Mattedi *et al.* 2007; 2008d; Carraro *et al.* 2008; Baric *et al.* 2010). Nel Nord-Est Italia, *C. picta* ha mostrato un'infezione media di 'Ca. P. mali' del 45 % negli adulti svernanti e il 14 % negli adulti di nuova generazione (Carraro *et al.* 2008).

Un fattore importante da considerare nella biologia e nelle conseguenti capacità come vettore di *C. melanoneura* è il ruolo di altre piante ospiti. Infatti, recenti studi hanno mostrato che alcune po-

die Übertragungseffizienz 1,5 % bei *C. melanoneura* und 10,2 % bei *C. picta* (Oppedisano *et al.* 2019b). Auch in anderen Studien konnte nachgewiesen werden, dass Nymphen wie auch Adulte in der Lage sind 'Ca. P. mali' zu übertragen (Tedeschi und Alma 2004; Jarausch *et al.* 2004a; 2011a; Oppedisano *et al.* 2019b).

Für *C. melanoneura* wurde in Deutschland, der Nordschweiz und Ostfrankreich eine Infektionsrate von unter 1 % festgestellt (Mayer *et al.* 2009). Im Gegensatz dazu wurden im Nordwesten Italiens für *C. melanoneura*, die in einer zu 100 % AP-infizierten Obstanlage gefangen wurden, Infektionsraten von 45 % nachgewiesen (Tedeschi *et al.* 2003). Für *C. picta* hingegen wurde in mehreren Studien eine hohe natürliche Infektionsrate dokumentiert (Jarausch *et al.* 2003; 2004a; Mattedi *et al.* 2007; 2008e; Carraro *et al.* 2008; Baric *et al.* 2010b), die beispielsweise in Nordostitalien 45 % bei überwinterten Adulten und 14 % bei jungen Adulten betrug (Carraro *et al.* 2008).

Ein weiterer bedeutender Faktor in der Biologie und der Übertragungsfähigkeit von *C. melanoneura* ist die Rolle der Wirtspflanzen. In einer Studie wurde gezeigt, dass einige Populationen von *C. melanoneura* Weißdorn (*Crataegus monogyna*) (Jacquin 1775) und einige Apfel als Wirtspflanzen bevorzugen. Es wurde daraufhin die Hypothese aufgestellt, dass diese Populationen genetisch unterschiedlich sind (Malagnini *et al.* 2013). Die deutschen *C. melanoneura* Populationen bevorzugen Weißdorn als Hauptwirt. Dies könnte die

popolazioni di questa specie preferiscono o il biancospino (*Crataegus monogyna* Jacquin 1775) come pianta ospite o il melo, lanciando l'ipotesi che queste due popolazioni potrebbero essere geneticamente separate (Malagnini *et al.* 2013). Ciò è in linea con i risultati ottenuti dopo studi analoghi in Germania, con le popolazioni tedesche di *C. melanoneura* che preferiscono biancospino come ospite primario, fatto che potrebbe spiegare la scarsa importanza di *C. melanoneura* come vettore di AP in quest'area (Mayer *et al.* 2009). Inoltre, differenze in efficienza di trasmissione dovute a differenti adattamenti tra popolazioni di psille e diversi ceppi di fitoplasma, non possono essere escluse (Tedeschi e Nardi 2010). Infatti, è stato recentemente dimostrato che esiste una correlazione genetica tra alcuni ceppi di AP e *C. picta* o *C. melanoneura*, rispettivamente (Baric *et al.* 2011a). Nonostante tutti gli esperimenti condotti negli ultimi anni, sebbene il ruolo di *C. picta* sia stato abbastanza riconosciuto, l'impatto effettivo di *C. melanoneura* nella diffusione di AP richiede ulteriori approfondimenti.

La concentrazione di fitoplasmi in un vettore di fitoplasma dipende dalla concentrazione di fitoplasmi nella pianta di origine su cui l'insetto si nutre (Tedeschi *et al.* 2012), dalla durata del periodo di acquisizione e dalla capacità del fitoplasma di moltiplicarsi all'interno del vettore (Hogenhout *et al.* 2008). Pedrazzoli *et al.* (2007) riferiscono che entrambe le psille del melo raccolte in Trentino sono in grado di

geringe Bedeutung von *C. melanoneura* als Vektor der Apfeltrieb-sucht in Deutschland erklären (Mayer *et al.* 2009). Unterschiedliche Übertragungseffizienzen durch unterschiedliche Anpassungen der Psyllidenpopulationen und bestimmter Phytoplasmenstämme können nicht ausgeschlossen werden (Tedeschi und Nardi 2010). In diesem Zusammenhang wiesen Baric *et al.* (2011a) die genetische Korrelation zwischen bestimmten Stämmen von 'Ca. P. mali' und *C. picta* bzw. *C. melanoneura* nach. In Hinblick auf *C. melanoneura* ist abschließend zu sagen, dass selbst nach all den in den vergangenen Jahren in Nordostitalien durchgeführten Versuchen der tatsächliche Einfluss auf die Verbreitung der Apfeltriebsucht noch nicht vollständig geklärt ist.

Die Phytoplasmenkonzentration in einem Insektenvektor hängt von jener in der Quellpflanze, (Tedeschi *et al.* 2012), der Dauer der Aufnahmeperiode und der Fähigkeit des Phytoplasmas, sich innerhalb des Insektenvektors zu vermehren ab (Hogenhout *et al.* 2008). Pedrazzoli *et al.* (2007) stellten fest, dass beide in der Provinz Trient gesammelten Psylliden-Vektoren ebenfalls in der Lage waren, 'Ca. P. mali' aufzunehmen, wobei allerdings *C. picta* konstant eine höhere Phytoplasmenkonzentration erreichte als *C. melanoneura*; diese Daten wurden kürzlich von Oppedisano *et al.* (2019b) bestätigt. Die Phytoplasmenkonzentration stieg bei beiden Arten signifikant an, wenn die Psylliden nach dem Sammeln bis zu vier Tage lang auf ge-

acquisire 'Ca. P. mali', ma che *C. picta* costantemente raggiunge una concentrazione superiore rispetto a *C. melanoneura*; questo risultato è stato confermato da Oppedisano *et al.* (2019b). La concentrazione di fitoplasma aumenta significativamente da uno fino a un massimo di quattro giorni in entrambe le specie poste forzatamente ad acquisire. Anche in Germania, popolazioni di *C. melanoneura* con una bassa quantità di fitoplasma rafforzano la teoria che questa specie non abbia rilevanza come vettore in quell'area (Mayer *et al.* 2009). La soglia minima di concentrazione di fitoplasma necessaria per far sì che avvenga una trasmissione efficiente può dipendere da diversi fattori come la specie o la popolazione di appartenenza, ma anche il ceppo del fitoplasma in questione.

A parte l'acquisizione attraverso l'ingestione di linfa floematica infetta, un altro modo di diffusione di AP è rappresentato dalla trasmissione transovarica o 'verticale', ovvero la trasmissione del patogeno da madri infette alla prole. Recentemente Mittelberger *et al.* (2017a) hanno dimostrato che *C. picta* riesce a trasmettere verticalmente 'Ca. P. mali'. Secondo questo studio, una soglia critica di concentrazione di fitoplasma è necessaria affinché avvenga con successo la trasmissione per via materna. Inoltre, la concentrazione di fitoplasma negli adulti di nuova generazione è risultata simile a quella degli individui parentali infetti, indicando che questi adulti infettati direttamente dalla madre possano rimanere infettivi fino al loro ri-

sunden Versuchspflanzen gehalten wurden. In den, in Deutschland vorkommenden *C. melanoneura* Populationen wurden geringere Phytoplasmenkonzentrationen nachgewiesen. Dies wird als weiterer Grund dafür angesehen, dass diese Art als Vektor der Apfeltrieb- sucht in Deutschland keine Bedeutung hat (Mayer *et al.* 2009). Die minimale Phytoplasmenkonzentration, die für eine effektive Über- tragung notwendig ist, könnte von verschiedenen Faktoren wie Psyl- lidenart, Population und Phytoplasmenstamm beeinflusst werden. Neben der Aufnahme von infiziertem Phloemsaft durch Saugen stellt die transovarische oder „vertikale“ Erregerübertragung eine weitere Form der Phytoplasmenverbreitung dar. In diesem Fall wird das Phytoplasma von mit 'Ca. P. mali' infizierten Weibchen an ihre Nachkommen weitergegeben. Mittelberger *et al.* (2017a) konnten nachweisen, dass *C. picta* 'Ca. P. mali' transovariell überträgt. Für eine Übertragung der Phytoplasmen an die *C. picta* Nachkommen muss die Phytoplasmenkonzentration einen bestimmten Schwellen- wert im Muttertier überschreiten. Darüber hinaus ist die Phytoplas- menkonzentration in Adulten der neuen Generation (Emigranten) ähnlich jener der infizierten Eltern (Remigranten). Dies deutet da- rauf hin, dass transovariell infizierte Adulte der neuen Generation genauso infektiös sind wie deren Elterntiere. Die Möglichkeit einer transovariellen Übertragung bei *C. melanoneura* wurde von Tedeschi *et al.* (2006) untersucht. Sie konnte zwar nicht nachgewiesen, aber

torno nei frutteti la primavera successiva. Al contrario, la possibilità di una trasmissione transovarica è stata studiata in *C. melanoneura* da Tedeschi *et al.* (2006) e, anche se non può essere esclusa, non è stata finora dimostrata.

Monitoraggi sistematici delle popolazioni di psille del melo e della presenza della malattia in campo vengono eseguiti ogni anno in un numero rappresentativo di meleti nelle province di Trento e Bolzano, fornendo così le informazioni di base ai servizi tecnici di consulenza per aggiornare i produttori sulle strategie di controllo più corrette. La Figura 11 rappresenta le osservazioni territoriali fatte in queste due province negli ultimi anni (modificato da Oppedisano *et al.* 2017 per i dati sul Trentino e da Fischnaller *et al.* 2017 per quelli sull'Alto Adige).

Fieberiella florii

Fieberiella florii (Stål 1864) (Fig. 12) è una cicalina a distribuzione paleartica appartenente alla sottofamiglia delle Deltocephalinae (Hemiptera: Cicadellidae). Questa specie è stata ampiamente riportata nel continente europeo nonché nel continente nordamericano, dove è una specie alloctona (van Steenwyk *et al.* 1990). Questa cicalina è una specie univoltina e sverna come ninfa su piante ospiti ornamentali come ligustro (*Ligustrum* spp.), bosso (*Buxus* spp.), mirto (*Myrtus* spp.), biancospino (*Crataegus* spp.), pyracantha (*Pyracantha* spp.), cea-

.....
auch nicht ausgeschlossen werden.

In einer repräsentativen Anzahl von Apfelanlagen der Provinzen Trient und Bozen wird jedes Jahr ein systematisches Monitoring der Psyllidenpopulationen sowie eine Erhebung des Symptomaufretens durchgeführt. Diese Überwachung liefert wichtige Erkenntnisse für die Praxis. Die Abbildung 11 stellt die territorialen Beobachtungen der letzten Jahre in diesen beiden Provinzen dar (modifiziert von Oppedisano *et al.* 2017 für Trentino und von Fischnaller *et al.* 2017 für Südtirol).

Fieberiella florii

Die Kleinzikade *Fieberiella florii* (Abb. 12) gehört zur Unterfamilie der Deltocephalinae (Hemiptera: Cicadellidae) und ist sowohl auf dem europäischen Kontinent weit verbreitet als auch in Nordamerika, wo sie eine allochthone Art ist (van Steenwyk *et al.* 1990). Diese Kleinzikade ist univoltin und überwintert als Nymphe auf Zierpflanzen wie Liguster (*Ligustrum* spp.), Buchsbaum (*Buxus* spp.), Myrte (*Myrtus* spp.), Weißdorn (*Crataegus* spp.), Feuersdorn (*Pyracantha* spp.), Säckelblumen (*Ceanothus* spp.), Zwergmispel (*Cotoneaster* spp.) und Apfel (*Malus* spp.) sowie als Eier auf Zierpflanzen und laubabwerfenden Obstbäumen (Swenson 1974). *F. florii* verfügt über zwei eigenständige farbliche Hauptmerkmale, weshalb sich die Art von allen anderen europäischen Zwergzikaden leicht unterscheiden lässt:

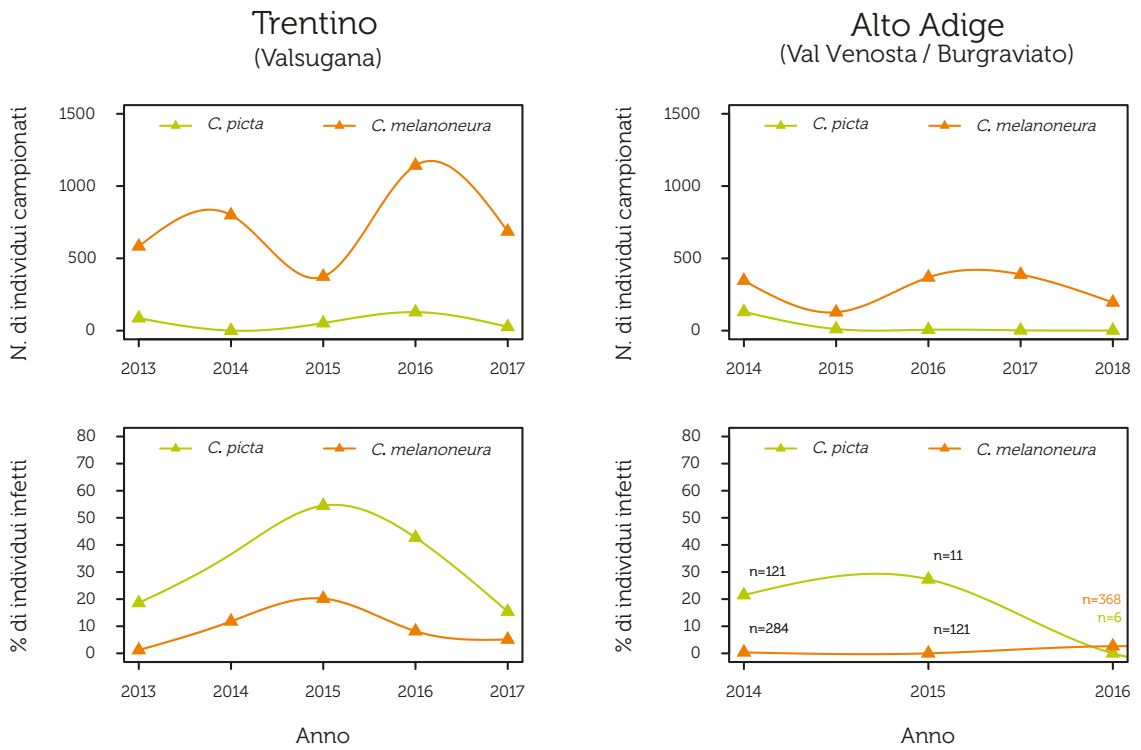
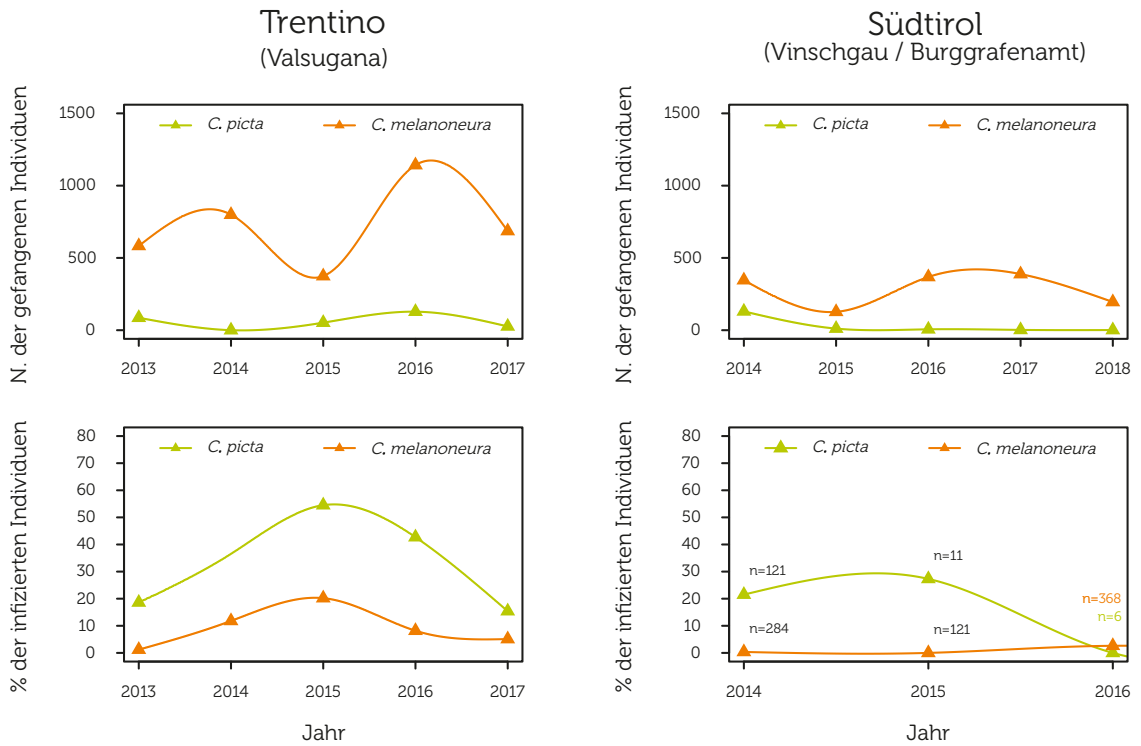


Figura 11

Densità di popolazione di psille del melo e tasso di infezione da AP in psille del melo in Trentino-Alto Adige

Abbildung 11

Populationsdichte und AP-Infektionsrate beider Apfelsylliden in der Region Trentino-Südtirol



nothus (*Ceanothus* spp.), cotonastro (*Cotoneaster* spp.), melo selvatico e melo (*Malus* spp.), ma sverna anche come uovo su piante ornamentali e alberi da frutto caducifoglie (Swenson 1974). *Fiebertella florii* ha due principali caratteri cromatici peculiari che rendono la specie facilmente riconoscibile da tutte le altre cicaline europee (congeneriche escluse): (1) una spessa striscia nera tra gli occhi all'altezza del passaggio dal vertice alla fronte e (2) una diffusa presenza di piccoli punti neri sulla parte anteriore del corpo e sulle ali posteriori, che sono entrambi prevalentemente di colore bruno con qualche macchia bianca e nera. Al contrario, le ninfe sono di un verde giallastro luminoso, dotate di numerose setole nella parte terminale dell'addome e presentano anche qui dei piccoli punti neri lungo il corpo. Gli adulti sono presenti in campo da maggio a ottobre (Swenson 1974). *Fiebertella florii* è stata riconosciuta in Nord America come uno dei più importanti vettori dell'agente delle malattie del gruppo-X ('Can-



Figura 12
Esemplare di adulto di *F. florii*

Abbildung 12
Exemplar eines adulten *F. florii*

(1) ein dicker schwarzer Streifen, der von Auge zu Auge auf Höhe des Übergangs vom Scheitelpunkt bis zum Rand verläuft, und (2) ein diffuses Auftreten von kleinen schwarzen Punkten am Vorderkörper und an den hinteren Flügeln, welche beide meist bräunlich sind, mit einigen weißen und schwarzen Flecken. Im Gegensatz dazu sind Nymphen hellgrün-gelblich gefärbt mit zahlreichen Härchen am Ende des Abdomens und weisen ebenfalls die kleinen schwarzen Punkte am ganzen Körper auf. *F. florii* kann auf zahlreichen Sträuchern und Bäumen leben, unter denen sie Rosaceae bevorzugt, wo sie auch als Nymphe überwintern kann; Adulte kommen von Mai bis Oktober vor (Swenson 1974).

In Nordamerika gilt *F. florii* als einer der wichtigsten Vektoren des *X-Disease*-Erregers ('*Ca. Phytoplasma pruni*', 16SrIII-Gruppe) (Gold und Sylvester 1982; van Steenwyk *et al.* 1990). Aufgrund seines bereits bekannten Übertragungspotenzials des *X-Disease*-Erregers wurde Ende der 1980er-Jahre auf der Grundlage von Symptomaus-

didatus Phytoplasma pruni', 16SrIII gruppo) (Gold *et al.* 1982; van Steenwyk *et al.* 1990). Dato il suo potenziale come vettore, è stata considerata alla fine degli anni Ottanta come potenziale vettore del fitoplasma del melo, sulla base dell'espressione dei sintomi e dei controlli di microscopia a fluorescenza (Krczal *et al.* 1988) dopo prove di trasmissione su piante di melo sane. Tedeschi ed Alma (2006) hanno confermato la competenza di *F. florii* nel trasmettere 'Ca. P. mali' attraverso prove di trasmissione, con una probabilità di trasmissione compresa tra 0,7 e 2,2 % da parte di un singolo campione inoculato sperimentalmente. Le analisi molecolari eseguite su individui provenienti dal campo, hanno rivelato un tasso d'infezione naturale del 5,2 % per esemplari raccolti nel meieto e del 20 % per quelli raccolti su piante selvatiche (biancospino, rovo e ligustro), più elevato rispetto ai campioni di *C. melanoneura* provenienti dalla stessa zona (Tedeschi e Alma 2006). Comunque, il rischio relativo per le piante di melo di essere infettate da *F. florii* è considerato basso poiché questa specie viene trovata nei frutteti solo occasionalmente (3-9 campioni/frutteto/settimana). Il ruolo di *F. florii* non è tuttavia da sottovalutare anche a causa della sua elevata polifagia e della sua comparsa nei meleti in un periodo in cui le psille si trovano su ospiti alternativi (a partire dalla fine di maggio fino a ottobre), ma anche perché è presente quando il titolo del fitoplasma nelle piante è più elevato (Tedeschi e Alma 2006).

prägung und Fluoreszenzmikroskopie angenommen, dass *F. florii* auch ein potenzieller Vektor von 'Ca. P. mali' sei (Krczal *et al.* 1988). Tedeschi und Alma (2006) wiesen in Übertragungsversuchen nach, dass ein einzelnes Exemplar von *F. florii* mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,7 bis 2,2 % 'Ca. P. mali' übertragen kann. Molekularbiologische Analysen von *F. florii* zeigten eine natürliche Infektionsrate von 5,2 % bei Insekten, die aus Apfelanlagen stammen, und von 20 % bei Insekten, die von Wildpflanzen (Weißdorn, Brombeersträucher, Liguster) gesammelt wurden, auf (Tedeschi und Alma 2006). Somit wies *F. florii* höhere Infektionsraten auf als aus dem gleichen Gebiet stammende *C. melanoneura*. Das Risiko, dass ein Apfelbaum durch *F. florii* infiziert wird, wird jedoch aufgrund seines geringen Vorkommens in Apfelanlagen (3-9 Exemplare/Anlage/Woche) und der relativ niedrigen Übertragungseffizienz als gering angesehen (Tedeschi und Alma 2006).

Monitoraggio degli insetti vettori

Informazioni raccolte in maniera accurata su insetti vettori e malattia costituiscono la base per comprendere pattern spaziali e dinamiche epidemiologiche, fornendo raccomandazioni in materia di gestione della malattia utili ai produttori e alle varie parti coinvolte. Per *C. picta* e *C. melanoneura*, i principali vettori di AP, le tecniche di monitoraggio comprendono: ispezione visiva, battitura delle branche (frappage), trappole cromotropiche e sweep net (retino entomologico). A seconda delle informazioni richieste (presenza, densità di popolazione, stadio di sviluppo, generazione, genere e pattern spaziali) e su che tipo di pianta bisogna campionare (pianta ospite o di rifugio), non tutti i metodi sono ugualmente adatti e spesso diverse tecniche devono essere combinate (Alma e Tedeschi 2010).

Ispezione visiva

A intervalli di 7-14 giorni, centinaia di germogli e specifici organi della pianta come rosette florali e rametti vengono selezionati in modo casuale per essere ispezionati e verificare la presenza o meno di psille (Mattedi *et al.* 2008c). L'ispezione visiva fornisce un insieme di informazioni generali circa l'abbondanza della popolazione e la composizione in termine di stadi mobili (ninfe e adulti) e uova (Tedeschi *et al.* 2009; 2012).

Insektenvektor-Monitoring

Korrekte Informationen über das Vorkommen der Insektenvektoren und der Krankheit bilden die Grundlage für das Verständnis von räumlichen Ausbreitungsmustern und Dynamiken, die Krankheitsausbrüche begünstigen könnten. Dies dient als Grundlage für Empfehlungen und Bewertungen von Schädlingsbekämpfungsstrategien. Bei *C. picta* und *C. melanoneura* zählen Sichtbonitur, Klopfrichter, Klebefallen und Netze/Kescher zu den Methoden der Befallsermittlung. Abhängig von den benötigten Informationen (Vorkommen, Dichten, Entwicklungsstadium, Generation, Geschlechterzusammensetzung und räumliche Muster) und den Pflanzen (Wirts- oder Schutzpflanzen) sind nicht alle Methoden gleichermaßen geeignet. Daher sollten verschiedene Techniken kombiniert werden (Alma und Tedeschi 2010).

Visuelle Bonitur

Im Abstand von 7-14 Tagen sollten hunderte Pflanzenorgane (wie Sprossen, Blumenrosetten und Zweige) zufällig ausgewählt und auf das Vorhandensein von Psylliden untersucht werden (Mattedi *et al.* 2008c). Die visuellen Inspektionen liefern allgemeine Informationen über die Häufigkeit und Zusammensetzung der Vektorpopulation in Bezug auf mobile Stadien (Nymphen und Erwachsene) und Eier (Tedeschi *et al.* 2009; 2012).

Battitura delle branche

La battitura delle branche (Burts e Retan 1973) (Fig. 13) è il metodo più comune per il campionamento delle psille e viene utilizzato per ottenere un valore di densità assoluta (numero di psille per filare/getto/foglia) (Tedeschi *et al.* 2009; 2012). Come regola generale, il campionamento deve essere eseguito durante le ore della giornata con più basse temperature (Horton 1999). Il metodo consiste nell'utilizzare un vassoio rettangolare (piatto o a forma di imbuto) rivestito di un apposito tessuto bianco (frappage), che bisogna tenere il più vicino possibile al di sotto della chioma della pianta (preferibilmente a meno di 20 cm) mentre con un bastone apposito si colpisce la branca con tre colpi di media intensità (Tedeschi *et al.* 2012). Il campionamento sequenziale su piante dello stesso filare dovrebbe essere evitato, poiché le piante di melo sono spesso collegate con un filo e la battitura di una pianta potrebbe provocare vibrazioni che a sua volta potreb-

Figura 13
Battitura delle branche

Abbildung 13
Klopftrichter



Klopftrichter

Klopftrichter oder auf Englisch "limb jarring" genannt (Burts und Retan 1973) (Abb. 13) ist die gebräuchlichste Methode der Psylliden-Probenahme. Mit dieser Methode können präzise Angaben zu den absoluten Populationsdichten (Anzahl der Psylliden pro Ast/Spritze/Blatt) erzielt werden (Tedeschi *et al.* 2009; 2012). Es wird empfohlen, die Probenahme von Psylliden bei niedrigeren Temperaturen durchzuführen (z. B. Horton 1999). Die Probenahme erfolgt mit einem rechteckigen Trichter aus weißem Gewebe, der möglichst nahe unter dem Ast des Apfelbaums (vorzugsweise < 20 cm) gehalten wird. Der Ast wird dreimal mittelstark geschlagen und die herunterfallenden Insekten aufgefangen (Tedeschi *et al.* 2012). Sequenzielle Stichproben von Bäumen in der gleichen Reihe sollten vermieden werden, da Apfelbäume oft mit Draht verbunden sind und das Schlagen eines Baumes Vibrationen verursacht, die wiederum die Vektorpräsenz auf einem benachbarten Baum beeinträchtigen können.

bero essere avvertite da psille presenti su pflanze limitrofe, beeinflundend cos  sul campionamento di quest'ultime.

Trappole cromotropische

Lo scopo principale per l'uso di una trappola cromotropica   il monitoraggio delle attivit  di volo di una specie. Molti fattori possono influenzare il numero di catture per trappola, come ad esempio le condizioni atmosferiche, l'altezza della trappola e la sua posizione, la dimensione e il materiale di cui   costituita. In particolare, Horton (1999) ha dimostrato che l'interazione di diversi fattori (come ad esempio le condizioni ambientali e lo stato fisiologico dell'insetto) influenzano l'attivit  di volo e di conseguenza le catture della trappola cromotropica. Mettendo a confronto diversi spettri di fluorescenza, Adams *et al.* (1983) hanno trovato che con trappole cromotropiche con uno spettro compreso tra 520-600 nm (es. trappole gialle)   stato raggiunto un numero elevato di catture delle psille del pero, mentre con trappole gialle di diverse intensit , Hall *et al.* (2010) non hanno rilevato alcuna differenza significativa nelle catture di psille. Le trappole cromotropiche gialle sono risultate un metodo di cattura efficiente sia da sole (Garcia *et al.* 2014; Mi arroy *et al.* 2016), sia in combinazione con i frappe (Tedeschi *et al.* 2002), ma anche per monitorare entrambe le popolazioni di psille che vivono nel meleto e quelle che vivono sul biancospino (Tedeschi *et al.* 2009).

Klebefallen

Klebefallen werden erfolgreich zur Überwachung der Flugaktivit t von Insekten eingesetzt. Horton (1999) zeigte jedoch, dass das Zusammenspiel verschiedener Faktoren (z. B. Umweltbedingungen, physiologischer Zustand des Insekts) die Flugaktivität beeinflusst und somit auch die Anzahl der Fänge mittels Klebfalle. Weitere Faktoren wie Wetterbedingungen, Höhe, Position, Größe und Material der Falle beeinflussen auch die Erfolgsrate von Klebefallen. Daher sollten die Ergebnisse der Befallsermittlung vorsichtig interpretiert werden. Durch den Vergleich mehrerer Fluoreszenzspektren stellten Adams *et al.* (1983) fest, dass Klebefallen mit einem Spektrum zwischen 520-600 nm (z. B. gelbe Klebefallen) die meisten Psylliden an Birnbäumen erfassen. Dagegen hat die Intensität des Gelbtones keinen entscheidenden Einfluss auf die Quantität der Fänge (Hall *et al.* 2010). Um die Populationsdynamik in Apfelanlagen zu erheben, wurden erfolgreich gelbe Klebefallen als alleinstehende Methode eingesetzt (Garcia *et al.* 2014; Mi arroy *et al.* 2016) ebenso aber auch in Kombination mit Klopfrichtern (Tedeschi *et al.* 2002). Nicht nur Apfelanlagen, sondern auch Weißdorn wurde mit gelben Klebetafeln beprobt (Tedeschi *et al.* 2009).

C. melanoneura Fänge auf gelben Klebefallen setzen sich verst rkt aus M nnchen zusammen. Dies l sst sich auf einen früheren Einflug m nnlicher Tiere in die Apfelanlage und ein aktiveres

Le trappole cromotropiche gialle generalmente catturano i maschi di *C. melanoneura* all'inizio della stagione, ovvero quando iniziano a verificarsi gli spostamenti dai siti di svernamento ai frutteti e vi è un aumento di spostamenti dovuto alla ricerca dei partner per la riproduzione, mentre registrano un'attività di volo ridotta delle femmine durante le fasi di deposizione delle uova (Tedeschi *et al.* 2002). Chireceanu e Fată (2012), tramite campionamenti con trappole cromotropiche gialle, hanno indicato un periodo di attività degli individui più lungo rispetto ai monitoraggi fatti con il frappege, questi tempi corrispondevano a 2-3 settimane per gli adulti svernanti e a 1-2 settimane per gli adulti di nuova generazione di *C. melanoneura*. Per identificare o analizzare ulteriormente gli insetti catturati, questi possono essere staccati dalle trappole collose utilizzando esano, acetone o solventi commerciali come Bio-Clear (Bio-Optica, Milano, Italia). Comunque si deve sempre tener presente che i dati ottenuti dalle trappole cromotropiche sono cumulativi (1 o 2 settimane di cattura), mentre battendo le branche vi è un dato istantaneo della cattura e, per questa ragione, non è possibile fare un confronto diretto tra i due metodi di campionamento.

Sweep-net (retino entomologico)

I campionamenti con il retino entomologico vengono periodicamente effettuati per monitorare la presenza delle psille del melo sul cotico

Partnersuchverhalten der Männchen zurückführen. Des Weiteren ist die Flugaktivität von eierlegenden Weibchen vermindert (Tedeschi *et al.* 2002). Chireceanu und Fată (2012) zeigten, dass mittels gelben Klebefallen eine länger anhaltende Aktivität von *C. melanoneura* Adulten nachgewiesen werden konnte als mittels Klopfrichter: überwinterte Adulte wurden 2 bis 3 Wochen und junge Adulte der neuen Generation 1 bis 2 Wochen länger in den Anlagen gefunden. Zur taxonomischen Identifizierung oder Konservierung für weitere Analysen können gefangene Insekten mit Hexan, Aceton oder handelsüblichen Lösungsmitteln wie Bio-Clear (Bio-Optica, Mailand, Italien) von Klebefallen abgelöst werden. Es sollte darauf hingewiesen werden, dass die durch gelbe Klebefallen gewonnenen Daten kumulativ sind (1 oder 2 Wochen der Erfassung), während die Probenahme mittels Klopfrichter Stichproben liefert. Ein direkter Vergleich von Ergebnissen, die mit unterschiedlichen Methoden erhoben wurden ist daher nicht möglich.

Netz/Kescher

Regelmäßig werden Psylliden zu Forschungszwecken mit dem Kescher gefangen, um so deren Präsenz auf dem Unterwuchs in Apfelanlagen zu überwachen. Eine Untersuchung von Forno *et al.* (2002) wurde in drei aufeinander folgenden Jahren mit 50 Schlägen pro Obstanlage durchgeführt. Die Autoren dieser Studie berichteten,

erboso all'interno dei frutteti (Forno *et al.* 2002). Dopo aver effettuato campionamenti di questo tipo per tre anni consecutivi su 50 sfalci con il retino per frutteto, è stato riportato che le specie di psille rinvenute sul cotico erboso tra i filari sono le stesse catturate sulle vicine piante di melo. Inoltre esse non vengono più catturate sulle piante erbacee e non lasciano progenie su tali piante fino al volo per lasciare i meli. Il retino entomologico viene anche utilizzato per campionare le psille sulle conifere durante il periodo di svernamento. Per questo scopo viene utilizzato un retino con un manico allungabile, necessario per raggiungere le parti più alte delle piante in cui risiedono le psille (Čermák e Lauterer 2008; Pizzinat *et al.* 2011) (Fig. 14).

Ispezioni visive, battitura delle branche e retino entomologico consentono di catturare insetti viventi che possono essere utilizzati in ulteriori esperimenti (per esempio prove di trasmissione) e/oppure analisi molecolari.



Figura 14

L'uso di un retino entomologico in inverno

Abbildung 14

Gebrauch eines entomologischen Netzes mit Teleskopgriff

dass in den Apfelanlagen die gleichen Psyllidenarten wie im Unterwuchs in benachbartem Gestrüpp gefunden wurden. Es konnte jedoch nicht nachgewiesen werden, dass die Psylliden auch Nachkommen auf dem Unterwuchs produzierten. Der Kescher wird auch verwendet, um das Vorkommen von *Cacopsylla* auf Koniferen, dem Winterwirt, zu untersuchen; diese Art des Monitorings wird während der Überwinterung wie auch während der Übersommerung durchgeführt. Zu diesem Zweck ist ein Kescher mit Teleskopgriff erforderlich, um auch höhere Bereiche in der Baumkrone zu erreichen (Čermák und Lauterer 2008; Pizzinat *et al.* 2011) (Abb. 14).

Mittels Sichtbonituren, Klopfrichter und Kescher werden Insekten lebend gefangen. Diese können dann für weitere Versuche (z.B. Übertragungsversuche) und molekularbiologische Analysen verwendet werden.

Strategie di controllo dei vettori

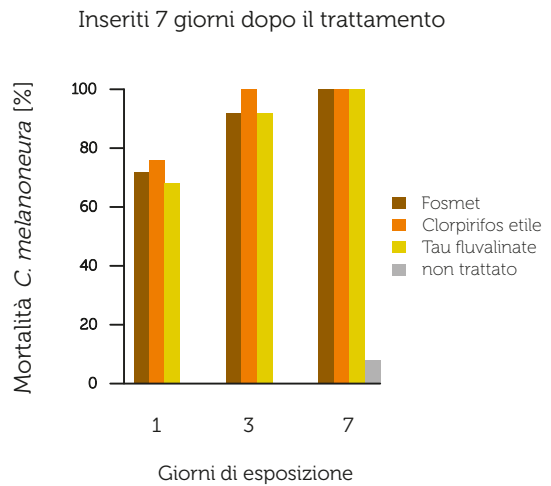
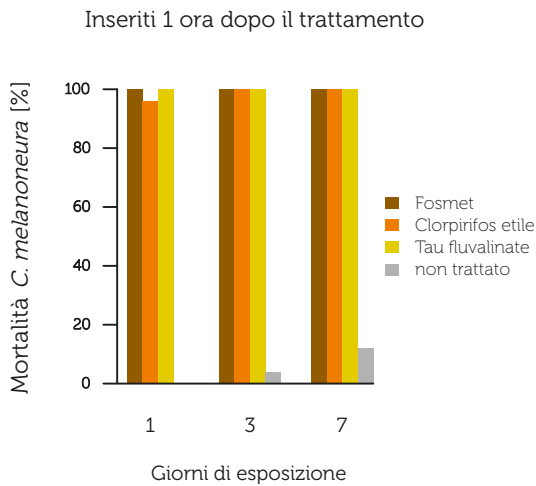
La scoperta che le psille fossero i vettori del fitoplasma del melo ha cambiato la gestione del meleto in termini di trattamenti. Le specie *C. picta* e *C. melanoneura*, precedentemente trascurate, sono state spostate al centro dell'attenzione dei coltivatori, che hanno cominciato a combatterle con ripetuti trattamenti chimici (Jarausch e Torres 2014). La lotta contro i vettori e l'estirpo di piante infette ha portato ad un abbattimento delle popolazioni delle psille e a una diminuzione di presenza degli scopazzi in diverse regioni.

Baldessari *et al.* (2017) hanno rivelato l'efficacia di diversi insetticidi contro gli psillidi svernanti vettori di AP. Tali autori hanno documentato la caratterizzazione di agrofarmaci per quanto riguarda l'efficacia e la persistenza dei loro principi attivi allo scopo di sostituire quelli con un profilo eco-tossicologico sfavorevole. Per questo scopo, sono state svolte nel corso degli anni prove di pieno campo e di semi-campo valutando una quindicina di principi attivi a differenti tempistiche di trattamento, tra cui alcuni formulati in via di registrazione. Le figure 15 e 16 riassumono i risultati ottenuti con alcuni prodotti selezionati nelle prove di semi-campo del 2015. In questo caso, dai risultati si evince che per entrambe le specie tutti gli insetticidi causano un elevato tasso di mortalità delle forme svernanti anche a sette giorni dopo l'esposizione, manifestando quindi una

Strategien zur Vektorbekämpfung

Schwere Ausbrüche der Apfeltriebsucht in ganz Europa erhöhten den Handlungsdruck auf die Obstbauern. Nachdem die beiden Hauptvektoren identifiziert wurden, konnten Strategien zur Bekämpfung der Schädlinge entwickelt werden. Die bislang vernachlässigten Insekten *C. picta* und *C. melanoneura* rückten in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit der Obstbauern und diese begannen, Pflanzenschutzmittel zur Eindämmung einzusetzen (Jarausch und Torres 2014). Die Bekämpfung der Vektoren führte zu einem Rückgang der Psyllidenpopulationen. Eine Strategie zur Eindämmung des Pathogens ist die Rodung infizierter Pflanzen, was zu einem Rückgang des Apfeltriebsucht-Befalls in den verschiedenen Regionen führte.

Baldessari *et al.* (2017) untersuchten die Effizienz mehrerer Insektizide gegen überwinterte Adulte der Apfelsylliden. Sie charakterisierten die Wirkstoffe hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Persistenz mit dem Ziel, Alternativen für handelsübliche Substanzen mit ungünstigem ökotoxikologischem Profil zu finden. Zu diesem Zweck wurden im Laufe der Jahre Vollfeld- und Halbfeldtests durchgeführt. Bei diesen Tests wurden etwa 15 Wirkstoffe zu verschiedenen Behandlungszeitpunkten bewertet, darunter auch einige Mittel mit neuen Formulierungen. Die Abbildungen 15 und 16 fassen die Ergebnisse



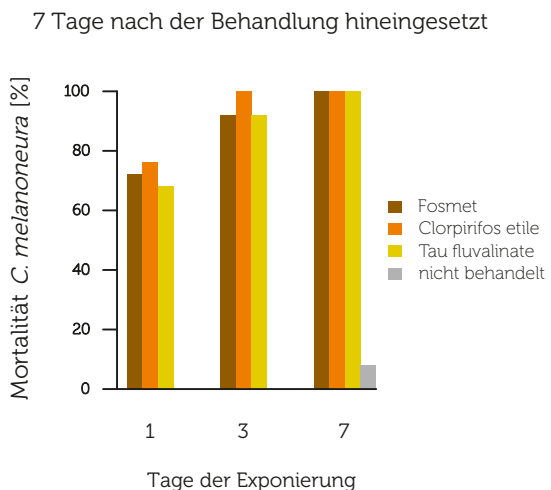
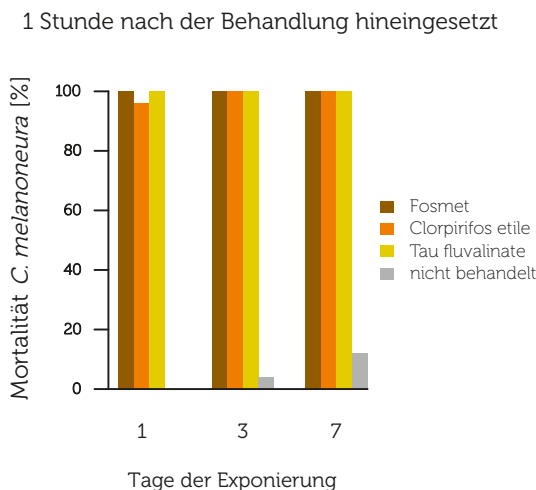
buona persistenza. Inoltre, gli agrofarmaci sono stati validati anche in termini di selettività culturale ed effetti collaterali nei confronti degli organismi utili.

Un approccio alternativo è rappresentato dall'uso di particelle inerti, come il caolino, che agiscono creando un film sulla superficie vegetale che inibisce l'alimentazione e lo spostamento degli insetti sulle piante, e in seconda misurazione, impedisce la trasmissione di agenti pa-

Figura 15
Mortalità di adulti svernanti di *C. melanoneura* (%) inseriti un'ora e sette giorni dopo il trattamento con diversi insetticidi e persistenza valutata a uno, tre e sette giorni di esposizione

zusammen, die in einigen ausgesuchten Semi-Feldversuchen in der Provinz Trient durchgeführt wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass alle getesteten Insektizide bei *C. picta* und *C. melanoneura* Remigranten auch sieben Tage nach Behandlung zu einer hohen Mortalität führen. Darüber hinaus wurden diese Agropharmazeutika auch in Bezug auf ihre Anwendbarkeit und die Nebenwirkungen auf Nützlinge validiert.

Abbildung 15
Mortalität von überwinterten Adulten (%) von *C. melanoneura*, die eine Stunde und sieben Tage nach der Behandlung von Apfelpflanzen mit diversen Insektiziden aufgesetzt wurden und die Persistenz wurde nach ein, drei und sieben Tagen aufgenommen



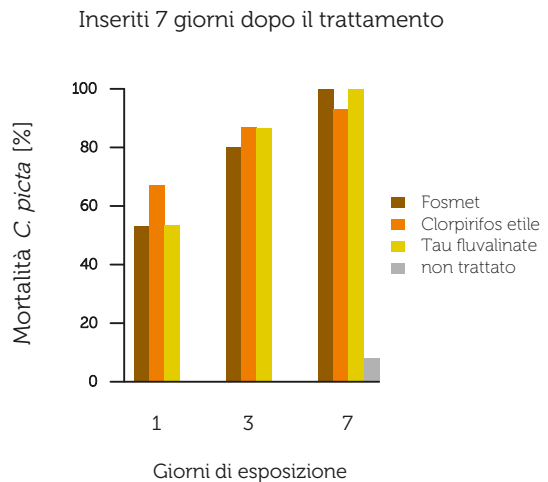
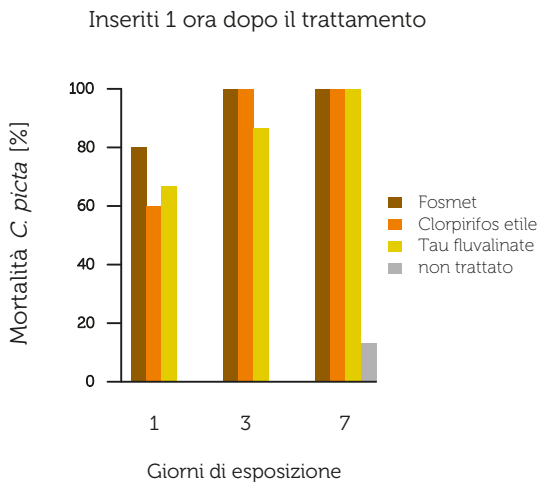
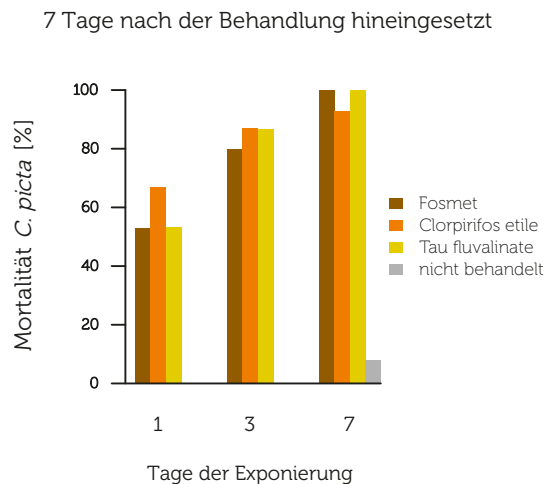
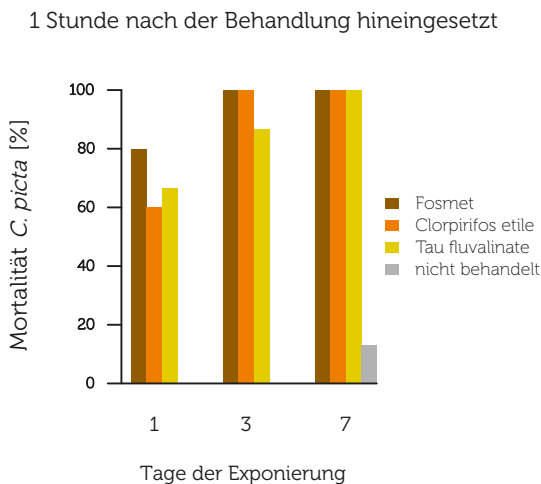


Figura 16
Mortalità di adulti svernanti di *C. picta* (%) inseriti un'ora e sette giorni dopo il trattamento con diversi insetticidi e persistenza valutata a uno, tre e sette giorni di esposizione

togeni tramite insetti vettori. L'uso del caolino era già stato proposto come alternativa agli insetticidi ad ampio spettro utilizzati contro la psilla del pero *C. pyri* (Pasqualini *et al.* 2002; Daniel *et al.* 2005; Eler e Cetin 2007; Saour *et al.* 2010) e la sua efficacia è stata dimostrata contro *C. melanoneura* (Tedeschi *et al.* 2007a; 2007b). Trattamenti con caolino nel tardo inverno hanno ridotto sensibilmente il numero di uova deposte e di conseguenza di ninfe sviluppate. Inoltre, deve

Abbildung 16
Mortalität von überwinterten Adulten (%) von *C. picta*, die eine Stunde und sieben Tage nach der Behandlung von Apfelpflanzen mit diversen Insektiziden aufgesetzt wurden und die Persistenz wurde nach ein, drei und sieben Tagen aufgenommen

Ein alternativer Ansatz zur Reduktion von Psyllidenpopulationen in den Anlagen besteht in der Verwendung eines Repellents, wie z.B. Kaolin. Durch die Bildung eines Kaolin-Films werden die Schädlinge daran gehindert, an der Pflanze zu saugen oder sich auf der Pflanze zu bewegen. Durch den eingeschränkten Kontakt zwischen Insekt und Pflanze wird auch die Übertragung des Pflanzenpathogens verhindert. Verarbeitetes Kaolin wurde bereits als Alternative



essere tenuto in conto il fatto che le particelle di caolino non sono un insetticida, ma un coadiuvante e per questo motivo può essere utilizzato anche in agricoltura biologica.

Negli ultimi anni c'è stato un particolare interesse per le strategie di controllo innovative basate sullo sviluppo di trappole specie-specifiche per il monitoraggio e la cattura massale di diverse specie di insetti vettori di fitoplasmi di piante da frutto, tra cui *C. melanoneura* e *C. picta* (Jarausch e Torres 2014). In particolare, nel sistema AP, l'infezione prodotta dalle piante infette è attrattivo per entrambi i sessi degli psillidi, per cui potrebbe essere possibile sviluppare sistemi di cattura di massa per un controllo sostenibile dei vettori. Inoltre, per *C. melanoneura* potrebbero essere identificati composti volatili che modificano il comportamento, ma ad oggi quelli conosciuti non sono specie-specifici. La possibilità di combinare composti attrattivi da utilizzare nelle trappole come esche artificiali per il monitoraggio e per la cattura di massa con composti repellenti da utilizzare in complesse strategie push-and-pull è promettente (Eben e Gross 2013).

zu Breitbandinsektiziden gegen den europäischen Birnenblattsauer *C. pyri* eingesetzt (Pasqualini *et al.* 2002; Daniel *et al.* 2005; Erler und Cetin 2007; Saour *et al.* 2009) und seine Wirksamkeit wurde auch gegen *C. melanoneura* nachgewiesen (Tedeschi *et al.* 2007a; 2007b). Spätwinterliche Behandlungen mit Kaolin konnten die Anzahl der gelegten Eier und damit die Anzahl der Nymphen reduzieren. Da Kaolin kein Insektizid, sondern ein Adjuvans (Hilfsstoff) ist, kann es auch im ökologischen Landbau eingesetzt werden.

Seit einigen Jahren hat sich das Interesse an innovativen Bekämpfungsstrategien verstärkt. Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung von artenspezifischen Fallen für *C. melanoneura* und *C. picta*, die zum Monitoring und zum Massenfang eingesetzt werden können (Jarausch und Torres 2014). Insbesondere im Pathosystem der Apfeltriebsucht sind pflanzliche Pheromone (gebildet von infizierten Bäumen) für beide Geschlechter der Psylliden attraktiv, sodass es möglich sein könnte Massenfangsysteme für eine nachhaltige Vektorkontrolle zu entwickeln. Auch für *C. melanoneura* konnten potenziell verhaltensändernde Wirkstoffe identifiziert werden, die allerdings nicht artspezifisch sind. Die Möglichkeit Lockstoffe mit Repellents als Push-Pull-Strategie zu kombinieren ist vielversprechend (Eben und Gross 2013).

Sviluppo di strategie di controllo sostenibili

Controllo biologico: microrganismi simbiotici e trasmissibilità del patogeno

I batteri sono microrganismi ubiquitari in tutti gli insetti e possono influenzare drammaticamente l'ecologia del loro ospite (Dale e Moran 2006). Le conseguenze di queste interazioni possono variare in un continuum che va dal mutualismo al parassitismo. Ad un estremo, endosimbionti primari possono influire positivamente sulla fitness del loro ospite fornendo nutrienti essenziali o proteggendoli dai parassiti. La maggior parte di questi simbiotici sono quindi necessari per lo sviluppo dei loro ospiti (Douglas 2016). All'altro estremo, i simbiotici secondari possono influire negativamente sulla fitness dei loro ospiti (Engelstädter e Hurst 2009). Essendo ereditati maternamente, essi possono modificare la riproduzione dei loro ospiti attraverso le femmine per migliorare la propria fitness (Werren *et al.* 2008). Questi endosimbionti di solito non sono richiesti dall'ospite per sopravvivere, e nella maggior parte dei casi hanno un impatto negativo sulla sua fitness (Douglas 2011).

L'adattamento a specifiche piante ospiti deriva da carenze nutrizionali che devono essere compensate da simbiotici obbligati che forniscono sostanze nutritive mancanti. Pertanto, gli endosimbionti

Entwicklung nachhaltiger Kontrollstrategien

Biologische Kontrolle: mikrobielle Symbionten und ihre Rolle bei der Phytoplasmen übertragung

Mikroorganismen sind bei Insekten allgegenwärtig und können die Ökologie ihres Wirtes stark beeinflussen (Dale und Moran 2006). Die Folgen dieser Wechselwirkungen reichen von Mutualismus bis Parasitismus. Im Extremfall können primäre Endosymbionten die Fitness ihres Wirtes durch die Bereitstellung essentieller Nährstoffe positiv beeinflussen oder vor Parasiten schützen. Die meisten dieser Endosymbionten werden daher für die Entwicklung ihrer Wirte benötigt (Douglas 2016). Auf der anderen Seite können sekundäre Endosymbionten die Leistungsfähigkeit ihrer Wirte negativ beeinflussen (Engelstädter und Hurst 2009). Durch maternale Vererbung modifizieren sie die Reproduktion ihrer Wirte dahin, dass die Nachkommen weiblich sind, um ihre eigene Leistungsfähigkeit zu verbessern (Werren *et al.* 2008). Diese Endosymbionten werden vom Wirt in der Regel nicht benötigt und wirken sich in den meisten Fällen negativ auf seine Leistungsfähigkeit bzw. Fitness aus (Douglas 2011). Die Anpassung an bestimmte Wirtspflanzen führt zu Ernährungsmängeln, die durch obligate Endosymbionten ausgeglichen werden müssen, indem die Endosymbionten die fehlenden, aber essentielle

primari sono ubiquitari nelle specie erbivore di emitteri e forniscono nutrienti essenziali che mancano nella fonte alimentare (Baumann 2005). Il gammaproteobatterio *Carsonella ruddii* è un endosimbionte primario che sembra essere presente in tutte le specie di psillidi (Thao *et al.* 2000). Poiché le psille si nutrono di linfa ricca di zuccheri e povera di aminoacidi, questo endosimbionte sintetizza i nutrienti essenziali mancanti nella loro dieta (Baumann 2005). Inoltre, molte psille sono infettate da vari endosimbionti secondari con ruoli funzionali sconosciuti (Sloan e Moran 2012).

L'impatto degli endosimbionti sugli ospiti offre la possibilità di sfruttare le caratteristiche al fine di sviluppare strumenti per il controllo degli insetti parassiti. Gli endosimbionti possono essere utilizzati per influenzare negativamente la fitness dell'ospite o per ridurre l'efficacia come vettore della malattia (Arora e Douglas 2017). Ad esempio, l'endosimbionte *Wolbachia* ha dimostrato di essere in grado di ridurre direttamente le popolazioni di insetti dannosi e di impedire la replicazione dei virus all'interno dei suoi vettori (McGraw e O'Neill 2013). Zanzare infette da *Wolbachia* sono attualmente in fase di rilascio sul campo per sopprimere la trasmissione della dengue (Hoffmann *et al.* 2011). La diversità degli endosimbionti presenti nelle specie vettori di fitoplasmi offre un'interessante opportunità per studiare i meccanismi di controllo della trasmissione dei fitoplasmi basati sulla simbiosi (Alma *et al.* 2009).

Nährstoffe liefern. Daher sind primäre Endosymbionten in pflanzenfressenden Hemiptera-Arten allgegenwärtig (Baumann 2005). Das Gammaproteobakterium *Carsonella ruddii* ist ein primärer Endosymbiont, der in allen Arten von Psylliden vorhanden zu sein scheint (Thao *et al.* 2000). Da sich Psylliden von zuckerreichem, aber amino-säurearmem Phloem-Saft ernähren, synthetisiert dieser Endosymbiont essentielle Nährstoffe, die in der Insektennahrung fehlen (Baumann 2005). Darüber hinaus sind viele Psylliden von verschiedenen sekundären Endosymbionten mit bisher unbekanntem funktionellen Rollen infiziert (Sloan und Moran 2012).

Die Auswirkungen von Endosymbionten auf ihre Wirte bieten die Möglichkeit von symbiont-basierter Strategie zur Bekämpfung von Schädlingen. Endosymbionten können verwendet werden, um die Leistungsfähigkeit des Wirtes negativ zu beeinflussen oder seine Übertragungsfähigkeit von Krankheiten zu reduzieren (Arora und Douglas 2017). So hat sich beispielsweise gezeigt, dass der Endosymbiont *Wolbachia* in der Lage ist, die Abundanz von Schädlinginsekten zu verringern und Viren an ihrer Replikation im Vektor zu hindern (McGraw und O'Neill 2013). Mit *Wolbachia* infizierte Stechmücken werden zurzeit im Feld ausgebracht, um die Übertragung von Dengue-Erregern zu hemmen (Hoffmann *et al.* 2011). Die Vielfalt der Endosymbionten in den Insektenvektoren bietet eine interessante Möglichkeit, symbiont-basierte Kontrollmechanismen der Phyto-

Studi di trascrittomica e metabolomica sono stati condotti per determinare le interazioni tra 'Ca. P. mali' ed il suo vettore *C. melanoneura* (Weil *et al.* in preparazione). È stato scoperto che il patogeno è in grado di interferire sul comportamento dell'ospite, influenzando prevalentemente il funzionamento del sistema nervoso e dei ritmi endogeni. Inoltre, analisi metaboliche hanno rivelato una significativa alterazione dei livelli di carboidrati e polioli in seguito all'infezione di 'Ca. P. mali', determinando così uno squilibrio metabolico nell'insetto. Tali risultati suggeriscono che l'infezione di 'Ca. P. mali' può avere un impatto rilevante sulla fisiologia e sul comportamento dell'insetto vettore, e di conseguenza anche sulla sua capacità di trasmettere il fitoplasma. Quindi una conoscenza approfondita delle complesse dinamiche che regolano il sistema pianta-vettore-patogeno potrebbe aprire la strada allo sviluppo di innovative strategie di controllo biologico della malattia degli scozzesi del melo.

Controllo biotecnologico: la comunicazione intraspecifica e interspecifica

Segnali chimici, acustici e visivi possono essere usati dagli insetti per scambiare informazioni o coordinare complessi comportamenti di corteggiamento (Lubanga *et al.* 2016). È stato solo in tempi relativamente recenti che segnali chimici intraspecifici, sono stati descritti

plasmenübertragung zu untersuchen (Alma *et al.* 2010). Mittels transkriptomischer und metabolomischer Ansätze wurden die Auswirkungen einer 'Ca. P. mali' Infektion auf die Physiologie von *C. melanoneura* untersucht (Weil *et al.*, i. Vorb.). Es wurde festgestellt, dass der Erreger in der Lage ist, rhythmische Prozesse zu modulieren, vor allem durch die Beeinflussung der Leitbahnen des Nervensystems, wobei er auf Eigenschaften abzielt, die mit Phototransduktion, Fortbewegung, Stoffwechsel und Keimzellenentwicklung verbunden sind. Darüber hinaus zeigten Stoffwechselanalysen, dass sich der Kohlenhydrat- und Polyolspiegel bei einer 'Ca. P. mali' Infektion erheblich verändert und zu einem metabolischen Ungleichgewicht im Insekt führt. Diese Veränderung hängt wahrscheinlich mit einer Änderung des Verhaltens und der Fähigkeit zur Übertragung des Phytoplasmas zusammen. Diese Ergebnisse verdeutlichen die Komplexität der Dynamik dieses Pflanzen-Vektor-Erregersystems und können den Weg für die Entwicklung neuartiger biologischer Strategien zur Bekämpfung der Apfeltriebsucht ebnen.

Biotechnologische Kontrolle: intraspezifische und interspezifische Kommunikation

Insekten können chemische, visuelle und akustische Modalitäten nutzen um Informationen auszutauschen und komplexe Balzverhalten zu koordinieren (Lubanga *et al.* 2016). Männchen verschiedener

per avere un ruolo nell'attrazione sessuale delle psille (feromoni sessuali) (Soroker *et al.* 2004). Ad oggi, si è dimostrato che i maschi di quattro specie di psille vengono attratti da semiochimici prodotti dalle femmine, tra queste specie ci sono *Cacopsylla bidens* (Šulc 1907), *Cacopsylla pyricola* (Förster 1948), *Bactericera cockerelli* (Šulc 1909) e *Diaphorina citri* (Kuwayama 1908). Per esempio, Guédot *et al.* (2009) hanno trovato che le femmine di *C. pyricola* producono grandi quantità di 13-metilheptacosane, che è attrattivo per i maschi sia in laboratorio che attraverso prove in campo. Questo ha fornito la prima evidenza che i feromoni sessuali di una femmina sono capaci di attrarre maschi di psille da piante ospiti limitrofe. Utilizzando un approccio simile, l'acido dodecanoico è stato identificato come semiochimico della femmina attrattivo per il maschio di *D. citri* (Mann *et al.* 2013). Dopo la ricerca e le attività di riconoscimento, il corteggiamento è generalmente breve e sembra essere mediato da una combinazione di idrocarburi epicuticolari e segnali vibrazionali diffusi via substrato.

Come accennato precedentemente, anche per quanto riguarda la comunicazione interspecifica, *C. picta* e *C. melanoneura* utilizzano segnali chimici volatili per l'identificazione delle loro piante ospiti (Gross 2011). Inoltre, 'Ca. P. mali' ha evoluto meccanismi di manipolazione della fisiologia della pianta ospite e indirettamente del comportamento del vettore attirando maggiormente *C. picta* su

Psyllidenarten werden von den von Weibchen produzierten Botenstoffen angezogen, dies wurde bei *Cacopsylla bidens* (Šulc 1907), *Cacopsylla pyricola* (Förster 1848), *Bactericera cockerelli* (Šulc 1909) und *Diaphorina citri* (Kuwayama 1908) beobachtet. So produzieren beispielsweise die Weibchen von *C. pyricola* deutlich größere Mengen an 13-Methylheptacosan als Männchen. 13-Methylheptacosan ist eine chemische Verbindung, die als Lockstoff für Männchen bekannt ist (Guédot *et al.* 2009). Dies war der erste Nachweis eines weiblichen Pheromons, das männliche Psylliden von benachbarten Wirtspflanzen anlockt. Mit einem ähnlichen Ansatz wurde Dodekansäure als Botenstoff der Weibchen identifiziert, welcher männliche *D. citri* anlockt (Mann *et al.* 2013). Nach dem Suchen und Erkennen ist die Balz in der Regel kurz. Vermutlich werden eine Kombination aus epikutikulären Kohlenwasserstoffen und substratgebundenen Schwingungssignalen zur Werbung eingesetzt. Erst seit kurzem weiß man, dass intraspezifische semiochemische Signale eine Rolle bei der Partnersuche von Psylliden spielen (Soroker *et al.* 2004).

Ähnlich wie bei interspezifischer Kommunikation reagieren *C. picta* und *C. melanoneura* auf chemische Reize zur Identifizierung ihrer Wirtspflanzen (Gross 2011). Darüber hinaus hat 'Ca. P. mali' Mechanismen entwickelt, die nicht nur die Pflanzenphysiologie, sondern auch indirekt das Vektorverhalten manipulieren. Infizierte Pflanzen werden auf diese Weise attraktiver für *C. picta* (Mayer *et al.*

piante infette per scopi alimentari (Mayer *et al.* 2008a; 2008b). Questo fenomeno di coevoluzione aumenta la probabilità di acquisizione del fitoplasma da parte del vettore e successivamente la sua diffusione. Al contrario, *C. picta* preferisce ovideporre su piante sane, forse a causa di effetti negativi dei fitoplasmi sullo sviluppo della prole (Mayer *et al.* 2011). Il principale composto volatile responsabile dell'attrazione del vettore su piante infette è stato identificato come β -cariofillene - un sesquiterpene. Ora è in fase di valutazione per lo sviluppo di trappole utili per monitoraggio e/o cattura massale (Weintraub e Gross 2013). Al contrario, *C. melanoneura* sembra non reagire alla presenza di questo composto sesquiterpene (Eben e Gross 2013).

I segnali acustici tra insetti possono essere suddivisi in due categorie a seconda del mezzo di trasmissione: segnali via aerea (es. Cicadoidea, Grylloidea, Tettigoniidae) e segnali provenienti dal

Figura 17

Indagine al microscopio elettronico a scansione (SEM) su femmina di *C. melanoneura*
 A) torace e creste ascellari dell'ala posteriore (axc2, axc3), mesopostnotum (pnt2);
 B) particolare della cresta ascellare B;
 C) particolare dell'ala posteriore (A2)
 (R. Kostanjšek/T. Oppedisano)

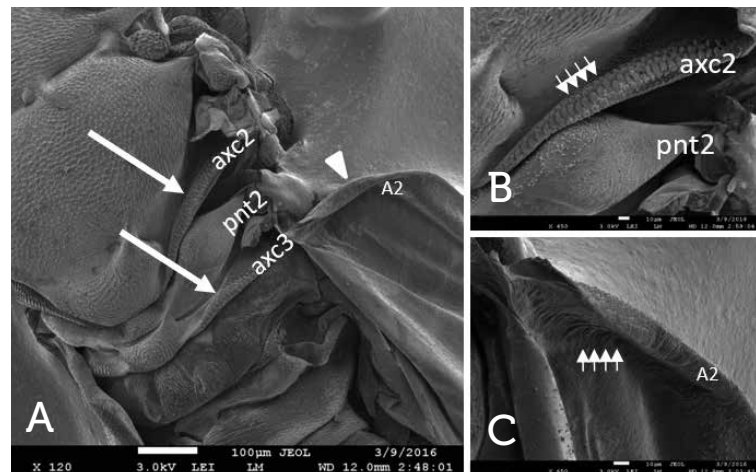


Abbildung 17

Rasterelektronenmikroskopische (REM) Untersuchung eines *C. melanoneura* Weibchens
 A) Thorax und Käämme in der Achsel des Hinterflügels (axc2, axc3), Mesopostnotum (pnt2);
 B) Details der Käämme in der Achsel B;
 C) Detail der Hinterflügel (A2)
 (R. Kostanjšek/T. Oppedisano)

2008a; 2008b). Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit das Insekten sich infizieren und sich dadurch '*Ca. P. mali*' schneller ausbreiten kann. Im Gegensatz dazu bevorzugt *C. picta* die Eiablage an gesunden Bäumen, vielleicht aufgrund der schädlichen Auswirkungen der Phytoplasmen auf die Nachkommen (Mayer *et al.* 2011). Das wichtigste Volatil, welches mittels Headspace-Analyse aus Proben von infizierten Bäumen identifiziert wurde, ist das Sesquiterpen β -Caryophyllen. Es macht infizierte Bäume für den Vektor attraktiv. Derzeit wird β -Caryophyllen für die Entwicklung von Fallen zum Monitoring und/oder des Massenfangs getestet (Weintraub und Gross 2013). Jedoch reagierte *C. melanoneura* nicht auf dieses Sesquiterpen (Eben und Gross 2013).

Akustische Signale unter Insekten können je nach Übertragungsmedium in zwei Kategorien eingeteilt werden: Luftsignale (z. B. Cicadoidea, Grylloidea, Tettigoniidae) und substratgebundene Schwingungssignale (z. B. Psylloidea, Chrysopidae) (Liao und Yang 2015). Psylloidea nutzen substratgebundene Signale während der Paarung

substrato solido (es. Psylloidea, Chrysopidae) (Liao e Yang 2015). Nella superfamiglia Psylloidea, i segnali provenienti dal substrato svolgono una funzione per accoppiamento e riconoscimento specifico. Maschi e femmine di psille di solito eseguono duetti reciproci durante il corteggiamento (Tishechkin 2005; Percy *et al.* 2006; Eben *et al.* 2014; Liao e Yang 2015). Le psille infatti sono in grado di produrre vibrazioni spostando rapidamente le ali che presentano una fila di creste a ridosso della vena anale, che sfregano contro delle strutture simili a creste presenti in sporgenze su meso- e meta-torace (Taylor 1985) (Fig. 17).

Le caratteristiche del segnale, come lunghezza di chiamata, numero di impulsi e latenza di risposta, sono utilizzati per il riconoscimento di specie e di genere (Lubanga *et al.* 2014). Recentemente, sono stati registrati i primi segnali di comunicazione vibrazionale emessi durante il corteggiamento dalle due psille del melo (Oppedisano *et*

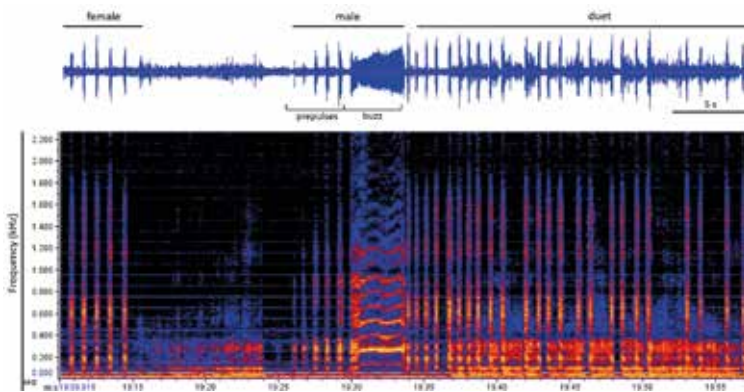


Figura 18

Spettrogramma dei segnali vibrazionali di *C. picta* registrati durante il corteggiamento. Il segnale femminile è una sequenza di impulsi; il segnale maschile consiste in una serie di preimpulsi e un ronzio

Abbildung 18

Aufgezeichnetes Spektrogramm der Schwingungssignale von *C. picta* während des Balzverhaltens. Das weibliche Signal ist eine Abfolge von Impulsen; das männliche Signal besteht aus einer Reihe von Vorimpulsen und einem Summen

und zur Art spezifischen Erkennung. Die männlichen und weiblichen Psylliden führen in der Regel wechselseitige Duette während des Balzens durch (Tishechkin *et al.* 2006; Percy *et al.* 2006; Eben *et al.* 2015; Liao und Yang 2015). Psylliden können durch schnelle Bewegungen ihrer Vorderflügel, die mit einer einzelnen Reihe von Kämmen auf der Analvene bestückt sind, Vibrationen erzeugen, indem sie gegen ähnliche Strukturen von hervorstehenden Kämmen auf dem Meso- und Metathorax reiben (Taylor 1985) (Abb. 17).

Signaleigenschaften wie Ruflänge, Pulszahl und Antwortlatenz dienen der Arten- und Geschlechtererkennung (Lubanga *et al.* 2014). Vor kurzem wurden mittels Laservibrometer Vibrationssignale der beiden Insektenvektoren der Apfeltriebsucht während der Balz aufgenommen (Oppedisano *et al.* 2016; 2019a). Es wurde gezeigt, dass Weibchen von *C. picta* die Kommunikation auf der Wirtspflanze initiieren, indem sie eine Reihe von Schwingungsimpulsen aussenden, gefolgt von einem Duett aus männlichem Ruf und weiblicher

al. 2016; 2019a). È stato visto che le femmine di *C. picta* avviano la comunicazione sulla pianta ospite mediante emissione di treni di impulsi, che vengono poi seguiti da un duetto che consiste in una chiamata del maschio e una risposta della femmina (Fig. 18). Per quanto riguarda *C. melanoneura*, nonostante il segnale emesso non sia stato completamente descritto, è stata accertata l'esistenza di chiamate da parte dei maschi (Oppedisano *et al.* 2016; 2019a). Questa scoperta apre la strada per saggiare la possibilità di interferire nella formazione degli accoppiamenti delle psille del melo attraverso l'uso della comunicazione vibrazionale, basandosi su una strategia di controllo biotecnologica che è già in fase di sviluppo contro altri insetti nocivi per l'agricoltura (Eriksson *et al.* 2012; Polajnar *et al.* 2016; Nieri e Mazzoni 2017).

Antwort (Abb. 18). Trotz der bisher noch nicht beschriebenen Kommunikationsart von *C. melanoneura* wurde die Existenz männlicher Ruflaute nachgewiesen (Oppedisano *et al.* 2016; 2019a). Diese Ergebnisse ebneten den Weg für eine weitere alternative Schädlingsbekämpfung, bei der die Kommunikation zwischen den Vektorinsekten mit Schwingungssignalen gestört wird. Diese Methode wurde bereits zur Paarungsstörung bei anderen Insektenschädlingen eingesetzt (Eriksson *et al.* 2012; Polajnar *et al.* 2016; Nieri und Mazzoni 2018).

Modelli statistici per correlare i fattori ambientali agli scopazzi del melo

Monitorare gli insetti vettori di AP è al momento l'unico modo per determinare le strategie per la gestione degli scopazzi del melo. A causa dei costi per il lavoro in campo e per le analisi di laboratorio, questi monitoraggi vengono eseguiti solo in un numero limitato di appezzamenti e, a partire dai dati raccolti in questi siti, si prendono le decisioni necessarie per l'intera gestione locale. Tuttavia, le condizioni ambientali dei diversi meleti variano significativamente, variando così di conseguenza anche la loro attrattività nei confronti degli insetti vettori.

In Valsugana (Trentino), l'arrivo della psilla *C. melanoneura* può essere monitorato attraverso l'uso di un modello previsionale - sviluppato da Tedeschi *et al.* (2012) - che si basa sulla variazione di una temperatura soglia per area. Poiché l'ovideposizione avviene durante la fase di germogliamento delle piante, mentre i picchi di ovature e schiuse sono registrati prima della fioritura, conoscere la sincronia tra *C. melanoneura* e la fenologia della pianta ospite è importante poiché si presume che ci sia un collegamento tra queste e le temperature (Hodkinson 2009). Proprio per questo motivo è stato sviluppato un indice d'immigrazione per prevedere l'arrivo progressivo degli adulti svernanti dai siti di svernamento (Tedeschi *et al.* 2012).

Analyse von Umweltfaktoren der Apfeltriebsucht mit Hilfe statistischer Modelle

Derzeit bilden die Monitoring-Daten beider Vektoren die Grundlage zur Ausarbeitung von Schädlingsbekämpfungsstrategien. Aufgrund von kosten- und zeitaufwendigen Feld- und Laboranalysen wird das Vektormonitoring nur an einer begrenzten Anzahl von Standorten durchgeführt. Anhand dieser Daten werden Bekämpfungsstrategien verallgemeinert. Die Umweltbedingungen an den ausgewählten Standorten bzw. Apfelanlagen sind jedoch nicht alle in gleichem Maße für die Vektoren geeignet, so dass diese Verallgemeinerungen zu einem ineffektiven Schädlingsmanagement führen können.

Für das Gebiet der Valsugana (Provinz Trient) wurden Temperaturschwellenwerte bestimmt um das erste Auftreten von *C. melanoneura* vorherzusagen (Tedeschi *et al.* 2012). Die Eiablage beginnt mit Knospenaufbruch, während die Hauptzeit der Eiablage und das Schlüpfen der Nymphen an die frühe Blüte gekoppelt ist. Die Synchronität zwischen dem Wachstum der Wirtspflanze und dem Lebenszyklus von *C. melanoneura* ist wichtig und wird als temperaturabhängig angesehen (Hodkinson 2009). So wurde ein Immigrationsindex definiert, um den schrittweisen Einflug der überwinterten Adulten in die Apfelanlage vorherzusagen (Tedeschi *et al.* 2012). In den untersuchten Apfelanlagen beginnen die ersten Flugaktivitäten der Psylliden, wenn

Nelle aree prese in considerazione, si è visto che le psille iniziano a raggiungere i meleti quando la media della temperatura massima di sette giorni supera i 9,5°C o l'indice di immigrazione ha raggiunto la temperatura soglia. Questo indice, basato su temperature registrate nei frutteti, rappresenta un utile strumento per programmare i trattamenti insetticidi contro *C. melanoneura*. Sulla base del lavoro di Tedeschi *et al.* (2012) in Trentino, un modello previsionale basato sulla temperatura è stato sviluppato per *C. melanoneura* e *C. picta*, anche per i frutteti dell'Alto Adige (Panassiti *et al.* 2018). Tuttavia, questo modello presenta diversi limiti e l'applicabilità dei risultati richiede un'ulteriore valutazione. Inoltre, i risultati del modello basato sulla temperatura per la previsione della migrazione di *C. picta* e *C. melanoneura* hanno mostrato forti differenze già in un confronto geografico su piccola scala. Ciò indica che tutte le previsioni - anche se sono disponibili dati sufficienti - sono valide solo per aree geografiche molto piccole. I fattori geografici associati all'ubicazione dei siti invernali (ad esempio, l'orografia regionale, i principali flussi d'aria e la distanza dai meleti) possono influenzare in modo diverso il processo di migrazione delle psille e influenzarne la presenza o l'assenza. I modelli di distribuzione delle specie (noti anche come habitat models) hanno lo scopo di identificare e quantificare la relazione tra le variabili ambientali e una variabile di risposta (Guisan e Zimmermann 2000). Esempi di variabili di risposta nell'epidemiologia

entweder der Mittelwert der maximalen Temperatur am siebenten Tag über 9,5°C liegt oder der Immigrationsindex den Schwellenwert erreicht hat. Dieser Index, der auf den in den Obstanlagen gemessenen Temperaturen basiert, stellt ein nützliches Instrument dar, um die Zeitpunkte von Insektizidbehandlungen gegen *C. melanoneura* besser einschätzen zu können. Auf der Grundlage von Tedeschi *et al.* (2012) wurde für *C. melanoneura* und *C. picta* ein temperaturabhängiges Migrationsmodell entwickelt, um das erste Auftreten der Vektoren in Apfelanlagen in Südtirol vorherzusagen (Panassiti 2018). Dieses Modell ist jedoch nur begrenzt aussagefähig, und für die Anwendbarkeit der Ergebnisse müssen weitere Evaluationen durchgeführt werden. Darüber hinaus ergaben die Ergebnisse des Modells für *C. picta* und *C. melanoneura* bereits in einem kleinräumigen geographischen Vergleich starke Unterschiede. Dies deutet darauf hin, dass alle Vorhersagen - auch wenn genügend Daten verfügbar wären - nur für sehr kleine geografische Gebiete gelten. Geografische Faktoren, die mit dem Standort des Winterquartiers zusammenhängen (z.B. die regionale Höhenlage, die Haupt-Luftströmungen und die Entfernung zu den Apfelanlagen), wirken sich gegebenenfalls auf die Migration der Psylliden aus und können ihr Vorhandensein oder Fehlen beeinflussen. Habitatmodelle (auch bekannt als Artenverteilungsmodelle) zielen darauf ab, die Beziehung zwischen Umweltvariablen und einer Reaktionsvariablen zu identifizieren und zu quantifizieren (Guisan und

degli scopazzi del melo potrebbero includere presenza/assenza e abbondanza dei vettori, la quantità di fitoplasma nell'insetto vettore e la presenza/assenza di sintomi su melo. I predittori ambientali biotici e abiotici in genere vengono scelti per rappresentare le risorse (ad esempio le piante ospiti), i disturbi (ad esempio gli insetticidi) e i fattori limitanti (ad esempio la temperatura) (Guisan e Thuiller 2005). I risultati di questi modelli possono essere utili per migliorare le strategie di controllo degli scopazzi del melo in diversi modi. Ad esempio, forniscono informazioni indirette sul tipo di bosco preferito dai vettori come sito di svernamento. Questa informazione consentirebbe l'inserimento di data-logger nei boschi per monitorare la temperatura e stimare l'inizio del volo dei vettori dalle piante rifugio verso i frutteti. Inoltre, la caratterizzazione delle relazioni specie-ambiente permetterebbe di fare previsioni su larga scala e, in base a queste, di creare mappe di rischio.

Gli habitat models non sono da limitare ai soli vettori, ma possono anche essere applicati al patogeno e alla stessa malattia (Thébaud *et al.* 2006; Panassiti *et al.* 2015; 2017). Utilizzando l'inferenza bayesiana, Panassiti (2018) ha sviluppato un modello congiunto (ossia che stima simultaneamente le variabili che influenzano il vettore, i tassi d'infezione del vettore e i sintomi di AP sulle piante) per l'epidemiologia degli scopazzi del melo. Il modello ha permesso di tenere conto del rilevamento imperfetto dei sintomi AP stimando la probabilità

Zimmermann 2000). Beispiele für Reaktionsvariablen in der AP-Epidemiologie könnten beispielsweise die An- bzw. Abwesenheit und die Häufigkeit des Vektors, Infektionsraten des Insektenvektors und die An- bzw. Abwesenheit von AP-Symptomen an Apfelbäumen sein. Abiotische und biotische Umweltprädiktoren werden typischerweise so gewählt, dass sie Ressourcen (z. B. Wirtspflanzen), Störungen (z. B. Insektizide) und limitierende Faktoren (z. B. Temperatur) abbilden (Guisan und Thuiller 2005).

Die Ergebnisse statistischer Modelle können dazu beitragen, die Strategien zur Bekämpfung der Apfeltriebsucht auf verschiedene Weise zu verbessern. So können beispielsweise Informationen über die Waldtyppräferenz der Vektoren hilfreich sein, um Überwinterungsgebiete einzugrenzen. Für eine bessere Einschätzung des Beginns der Flugaktivität der Vektoren, könnten Temperaturlogger installiert werden. Darüber hinaus ermöglichen identifizierte Art-Umwelt Wechselbeziehungen flächendeckende Vorhersagen und darauf basierende Risikokarten. Habitatmodelle sind nicht auf Vektoren beschränkt, sondern können auch auf den Erreger und die Krankheit angewendet werden (Thébaud *et al.* 2006; Panassiti *et al.* 2015; 2017). Unter Verwendung der Bayes'schen Inferenz entwickelte Panassiti (2018) ein gemeinsames Modell für die Epidemiologie der Apfeltriebsucht (d. h. die gleichzeitige Einschätzung der Abhängigkeiten von Vektor, Phytoplasmeninfektionsraten des Vektors und AP-Symptomen von Apfelbäumen). Anhand

di rilevamento condizionale sul vero stato di infezione. Un fattore che interessa il rilevamento dei sintomi è da attribuire alle infezioni latenti, che si ripercuote in un aumento del numero di falsi negativi, e quindi, in un'inferenza scorretta del sistema. Perciò, Panassiti (2018) ha incluso nel modello una cosiddetta "informativa preventiva" che sfrutta i risultati sperimentali già esistenti sulle infezioni latenti di AP delle piante di melo (il 2,32 % e il 10,48 % a seconda dell'età della pianta, Baric *et al.* 2007), e permette di migliorare la stima della probabilità di rilevamento del patogeno nelle piante. I risultati preliminari di questo modello indicano che la probabilità di presenza dei vettori di AP e di piante sintomatiche è positivamente influenzata dall'aumento di altitudine e temperatura, mentre risulta essere negativamente influenzata dalle pratiche di difesa integrata. In conclusione, gli habitat models sono uno strumento utile per stabilire le relazioni specie-ambiente e per creare delle mappe di rischio. I risultati dei modelli possono contribuire di conseguenza a nuovi approfondimenti sull'epidemiologia degli scopazzi e consentire di sviluppare e adattare efficienti strategie di gestione.

des Modells konnte die unzureichende Erkennung von AP-Symptomen miteinbezogen werden, indem die Wahrscheinlichkeit der Symptomerkennung in Abhängigkeit vom tatsächlichen Infektionsstatus eingeschätzt wurde. Ein Faktor, der die Symptomerkennung beeinflusst, sind latente Infektionen, die vermutlich zu einer erhöhten Anzahl von falsch negativen Ergebnissen und damit zu einer verzerrten Schlussfolgerung des Systems führen. Daher schloss Panassiti (2018) eine so genannte informative A-priori-Verteilung mit ein, welche die vorhandenen Versuchsergebnisse über latente AP-Infektionen von Apfelbäumen nutzt (2,32 und 10,48 % je nach Alter der Apfelbäume Baric *et al.* 2007) und eine genauere Einschätzung der Erkennungswahrscheinlichkeit ermöglicht. Die vorläufigen Ergebnisse dieses Modells zeigten, dass die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von AP-Vektoren und symptomatischen Bäumen durch eine steigende Höhenlage und Temperatur steigen, im Gegensatz dazu durch integrierten Schädlingsschutz sinken. Um die Aussagekraft des Modells zu verbessern ist ein umfangreicherer Datensatz, der über viele Jahre aufgebaut wurde, erforderlich. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Habitatmodelle ein nützliches Instrument sind, um die Wechselbeziehung zwischen Insektenarten und Umwelt abzubilden und somit Risikokarten zu erstellen. Die Modellergebnisse können daher zu neuen Erkenntnissen in der Epidemiologie der Apfeltriebsucht beitragen und die Entwicklung und Anpassung effizienter Bekämpfungsstrategien ermöglichen.

Fauna dell'agroecosistema melo e potenziali nuovi vettori

L'ordine degli emitteri comprende gruppi di insetti con specifici apparati boccali pungenti-succhianti; questa peculiarità ha conferito un effetto rilevante durante i processi evolutivi di radiazione adattativa di questo gruppo d'insetti (Goodchild 1966). Come detto più volte, i fitoplasmi sono organismi che vivono esclusivamente nel floema delle piante e per questo motivo possono essere acquisiti e trasmessi solo da insetti floemomizi. Le abitudini alimentari degli emitteri possono variare da fitofagi (la maggior parte delle specie) a predatori, compresi ectoparassiti ed ematofagi. I vettori di fitoplasmi devono nutrirsi selettivamente su specifici tessuti vegetali dove questi patogeni risiedono, e farlo con un comportamento definito "non distruttivo". Weintraub e Beanland (2006) hanno raccolto le caratteristiche richieste da una specie per essere considerata un efficiente vettore di fitoplasmi e, secondo questi autori, gli emitteri sono i principali candidati tra gli ordini degli insetti. Infatti, questi insetti condividono la caratteristica di essere emimetaboli e ninfe e adulti oltre ad avere un'alimentazione simile, condividono la stessa nicchia sulla pianta. Spesso sono entrambi ninfe e adulti a poter trasmettere i fitoplasmi. Inoltre, la loro alimentazione è di tipo non distruttivo, promuovendo l'inoculazione del patogeno nel

Fauna des Apfel-Agrarökosystems und potenzielle neue Vektoren

Die Ordnung der Hemiptera umfasst Insektengruppen mit spezifischen stechend-saugenden Mundwerkzeugen. Im Zuge verschiedener Evolutionsprozesse (z.B. der adaptiven Radiation) haben sich hochspezialisierte Arten herausgebildet (Goodchild 1966). Die Ernährungsgewohnheiten der Hemiptera reichen von der Phytophagie (bei der Mehrheit der Arten) bis hin zu Predationsverhalten, einschließlich Ektoparasitismus und Hämatophagie. Da der Lebensraum der Phytoplasmen innerhalb der Pflanze auf das Phloem beschränkt ist, können sie nur von phloemfressenden Insekten aufgenommen und übertragen werden. Phytoplasmenvektoren müssen sich spezifisch, selektiv und auf eine nicht-destruktive Weise von dem Pflanzengewebe ernähren, in dem sich der Krankheitserreger befindet. Weintraub und Beanland (2006) überprüften die Merkmale, die eine Insektenart zu einem erfolgreichen Phytoplasmavektor macht. Die Insektengruppe der Hemiptera sticht dabei besonders hervor. Insekten dieser Ordnung sind hemimetabolisch, d.h. Nymphen und Adulte ernähren sich ähnlich und teilen sich den gleichen physischen Ort. Oft können sowohl Nymphen als auch Adulte Phytoplasmen übertragen. Sie ernähren sich selektiv von bestimmten Pflanzengewebe, was sie zu potentiellen Vektoren von Krankheitserregern macht. Darüber hinaus

sistema vascolare della pianta senza danneggiare i tessuti conduttivi o suscitare risposte difensive. Inoltre, essi hanno un rapporto persistente-propagativo con i fitoplasmi.

Gli emitteri (Hemiptera) sono un ordine molto eterogeneo comprendente per esempio i sottordini sternorrinchi (Sternorrhyncha) (cocciniglie, afidi, psille e mosche bianche), cimici (eterotteri, Heteroptera) e auchenorrinchi (Auchenorrhyncha). Questo ultimo è diviso in due infraordini principali: Cicadomorpha (cicaline, membracidi, sputacchine e cicale) e Fulgoromorpha (comprendenti tutte le famiglie dei fulgoridi).

Negli ultimi anni, la densità di popolazione e i tassi di infettività trovati in *C. picta* e *C. melanoneura* dopo nuovi focolai di AP in Trentino-Alto Adige, non sono stati sufficienti a spiegare i livelli di diffusione della malattia in campo. Pertanto, nuovi studi sono stati intrapresi per identificare potenziali nuovi vettori di AP, soprattutto all'interno dell'ordine degli emitteri. Come detto in precedenza, effettuare prove di trasmissione è l'unico modo per verificare la capacità di trasmissione di fitoplasmi da parte di una specie. Nel corso degli anni, sebbene la presenza di AP sia stata rilevata in alcuni insetti floemomizi, prove di trasmissione non sono state condotte o hanno dato risultati negativi e quindi questi insetti non possono essere considerati come vettori. La presenza di AP è stata rilevata in diversi afidi del melo: *Aphis pomi* (De Geer 1773), *Dysaphis plantaginea* (Pas-

ist ihre Ernährung nicht-destruktiv, was eine erfolgreiche Inokulation des pflanzlichen Gefäßsystems fördert, ohne leitfähiges Gewebe zu schädigen und Abwehrreaktionen hervorzurufen. Außerdem haben sie eine propagierende und dauerhafte Beziehung zu Phytoplasmen. Die Ordnung der Hemiptera ist sehr vielfältig. Zu ihr gehören beispielsweise die Unterordnungen der Sternorrhyncha (jene ist in die Überfamilien der Schildläuse [Coccoidea], Blattläuse [Aphidoidea], Blattflöhe [Psylloidea], Weiße Fliege [Aleyrodoidea] geteilt), der Wanzen [Heteroptera] und der Zikaden [Auchenorrhyncha]. Letztere sind in zwei Zwischenordnungen unterteilt: Cicadomorpha (wozu die Familien der Zwergzikaden [Cicadellidae], Buckelzirpen [Membracidae], Schaumzikaden [Aphrophoridae] und Singzikaden [Cicadidae] gehören) und Fulgoromorpha (die Spitzkopfizikade).

In den letzten Jahren reichten die Populationsdichten und Infektionsraten von *C. picta* und *C. melanoneura* nach erneuten Ausbrüchen der Apfeltriebsucht in der Region Trentino-Südtirol nicht aus, um das Ausmaß der Ausbreitung der Krankheit in den Apfelanlagen zu erklären. Daher wurden Versuche unternommen, weitere AP-übertragende Insekten zu identifizieren. Wie bereits erwähnt, sind Übertragungsversuche der einzige Nachweis für die Vektorfähigkeit eines Insekts. Auch wenn 'Ca. P. mali' in einigen Phloemsaugenden Insekten nachgewiesen werden konnte, wurden nicht immer Übertragungsversuche durchgeführt oder sie erzielten negative

serini 1860), *Eriosoma lanigerum* (Hausmann 1802), *Dysaphis devectora* (Walker 1849) e *Rhopalosiphum insertum* (Walker 1849). Negli afidi è stato riscontrato un titolo molto basso di fitoplasma rispetto alle psille infette, e le prove di trasmissione non hanno dato risultati positivi, perciò gli autori hanno concluso che gli afidi non contribuiscono alla diffusione AP (Cainelli *et al.* 2007).

'Ca. P. mali' è stato rilevato anche in altre specie del genere *Cacopsylla*, come in *Cacopsylla peregrina* (Förster 1948) (Tedeschi *et al.* 2009), ma anche in *Cacopsylla mali* (Schmidberger 1836) e in *Cacopsylla crataegi* (Schrank 1801) (Baric *et al.* 2010b; Miñarro *et al.* 2016). La presenza del patogeno riportata varia da 21,74 % al 53,85 % per *Cacopsylla peregrina*, dal 1 % al 10 % per *C. mali* e da 1 a 16,7 % per *C. crataegi* (Tedeschi *et al.* 2009; Baric *et al.* 2010b; Miñarro *et al.* 2016). Inoltre, AP è stato rilevato anche in due specie di psille esotiche associate all'eucalipto, la *Ctenarytaina eucalypti* (Maskell 1890) e la *Ctenarytaina spatulata* (Taylor 1997), che sono entrambe presenti nei meleti della regione delle Asturie (Spagna settentrionale), con percentuali di individui positivi a 'Ca. P. mali' che vanno da 1,4 % a 3 % per *C. eucalypti* e dal 2,3 % al 2,7 % per *C. spatulata* (Garcia *et al.* 2014; Miñarro *et al.* 2016). Per tutte queste specie ulteriori prove di trasmissione sarebbero necessarie al fine di confermare lo stato di vettore.

In passato, diverse specie appartenenti alla famiglia dei cicadellidi

Resultate, weshalb diese Insekten nicht als Vektoren von 'Ca. P. mali' gelten. In den Apfelblattläusen: *Aphis pomi* (De Geer 1773), *Dysaphis plantaginea* (Passerini 1860), *Eriosoma lanigerum* (Hausmann 1802), *Dysaphis devectora* (Walker 1849) und *Rhopalosiphum insertum* (Walker 1849) wurde 'Ca. P. mali' entdeckt, wenn auch in geringeren Konzentrationen als in infizierten Psylliden. Die Übertragungsversuche schlugen fehl, woraus die Autoren schlossen, dass Blattläuse nicht zur Verbreitung der Apfeltriebsucht beitragen (Cainelli *et al.* 2007).

'Ca. P. mali' wurde auch in anderen *Cacopsylla* Arten nachgewiesen, wie z. B. in *Cacopsylla peregrina* (Förster 1848) (Tedeschi *et al.* 2009), in *Cacopsylla mali* (Schmidberger 1836) und *Cacopsylla crataegi* (Schrank 1801) (Baric *et al.* 2010b; Miñarro *et al.* 2016). Das festgestellte Vorkommen des Krankheitserregers in diesen Insekten bewegte sich zwischen 21,74 % und 53,85 % bei *Cacopsylla peregrina*, von 1 % bis 10 % bei *C. mali* und von 1 % bis 16,7 % bei *C. crataegi* (Tedeschi *et al.* 2009; Baric *et al.* 2010b; Miñarro *et al.* 2016). Außerdem wurde 'Ca. P. mali' in zwei exotischen Eukalyptus-Psylliden, *Ctenarytaina eucalypti* (Maskell 1890) und *Ctenarytaina spatulata*, nachgewiesen (Taylor 1997). Beide Arten wurden in Apfelanlagen in der Region Asturien in Nordspanien gefangen und wiesen eine natürliche Infektionsrate mit 'Ca. P. mali' von 1,4 % bis 3 % bei *C. eucalypti* bzw. von 2,3 % bis 2,7 % bei *C. spatulata* auf (Garcia *et al.* 2014; Miñarro *et al.* 2016). Um die Vektorfähigkeit dieser Arten zu untersuchen, müssten weitere Übertragungsversuche

presenti nei meleti, come *Empoasca vitis* (Goethe 1875), sono stati analizzati per verificare la presenza di AP (Mattedi *et al.* 2008e). Per studiare la capacità vettoriale di questa specie, Mattedi *et al.* (2008e) hanno effettuato prove di trasmissione, ma non hanno ottenuto risultati positivi. Altre specie segnalate in passato come vettori sono *Philaenus spumarius* (Linnaeus 1758) (Hemiptera: Aphrophoridae) e *Artianus interstitialis* (Germar 1821) (Hemiptera: Cicadellidae); queste erano state in grado di trasmettere AP da piantine infette di sedano a piantine di melo e da piante di sedano infetto a piante di sedano sane (Marenaud *et al.* 1978; Hegab ed El-Zohairy 1986; Nemeth 1986). Tuttavia, altri esperimenti condotti con *P. spumarius* non hanno confermato i risultati precedenti (Refatti *et al.* 1986). Danielli *et al.* (1996) hanno identificato diversi gruppi di fitoplasma in *Metcalfa pruinosa* (Say 1830) (Hemiptera: Flatidae), tra cui 'Ca. P. mali', ma il suo status come vettore non è mai stato confermato.

Dopo che nuovi focolai di AP si sono manifestati in Trentino-Alto Adige a partire dal 2011, i ricercatori hanno focalizzato parte del loro lavoro nella raccolta e identificazione di comunità di cicaline nei meleti, studiando la loro distribuzione nell'agroecosistema melo. Gli insetti mostrano frequenti migrazioni (De Long 1971; Taylor 1985; Della Giustina 2002; 2002b) che influenzano le loro dinamiche di popolazione e le loro distribuzioni spaziali. Queste migrazioni devono essere prese in considerazione per adeguate strategie di gestione

durchgeführt werden. In der Vergangenheit wurden verschiedene Insektenarten der in Apfelanlagen vorkommenden Familie Cicadellidae (Auchenorrhyncha), wie z. B. *Empoasca vitis* (Goethe 1875), auf das Vorkommen von 'Ca P. mali' analysiert, allerdings erfolglos (Mattedi *et al.* 2008e). Um die Vektorfähigkeit dieser Art zu untersuchen, führten Mattedi *et al.* (2008e) Übertragungsversuche durch, allerdings ohne positive Ergebnisse. Andere Arten gelten ebenfalls als Vektoren, wie z. B. *Philaenus spumarius* (Linnaeus 1758) (Homoptera: Aphrophoridae) und *Artianus interstitialis* (Germar 1821) (Homoptera: Cicadellidae), die 'Ca. P. mali' von infiziertem Sellerie auf Apfelpflänzchen übertragen konnten und vom infizierten Sellerie auf gesunden Sellerie (Marenaud *et al.* 1978; Hegab und El-Zohairy 1986; Németh 1986). Jedoch erbrachten andere Versuche mit *P. spumarius* keine Bestätigung der vorhergehenden Versuche (Refatti *et al.* 1986). Danielli *et al.* (1996) entdeckten verschiedene Gruppen von Phytoplasmen bei der Bläulingszikade *Metcalfa pruinosa* (Say 1830) (Homoptera: Flatidae), u.a. 'Ca. P. mali'; allerdings wurde sein Vektorstatus nie bestätigt.

Nach den Ausbrüchen der Apfeltriebsucht in der Region Trentino-Südtirol im Jahr 2011 widmeten die Forscher einen Teil ihrer Arbeit der Sammlung und Identifizierung von Zikaden, welche in Apfelanlagen gefangen wurden. Ebenfalls wurde deren räumliche Ausbreitung im gesamten Agrarökosystem des Apfels untersucht. Diese Insekten migrieren häufig (DeLong 1971; Taylor 1985, Della Giustina 2002a,

Paesaggio dominato da foreste

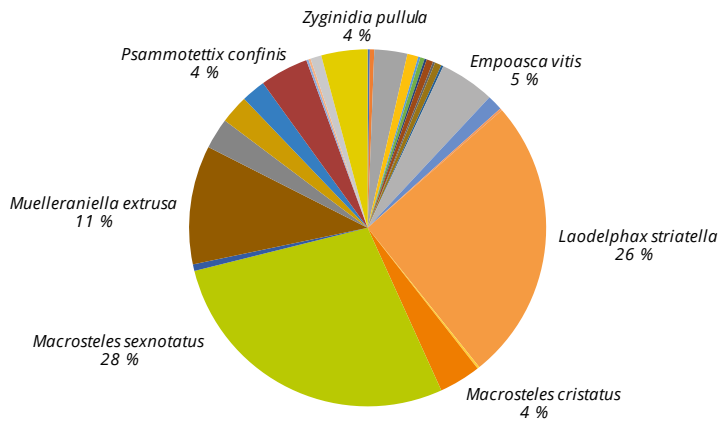


Figura 19

Abbondanza di specie (Auchenorrhyncha) in nove meleti situati in un paesaggio dominato da foreste in Valsugana (Trentino)

integrata di specie nocive o potenzialmente nocive (Matsumura e Suzuki 2003; Orenstein *et al.* 2003; Emmen *et al.* 2004; Decante e van Helden 2008). Come regola generale, solo pochi insetti sono considerati come specie chiave di qualsiasi coltura. Tuttavia, questo approccio non riesce a spiegare in dettaglio tutti i rapporti che esistono negli agroecosistemi, dove invece è la comunità, nel suo complesso, a determinare le produzioni e l'impatto socio-economico. Oppedisano *et al.* (2017) hanno valutato gli effetti di diversi

2002b), was ihre Populationsdynamik und räumlichen Verteilungen beeinflusst. Um angemessene Schädlingsbekämpfungsstrategien für den integrierten Obstanbau zu entwickeln, müssen diese Migrationen berücksichtigt werden (Matsumura und Suzuki 2003; Orestein *et al.* 2003; Emmen *et al.* 2004; Decante und van Helden 2008). Generell gilt, dass nur wenige Zikadenarten Kulturpflanzen als Hauptwirtspflanze nutzen. Die genauen Zusammenhänge und Interaktionen die im Agrarökosystem Apfelanlage bestehen sind bisher allerdings nur unzu-

Forst dominierte Landschaft

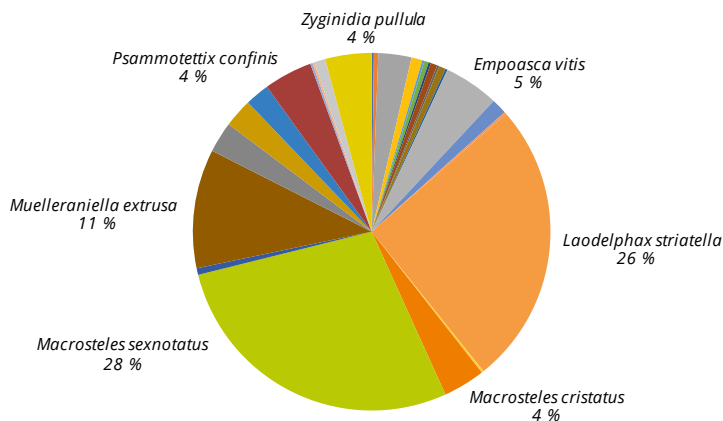


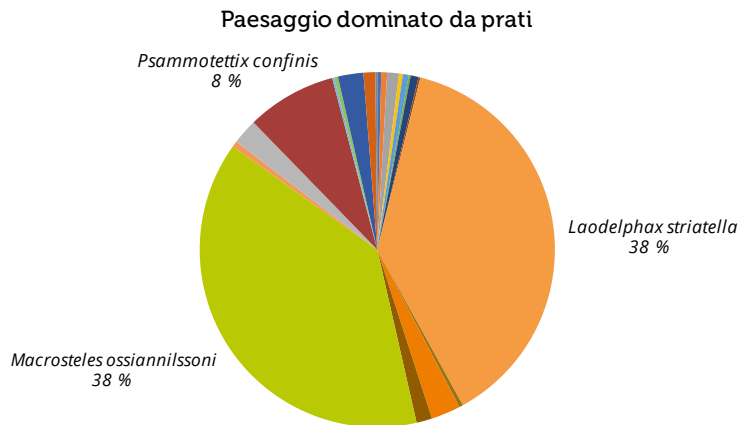
Abbildung 19

Artenreichtum (Auchenorrhyncha) in neun Apfelanlagen, umgeben von einer von Forst dominierten Landschaft in der Valsugana (Provinz Trient)

Figura 20

Abbondanza di specie (Auchenorrhyncha) in nove meleti situati in un paesaggio dominato da prati in Valsugana (Trentino)

.....



paesaggi sulla presenza di queste comunità all'interno dei meleti. Inoltre, nello stesso studio, i ricercatori hanno valutato il ruolo delle specie più rappresentative come putativi vettori di 'Ca. P. mali'. I risultati preliminari sulla diversità di queste comunità nei meleti sono mostrati in Figure 19, 20 e 21.

Analisi molecolari per verificare la presenza di AP sono state condotte su 1.305 individui raccolti in questo studio. Due cicaline della famiglia Cicadellidae sono state trovate infette da 'Ca. P. mali': un individuo di *Empoasca vitis* e uno di *Orientus ishidae* (Matsumura 1902)

.....

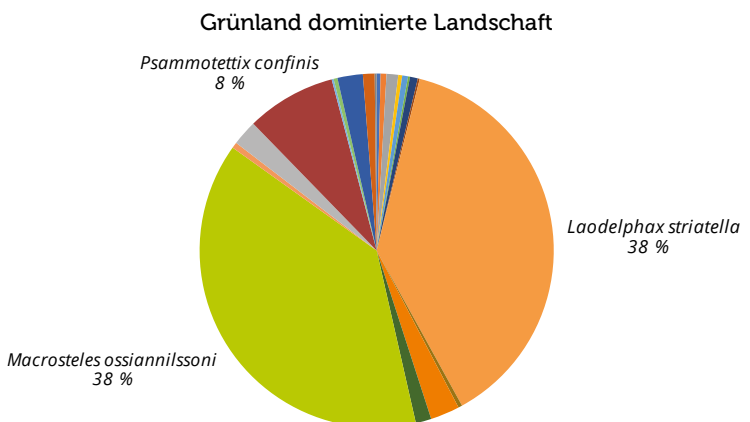
reichend bekannt. Oppedisano *et al.* (2017) haben die Auswirkungen von umliegenden Landschaften auf das Vorkommen von Zikaden-Gemeinschaften in Apfelanlagen untersucht. Darüber hinaus haben die Forscher in derselben Studie die Rolle der repräsentativsten Arten und deren potentieller Rolle als Vektor von 'Ca. P. mali' evaluiert. Erste Ergebnisse über die Vielfalt der Zikaden-Gemeinschaften sind in den Abbildungen 19, 20 und 21 dargestellt.

Insgesamt wurden 1305 Zikaden einer molekularbiologischen Analyse unterzogen. Bei zwei Zwergzikaden (Cicadellidae) wurde 'Ca P. mali':

Abbildung 20

Artenreichtum (Auchenorrhyncha) in neun Apfelanlagen, umgeben von einer von Grünland dominierten Landschaft in der Valsugana (Provinz Trient)

.....



Paesaggio dominato da frutteti

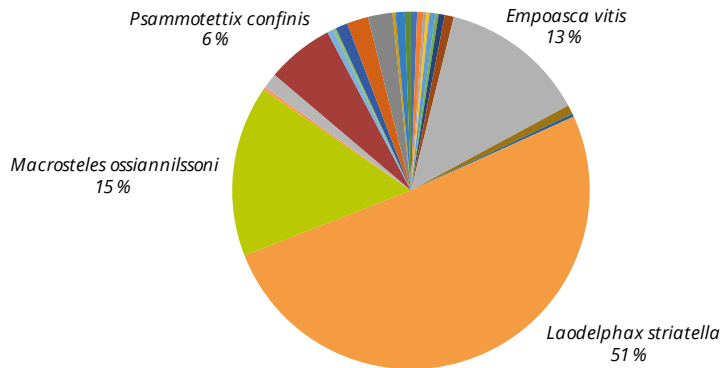


Figura 21

Abbondanza di specie (Auchenorrhyncha) in nove meleti situati in un paesaggio dominato da frutteti in Valsugana (Trentino)

(Cicadellidae: Deltocephalinae). Inoltre, due esemplari appartenenti alla specie *Stictocephala bisonia* (Kopp e Yonke 1977) (Membracidae: Membracinae) contenevano concentrazioni molto basse di 'Ca. P. mali'. Quindi, questi risultati sono il primo passo nella ricerca di potenziali vettori nuovi o finora sconosciuti, sebbene ulteriori indagini in condizioni controllate sono necessarie per verificare la loro capacità di acquisizione e trasmissione.

nachgewiesen, bei einem Exemplar der grünen Rebzikade (*Empoasca vitis*) (Göethe 1875) (Cicadellidae: Typhlocybinae) und bei einer Orientzikade (*Orientus ishidae*) (Matsumura 1902) (Cicadellidae: Deltocephalinae). Außerdem enthielten zwei Exemplare der Büffelzikade (*Stictocephala bisonia*) (Kopp und Yonke 1977) (Membracidae: Membracinae) sehr geringe Konzentrationen von 'Ca. P. mali'. Diese Ergebnisse sind der erste Schritt auf der Suche nach bisher unbekanntem oder neuen Vektoren. Es sind jedoch weitere Untersuchungen zur Aufnahme- und Übertragungsfähigkeit der genannten Insektenarten notwendig.

Obstanbau dominierte Landschaft

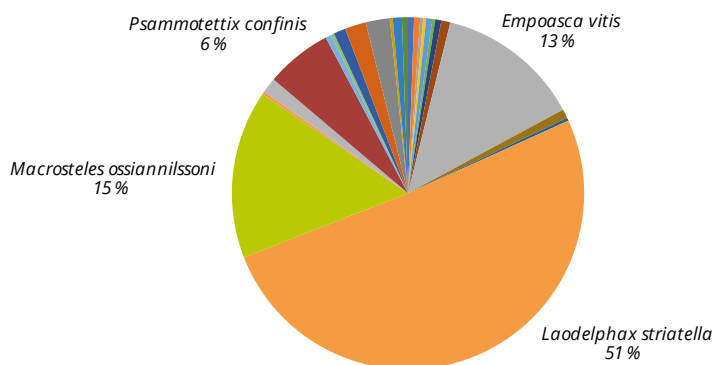


Abbildung 21

Artenreichtum (Auchenorrhyncha) in neun Apfelanlagen, umgeben von einer von Obstanbau dominierten Landschaft in der Valsugana (Provinz Trient)