



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento del Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambientali

Corso di laurea magistrale in Scienze Forestali e Ambientali

**Valutazione dell'efficacia di nuove trappole e attrattivi per la
cattura di coleotteri cerambicidi (Coleoptera: Cerambycidae)**

*Efficacy of semiochemical-baited traps for detection of longhorn
beetles (Coleoptera: Cerambycidae) in Italy*

RELATORE:

Prof. Massimo Faccoli

LAUREANDO:

Matteo Marchioro

CORRELATORE:

Dr. Davide Rassati

MATRICOLA:

1159808

ANNO ACCADEMICO 2017-2018

A Francesca

A mia mamma

A mio papà

A mia sorella

INDICE

RIASSUNTO	pag. 7
ABSTRACT	pag. 9
CAPITOLO 1: INTRODUZIONE	pag. 11
1.1 Le specie invasive	pag. 11
1.2 Gli insetti xilofagi	pag. 12
1.3 Il monitoraggio delle specie xilofaghe invasive	pag. 14
1.3.1 L'utilizzo dei semiochimici nella lotta biologica e nel monitoraggio.....	pag. 15
1.4 I coleotteri Cerambicidi	pag. 17
1.4.1 I feromoni sessuali e di aggregazione nei Cerambicidi	pag. 19
CAPITOLO 2: OBIETTIVI DELLO STUDIO	pag. 21
CAPITOLO 3: MATERIALI E METODI	pag. 23
3.1 Il sito dello studio	pag. 23
3.2 Trappole utilizzate e loro posizionamento	pag. 25
3.3 Attrattivi utilizzati	pag. 26
3.4 Disegno sperimentale	pag. 26
3.5 Raccolti dei campioni	pag. 29
3.6 Analisi statistica	pag. 29
CAPITOLO 4: RISULTATI	pag. 31
4.1 Risultati generali	pag. 31
4.2 Effetto degli attrattivi testati sull'abbondanza della specie esotica <i>N. acuminatus</i>	pag. 33
4.3 Effetto degli attrattivi testati sull'abbondanza della specie esotica <i>X. stebbingi</i>	pag. 34
4.4 Effetto degli attrattivi testati sull'abbondanza della specie esotica <i>C. arietis</i>	pag. 35
CAPITOLO 5: DISCUSSIONE	pag. 37
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	pag. 41

RIASSUNTO

L'introduzione di specie esotiche di insetti xilofagi rappresenta un problema di rilevanza mondiale. Questi insetti vengono solitamente introdotti accidentalmente in nuovi territori all'interno di materiali legnosi associati al commercio internazionale (merci e imballaggi). Riparati e protetti dal legno, essi possono superare le condizioni avverse che si presentano nel corso degli spostamenti ed eludere i controlli nei punti di arrivo delle merci. Per ottimizzare l'intercettazione di queste specie, diventa fondamentale migliorare i protocolli di monitoraggio esistenti. In questo contesto, la tipologia di attrattivo utilizzata acquisisce un'importanza primaria nel massimizzare l'efficienza delle catture. L'obiettivo dello studio è quello di testare tre feromoni prodotti da specie appartenenti alla sottofamiglia dei Cerambycinae (racemic 3-hydroxyhexan-2-one -K6-, racemic 3-hydroxyoctan-2-one -K8- e syn-2,3-hexanediol -synD6-), al fine di individuare il composto o la miscela di composti più efficaci nella cattura di cerambicidi associati a latifoglie. Lo studio si è svolto presso Bosco Nordio, un sito tra Chioggia (VE) e il fiume Adige, appartenente alla Rete Natura 2000. Al suo interno sono state posizionate 64 trappole, suddivise in 8 blocchi da 8 trappole ciascuno (una per ogni possibile combinazione delle tre variabili, sempre insieme ad etanolo, più una trappola con solo etanolo utilizzata come controllo). Sebbene lo studio sia durato per tutta l'estate (da fine maggio a fine settembre) i dati analizzati riguardano solamente il primo mese, periodo nel quale si hanno i principali picchi di sfarfallamento. Dalle analisi è emerso che la combinazione composta dai tre attrattivi sembra essere la più efficace in termini di numero di specie catturate (una media di 3.5 specie catturate sulle 5 più comuni), sebbene tale numero non sia significativamente il più alto in assoluto. Per quanto riguarda, invece, il numero di esemplari catturati per le specie più numerose (due esotiche e una nativa) si è osservata un'affinità per i diversi attrattivi in relazione della specie in esame. *Neoclytus acuminatus* (specie esotica) è risultato molto affine all'attrattivo synD6, con un numero di catture significativamente maggiore per le combinazioni synD6 e K8 + synD6. *Xylotrechus stebbingi*, l'altra specie esotica, è stato catturato maggiormente dalla combinazione K6 e, in minor misura, dalle altre tre contenenti tale attrattivo (K6 + K8, K6 + synD6 e K6 + K8 + synD6). Infine, per la specie nativa *Clytus arietis*, il maggior numero di catture è stato effettuato dalle quattro combinazioni contenenti l'attrattivo K8. Queste informazioni risultano importanti per i monitoraggi da condurre sia nelle aree portuali che nelle circostanti aree boschive, sia in Italia che all'estero, in modo da aumentare le possibilità di intercettazioni di specie esotiche.

ABSTRACT

Introduction of alien wood boring beetles is a problem of global relevance. These insects are usually introduced accidentally into new territories within woody materials associated with international trade (goods and packaging). Repaired and protected by wood, they can overcome the adverse climatic conditions that occur during travel and evade controls at the points of arrival of goods. To optimize the interception of these species, it becomes essential to improve the existing monitoring protocols. In this context, the type of lure used acquires a primary importance in maximizing the efficiency of the catches. The aim of the study is to test three pheromones produced by species belonging to the subfamily of the *Cerambycinae* (racemic 3-hydroxyhexan-2-one -K6-, racemic 3-hydroxyoctan-2-one -K8- and syn-2,3- hexanediol -synD6-), in order to identify the compound or mixture of compounds that are most effective in the capture of broad-leaved *Cerambycidae*. The study took place at Bosco Nordio, a forest area in NE Italy between Chioggia (VE) and the Adige River, belonging to the Natura 2000 network. 64 traps were placed, divided into 8 blocks of 8 traps each (one for each possible combination of the three variables, always together with ethanol, plus a trap with only ethanol used as a control). Although the study lasted throughout the summer (from the end of May to the end of September), the data analyzed only concern the first month, the period in which the main flicker peaks occur. The analysis showed that the combination of the three lures seems to be the most effective in terms of the number of species captured (an average of 3.5 species captured in the 5 most common). The number of specimens captured for the most numerous species (two exotic and one native) was similar for the different pheromones in relation to the species under examination. *Neoclytus acuminatus* (exotic species) has been found to be very near to the synD6 lure, with a significantly higher number of catches for the synD6 and K8 + synD6 combinations. *Xylotrechus stebbingi*, the other exotic species, has been captured more by the combination K6 and, to a lesser extent, by the other three containing this lure (K6 + K8, K6 + synD6 and K6 + K8 + synD6). Finally, for the native species *Clytus arietis*, the four combinations containing the lure K8 made the greatest number of catches. This information is important for the monitoring to be carried out both in the port areas and in the surrounding wooded areas, both in Italy and abroad, in order to increase the possibility of interception of exotic species.

1. INTRODUZIONE

1.1 Le specie invasive

Per “specie aliena invasiva” si intende una specie che si è stabilita al di fuori della sua distribuzione naturale (passata o presente) e la cui introduzione e/o diffusione minaccia la biodiversità (IUCN, 2000). Alcune specie vengono introdotte in nuovi habitat volontariamente, come nel caso di animali domestici o di piante ornamentali o produttive, mentre in altri casi ciò avviene per caso, attraverso gli scambi commerciali o per naturale espansione a seguito di cambiamenti ambientali. Si stima che, dalla scoperta dell’America a oggi, siano state introdotte in Europa almeno 10.000 specie aliene, principalmente piante e insetti (DAISIE, 2008). Questo fenomeno è considerato a tutti gli effetti una minaccia globale poiché ha determinato il superamento di quelle barriere fisiche che in milioni di anni hanno diversificato e reso indipendenti i biomi del mondo (Holmes et al., 2009).

Una specie aliena che viene introdotta in un nuovo habitat può essere non adatta o non in grado di adattarsi e quindi estinguersi nel nuovo areale in breve tempo. Spesso, però, una specie aliena riesce ad adattarsi e a prosperare nel nuovo ambiente per lunghi periodi di tempo alterandone l'equilibrio, ad esempio entrando in competizione con una o più specie autoctone. Può succedere anche che la specie alloctona prenda il sopravvento su una o più specie originarie, portando le popolazioni autoctone persino all'estinzione. Uno dei frequenti motivi del vantaggio delle specie aliene su quelle autoctone è l'assenza di predatori e parassiti specifici che possano frenare la crescita di queste popolazioni.



Figura 1: Alcuni esempi di specie aliene introdotte in Italia: l’ailanto (*Ailanthus altissima*), il punteruolo rosso (*Rhynchophorus ferrugineus*) e lo scoiattolo grigio nordamericano (*Sciurus carolinensis*).

1.2 Gli insetti xilofagi

Viene definito *xilofago* in senso lato ogni organismo che necessita di utilizzare sostanze legnose per completare l'intero ciclo di sviluppo o almeno una sua parte (Battisti et al., 2013). Fra gli organismi xilofagi, gli insetti comprendono sia specie che si nutrono di tessuti corticali, sia specie che utilizzano il legno vero e proprio. Essendo il legno un substrato estremamente difficile da utilizzare, gli insetti xilofagi hanno sviluppato particolari caratteristiche morfologiche e funzionali che permettono loro di sfruttare una sostanza così coriacea e poco nutriente: piccole dimensioni, flessibilità dei ritmi biologici, enzimi specifici per aggredire i composti principali del legno, eso- o endo-simbiosi con funghi, batteri e/o protozoi, tempi lunghi o lunghissimi per lo sviluppo, strutture tegumentali apposite (mandibole robuste, ventriglio, micetangi, camere per simbionti).

Il *ventriglio* è l'ultima sezione dello stomodeo, tratto dell'apparato digerente con funzione di ingestione e prima elaborazione dell'alimento, che serve a tritare il cibo: l'azione meccanica viene compiuta grazie ad una possente muscolatura e a placche poste nella parete interna del ventriglio che svolgono un'azione di macinatura del cibo avviata da continue contrazioni muscolari.

I *micetangi* sono delle strutture tegumentali destinate a trattenere e conservare propaguli di funghi per diffonderli nella pianta ospite. Tali funghi possono essere utilizzati come mezzo per degradare il legno, rendendolo idoneo all'attacco degli insetti, tipico degli insetti floematici, che si sviluppano nel floema, oppure possono essere "coltivati" nel legno come nutrimento per l'ospite, tipico degli insetti xilematici, che si sviluppano a carico dello xilema.

Le *camere per simbionti* sono strutture interne che conservano batteri e/o protozoi simbionti che facilitano la degradazione del legno. Tali simbionti possono essere trasmesse alla prole per via ereditaria (meccanismo verticale, più sofisticato) o, dopo la nascita, tramite l'ingestione da parte della prole di cibo rigurgitato o feci contaminate dal simbionte, oppure tramite la contaminazione delle uova da parte della madre (meccanismi orizzontali) (Masutti e Zangheri, 2001).

L'attacco da parte di insetti xilofagi può interessare sia legno fresco che in opera, e può anche ripetersi sullo stesso substrato. Generalmente gli organismi che colpiscono materiale vivo attaccano lo stesso substrato una volta sola poiché, dopo la loro morte della pianta, le sostanze lignee subiscono delle alterazioni che non le rendono più idonee a un nuovo attacco da parte della stessa specie. Organismi che invece necessitano di legno stagionato o in opera possono colpire più volte lo stesso substrato che, essendo già morto, non subisce ulteriori alterazioni.

In ambito forestale, gli insetti xilofagi ricoprono un'importanza diversa a seconda dell'aspetto considerato. Da un punto di vista ecologico, tali insetti sono essenziali per il funzionamento degli ecosistemi forestali: essi accelerano la degradazione del legno, rimettendo in circolazione delle sostanze che altrimenti sarebbero poco disponibili per altri organismi;

determinano una selezione dei genotipi più resistenti e idonei all'ambiente locale attaccando alberi già indeboliti e deperenti; formano una consistente biomassa che concentra sostanze azotate reggendo numerose e complesse catene alimentari; favoriscono la biodiversità, e quindi la stabilità dell'ecosistema, creando microambienti favorevoli allo sviluppo di faune saproxiliche, cioè specie legate, almeno in uno stadio del proprio ciclo vitale, al legno deperiente o morto (Campanaro et al., 2010). Tuttavia, gli insetti xilofagi possono causare anche ingenti danni sia economici, quali la riduzione quali-quantitativa della produzione legnosa o il deprezzamento del legname, sia ambientali, quali morte di alberi di particolare valore, deperimento irreversibile di vasti soprassuoli, liberazione di carbonio organico, aumento del rischio di incendi.

Gli insetti xilofagi includono le specie aliene più pericolose e dannose, sia dal punto di vista biologico che dal punto di vista economico. Essi possono essere facilmente trasportati attraverso il commercio internazionale di prodotti legnosi, all'interno dei quali riescono a nascondersi, evitando i controlli fitosanitari e riuscendo a superare le condizioni avverse che possono presentarsi durante il trasporto. Inoltre, nessuna misura preventiva, nessuna cura e nessun trattamento dei materiali legnosi si è ancora dimostrato completamente efficace per eliminare il rischio di nuove introduzioni. Infine, le specie di insetti xilofagi sono spesso vettori di organismi fitopatogeni quali funghi o nematodi, come il caso di *Monochamus galloprovincialis*, vettore del nematode *Bursaphelenchus xylophilus*, agente del disseccamento dei pini (Rassati et al., 2014). Tra le specie xilofaghe invasive, le più numerose sono quelle appartenenti alle famiglie degli scolitidi e dei cerambicidi (Brockhoff et al., 2006; Rassati et al., 2015): per questo motivo è essenziale disporre di efficaci tecniche di monitoraggio e intercettazione, che permettano di ridurre al minimo i rischi di nuove introduzioni.



Figura 2: Esempi di danni causati da insetti xilofagi sul legno, sia vivo che in opera: a sinistra “azzurramenti” causati da un fungo simbiote; a destra fori di tarli su un mobile.

1.3 Il monitoraggio delle specie xilofaghe invasive

Il monitoraggio e l'intercettazione precoce di specie xilofaghe invasive nei luoghi più soggetti a rischio di introduzione, quali porti ed aeroporti internazionali, hanno assunto un'importanza fondamentale per aumentare le probabilità di bloccare sul nascere possibili invasioni, in modo da prevenire e limitare danni economici e ambientali. I metodi tradizionali di controllo solitamente sono la valutazione della presenza di fori o rosure su materiale legnoso importato e la verifica della presenza del marchio certificato ISPM-15 (International Standards on Phytosanitary Measures, FAO IPPC, 2013). La recente implementazione dei vari protocolli ISPM, che richiedono il trattamento fitosanitario e la certificazione dei materiali da imballaggio in legno può contribuire a ridurre, ma non ad eliminare, le nuove introduzioni di insetti xilofagi esotici: infatti, nonostante l'applicazione regolare di queste metodologie, ogni anno vengono introdotte in Europa nuove specie aliene (Humble e Allen, 2001). Risultano pertanto indispensabili strumenti di indagine sempre aggiornati e migliorati per un'efficace individuazione precoce degli insetti invasivi in arrivo.

Da questo punto di vista un ruolo decisivo è giocato dall'utilizzo di trappole per insetti xilofagi da posizionare all'interno di punti ad alto rischio di nuove introduzioni (quali porti, aeroporti, zone industriali, discariche), che permettono di aumentare le probabilità di intercettazione di specie esotiche (Allison e Redak, 2017). Queste, da un lato possono dare informazioni sull'effettivo arrivo di una specie aliena, dall'altro possono bloccare la diffusione di tali specie, considerando che per stabilirsi in un nuovo ambiente una specie necessita di un numero minimo di individui introdotti, fenomeno descritto come effetto Allee (Courchamp et al., 1999).

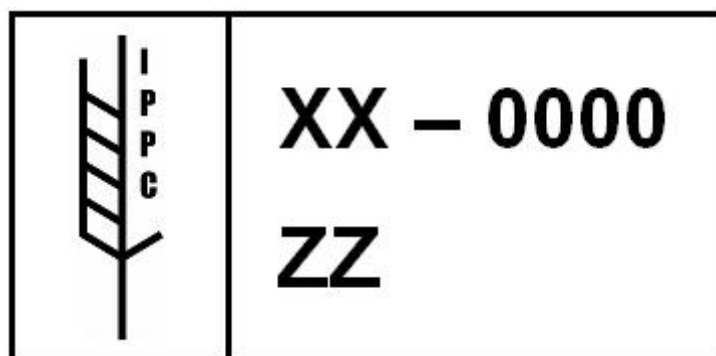


Figura 3: Fac-simile del marchio certificato ISPM-15 apposto sui materiali lignei. Nel codice sono indicate la nazione di provenienza e il tipo di trattamento applicato.

1.3.1 L'utilizzo dei semiochimici nella lotta biologica e nel monitoraggio

I *semiochimici* sono composti chimici volatili capaci, una volta rilasciati nell'ambiente, di influenzare il comportamento della specie ricevente. Negli insetti tali composti sono per lo più emessi in corrispondenza del tegumento dell'addome o con gli escrementi e fungono da segnali tra individui appartenenti alla stessa specie (*feromoni*) o a specie diverse (*allelochimici*) (Battisti et al., 2013).

Gli allelochimici, a loro volta, sono suddivisi in tre categorie: i *caiomoni* agiscono a favore della specie che li percepisce (ad esempio odori emessi dalla preda o dall'ospite e che attirano nemici); gli *allomoni* agiscono a favore della specie che li produce (ad esempio secrezioni repellenti); i *sinomini* agiscono a favore sia della specie che li produce che di quella che li percepisce (ad esempio le sostanze emesse da piante attaccate per attirare i nemici naturali del fitofago). La stessa sostanza può tuttavia fungere da caiomone, allomone o sinomone a seconda dell'effetto sulle specie riceventi (Tremblay, 1999).

Feromone è invece il nome dato a sostanze biochimiche prodotte da ghiandole esocrine che sono emesse dagli organismi viventi a basse concentrazioni con la funzione di inviare segnali ad altri individui della stessa specie (McNaught e Wilkinson, 1997). I feromoni *sessuali* sono in genere miscele di alcoli o esteri con cui le femmine richiamano i maschi nel periodo dell'accoppiamento. I feromoni *di aggregazione*, invece, vengono emessi con gli escrementi da insetti che così danno segnali di vario tipo a distanza ad individui della stessa specie (feromoni traccia, di coesione, di allarme centripeti, marcatori, gregarizzanti). Infine, i feromoni *di disaggregazione* funzionano come quelli di aggregazione, ma con un meccanismo opposto (feromoni di allarme centrifughi, territoriali, antiaggreganti) (Battisti et al., 2013).

Gli *attrattivi* sono infine composti volatili costituiti da una o più sostanze attrattive per la specie oggetto di monitoraggio. Gli attrattivi utilizzati in campo forestale sono in genere feromoni di sintesi disponibili in formulati commerciali di pronto impiego per attirare gli insetti in trappole o esche, sia per scopi di monitoraggio che per vere e proprie azioni di lotta. Si tratta, solitamente, di feromoni sessuali, ma nel caso degli scolitidi vengono usati feromoni di aggregazione oppure composti antiaggreganti. I prodotti si trovano in commercio sotto forma di dispenser costituiti da ampolline o tamponi impregnati e sigillati in polietilene microporoso, da utilizzare per l'innescamento di trappole o per l'impiego diretto su alberi in piedi o tronchi esca. I feromoni sintetici possono essere utilizzati in vari modi. (Battisti et al., 2013)

Il metodo della **confusione sessuale** si basa sulla diffusione di alte concentrazioni di feromoni sessuali allo scopo di coprire le segnalazioni emesse dalle femmine, impedendo così ai maschi di individuarle e quindi accoppiarsi. Questa tecnica è efficace solo per specie provviste di

feromoni sessuali e con riproduzione anfigonica, con femmine poco abili nel volo a distanza e in popolazioni a bassa densità: se il numero di insetti in volo è elevato vi è sempre una quota importante di maschi che riesce ad accoppiarsi, vanificando l'operazione. La sua applicazione prevalente è contro i lepidotteri in piantagioni da legno o in vivai, ma non in bosco. Molto simile è il metodo del **disorientamento sessuale**, ma si basa sulla creazione di numerosi punti di emissione di feromone a bassa concentrazione: in questo modo i maschi sono indotti a seguire false tracce che li distolgono dall'accoppiamento. Questa tecnica è abbastanza diffusa nella difesa della vite e delle piante da frutto contro i lepidotteri defogliatori, ma non trova applicazioni in campo forestale (Battisti et al., 2013).

Il metodo delle **catture massali** si pone invece l'obiettivo di produrre una forte riduzione del numero di insetti mediante l'impiego di trappole o esche caricate con feromoni di aggregazione. In ambiente forestale questo tipo di lotta può trovare applicazione contro gli insetti xilofagi, soprattutto contro coleotteri scolitidi, mentre è del tutto inefficace contro i defogliatori. Questo metodo, che permette di abbattere in misura significativa le popolazioni di xilofagi, può richiedere un elevato numero di dispositivi di cattura (Battisti et al., 2013).

Infine, i **monitoraggi** hanno lo scopo di ottenere informazioni sulla presenza e biologia di una specifica specie target e quindi necessitano l'utilizzo di attrattivi specie-specifici. Nei casi in cui, invece, il monitoraggio sia indirizzato all'intercettazione di specie esotiche, lo scopo è di catturare il maggior numero possibile di specie, in alcuni casi anche appartenenti a famiglie diverse. L'utilizzo di un elevato numero di trappole e attrattivi diversi, specifici per varie specie e famiglie, è generalmente escluso, poiché aumenterebbero di molto i costi associati. Un metodo che permette di ridurre le spese consiste nell'utilizzo di una combinazione di diversi attrattivi generici e feromoni specifici, definito *multi-lure trapping* (Schwalbe e Mastro, 1988). Ad esempio, in uno studio di tre anni condotto in quattro porti italiani, sono state messe a confronto trappole *single-lure* (un solo attrattivo per trappola) e *multi-lure* (più attrattivi sulla stessa trappola): la media delle catture effettuate era significativamente superiore nelle seconde e marginalmente superiore rispetto alla somma di tutte le trappole *single-lure*, indicando l'efficacia della tecnica *multi-lure* (Rassati et al., 2014).

Per gli insetti xilofagi è già largamente utilizzata una miscela di caïromoni che simulano le sostanze volatili emesse da piante deperenti, quali α -pinene, etanolo e metil-butenolo, e feromoni di insetti xilofagi corticicoli, quali ipsenolo e ipsdienolo (Rassati et al., 2014). Tra le sostanze volatili emesse dalle piante ospiti, l'etanolo è comunemente utilizzato nei monitoraggi in Nord America, per verificare la presenza di insetti xilofagi esotici (Sweeney et al., 2014). Il suo utilizzo in combinazione con feromoni specifici sulla stessa trappola porta un effetto sinergico che permette di

aumentare le catture di cerambicidi (Hanks et al., 2012; Sweeney et al., 2014; Miller et al., 2015, 2016, 2017; Hayes et al., 2016). Ad esempio, l'utilizzo di queste miscele associata a trappole *multi-funnel* ha permesso di catturare 14 specie esotiche nel corso di un monitoraggio nazionale eseguito nel 2012 in Italia, che mirava alla cattura di diverse famiglie (scolitidi, buprestidi e cerambicidi) (Rassati et al., 2015). In un altro studio condotto da Rassati et al. (2018) sono state testate due tipologie di attrattivi nell'ambito del monitoraggio di cerambicidi e buprestidi: una composta di solo etanolo e una composta da etanolo e una combinazione di diversi attrattivi (racemic 3-hydroxyhexan-2-one, racemic 3-hydroxyoctan-2-one, syn-2,3-hexanediols, (E/Z)-fusicumol, e (E/Z)-fusicumol acetate). I risultati hanno evidenziato come le trappole attivate col mix di attrattivi fossero molto più efficaci sia nella ricchezza di specie che nell'abbondanza di individui catturati appartenenti alla famiglia dei cerambicidi.

Tuttavia, nonostante i buoni risultati ottenuti da questi studi, è bene prestare molta attenzione alle tipologie di attrattivi combinati che vengono utilizzati nell'ambito dei monitoraggi, poiché può anche accadere che la combinazione annulli l'attrattività della trappola verso alcune specie (Collignon et al., 2016; Miller et al., 2017).

Per questo motivo continuano gli studi mirati al perfezionamento di tali miscele di attrattivi e che ne verifichino gli effetti combinati, per ottenere mezzi sempre più efficaci da utilizzare nel monitoraggio delle specie invasive. Sweeney et al. (2014) hanno condotto uno studio in Russia utilizzando numerosi attrattivi (feromoni specifici per cerambicidi e attrattivi volatili emessi dalle piante ospiti) per verificare come le diverse combinazioni influenzassero la quantità di specie catturate. Da questo studio è emerso come combinazioni diverse attirino maggiormente specie o sottofamiglie diverse, senza trovare una tipologia di attrattivo più efficace in assoluto.

1.4 I coleotteri Cerambicidi

La famiglia Cerambycidae, dell'ordine dei Coleoptera, rappresenta uno dei gruppi di coleotteri più numerosi, con una stima di circa 35.000 specie presenti al mondo (Švácha e Lawrence, 2014). Essa comprende insetti di dimensioni variabili che possono andare da pochi millimetri (come nel caso del *Cyrtinus pygmaeus*) a più di 160 mm (*Titanus giganteus*) (Linsley, 1959). Il particolare che maggiormente caratterizza gli individui adulti sono le lunghe antenne, che possono essere lunghe anche il doppio della lunghezza del corpo.

I cerambicidi sono insetti che si trovano comunemente negli ambienti boschivi, poiché lo sviluppo delle larve avviene sotto corteccia e nel legno di alberi deperenti, recentemente morti, o in via di decomposizione (Linsley, 1959). Tutte le specie sono fitofaghe (si nutrono di parti vegetali),

almeno allo stadio larvale. Le larve, poi, sono prevalentemente xilofaghe e scavano lunghe gallerie, entro conifere e latifoglie, dalla tipica sezione ellittica.



Figura 4: Due esempi di cerambicidi. A sinistra la *Rosalia alpina*, a destra il *Monochamus galloprovincialis*.

Il ciclo biologico è abbastanza simile nelle varie specie, anche se variano le sedi e i tempi dello sviluppo larvale. Dopo l'accoppiamento, il maschio di molte specie rimane con la femmina, alla ricerca del sito adatto alla deposizione delle uova, per ripetere l'accoppiamento e per allontanare i maschi rivali (Hanks et al., 1996). Linsley (1959) ipotizzò che il senso maggiormente utilizzato per la ricerca del sito adatto a deporre le uova fosse l'olfatto, con cui gli adulti reagiscono alle sostanze volatili emesse dalle piante e ai feromoni sessuali. Poiché le larve non possono disperdersi dopo la schiusa, l'ovideposizione in siti non idonei o di bassa qualità può avere significanti influenze sulle larve. Le larve restano nelle uova per alcune settimane e, dopo la schiusa, si nutrono a spese dei tessuti sottocorticali. In seguito, una volta maturate, penetrano nel legno (Furniss e Carolin, 1977). Le larve di alcune specie penetrano nel legno solo per alcuni centimetri, altre scavano lunghe gallerie che percorrono l'albero in ogni direzione. Le gallerie delle larve sono facilmente riconoscibili poiché vanno via via ad allargarsi seguendo la crescita della larva e sono sempre ingombre di rosura, grossolana e asciutta. Questi insetti riescono ad utilizzare la cellulosa grazie a specifici enzimi digestivi; il ruolo svolto da funghi simbiotici, presenti nel canale alimentare o sviluppatisi nelle gallerie, ricopre un ruolo secondario. Compiuta la metamorfosi, gli adulti fuoriescono da un foro di forma ellittica, ovale o circolare praticato da essi stessi. Gli adulti sono per lo più glicofagi, in alcuni casi fillofagi o corticicoli, sono piuttosto longevi e in attività da maggio a settembre (svernano come larve nel legno). Possono attaccare frutta e noci, uva, caffè, cacao, verdure e campi coltivati (Linsley, 1959).

Gli alberi attaccati da cerambicidi sono quasi sempre destinati a morire nel corso di una o due stagioni a causa delle profonde ferite causate dalle larve, che sono anche causa di forti

deprezzamenti del legname colpito. I sintomi sulle piante colpite si manifestano tardivamente, con un progressivo ingiallimento della chioma seguito da arrossamento e caduta di aghi o foglie.

1.4.1 I feromoni sessuali e di aggregazione nei Cerambicidi

Nonostante l'importanza economica di molte specie di cerambicidi nei loro paesi nativi e la minaccia che rappresentano come potenziali invasori in tutto il mondo, si sa molto poco della loro biologia, anche di specie comuni e ben note. Fino a poco tempo fa, ancora meno si sapeva della loro ecologia chimica, con feromoni attrattivi identificati in meno di 10 specie (Allison et al., 2004). Tuttavia, durante l'ultimo decennio, sono stati identificati feromoni sessuali e di aggregazione da più di 100 specie (Millar e Hanks, 2017), appartenenti alle sottofamiglie dei *Cerambycinae* (Fettköther et al., 1995; Leal et al., 1995; Allison et al., 2004; Lacey et al., 2004, 2007), *Spondylidinae* (Silk et al., 2007; Sweeney et al., 2010), *Prioninae* (Cervantes et al., 2006), *Lamiinae* (Zhang et al., 2002; Nehme et al., 2009; Fonseca et al., 2010, Pajares et al., 2010; Teale et al., 2011) e *Lepturinae* (Ray et al., 2011). In contrasto con l'ordine Lepidoptera, in cui l'attrazione di una particolare specie per un'esca sintetica dipende fortemente dal rapporto relativo e dalla chiralità dei componenti feromonici (Roelofs e Cardé, 1977), nei cerambicidi spesso i feromoni attraggono numerose specie appartenenti allo stesso genere o sottofamiglia (anche provenienti da continenti diversi) e hanno quindi ottime potenzialità come strumenti di monitoraggio per cerambicidi nativi ed esotici (Millar et al., 2009; Hanks e Millar, 2012).

Come visto, i principali tipi di feromoni utilizzati nell'ambito del monitoraggio sono di due tipi: feromoni sessuali (prodotti dalle femmine e attrattivi per i maschi) e feromoni di aggregazione (prodotti dai maschi e attrattivi per entrambi i sessi).

Il primo feromone sessuale appartenente ai cerambicidi è stato identificato dal *Prionus californicus* come acido (3R,5S)-3,5-dimethyldodecanoic, cui è stato attribuito il nome comune di acido prionico (Rodstein et al., 2009). Il feromone è altamente attrattivo (esche contenenti dosi inferiori al milligrammo restano attrattive per diverse settimane) e attira i coleotteri maschi da distanze di centinaia di metri. Inoltre, l'acido prionico si è rivelato altamente attrattivo anche per i maschi del coleottero asiatico *Dorystenes granulatus* (Wickham et al., 2016a), il che suggerisce che la struttura del feromone si sia conservata almeno tra questi due generi. Una seconda classe strutturale di feromoni sessuali consiste nel 2,3-alkanedioli, scoperta in un altro genere dei Prioninae. Le femmine di numerose specie appartenenti al genere *Tragosoma* sembrano utilizzare vari stereoisomeri del 2,3-hexanediol come feromoni sessuali (Ray et al., 2012) mentre il feromone sessuale dell'asiatico *Megopis costipennis* consiste nel (2R,3S)-2,3-octanediol (Wickham et al.,

2016b). Sorprendentemente, poi, le stesse strutture di 2,3-alkanedioli sono usate come feromoni di aggregazione da molte specie appartenenti alla sottofamiglia Cerambycinae (Hanks e Millar, 2016).

A oggi, tutti i feromoni conosciuti delle specie appartenenti alle sottofamiglie dei Cerambycinae, Lamiinae e Spondylidinae sono feromoni di aggregazione (Hanks e Millar, 2016). Questi sono stati i primi tipi di feromoni identificati dai cerambicidi, da Iwabuchi e i suoi collaboratori, che hanno isolato i composti (S)-2-hydroxyoctan-3-one e (2S,3S)-2,3-octanediol dallo *Xylotrechus pyrrhodeus* (Iwabuchi, 1986); sempre Iwabuchi, ha poi dimostrato che anche lo *X. chinensis* produce gli stessi due composti (Iwabuchi et al., 1987). Nei successivi 15 anni numerose strutture correlate sono state individuate nei maschi di altre specie, compresi il (R)-3-hydroxyhexan-2-one, il (2R,3R)-hexanediol e il (2S,3R)-2,3-hexanediol nei cerambicidi europei *Hylotrupes bajulus* e *Pyrrhidium sanguinium* (Fettköther et al., 1995; Schröder et al., 1994); (R)-3-hydroxyhexan-2-one e (R)-3-hydroxyoctan-2-one dall'asiatico *Anaglyptus subfasciatus* (Leal et al., 1995); (S)-2-hydroxydecan-3-one e 3-hydroxydecan-2-one dall'asiatico *Xylotrechus quadripes* (Jayarama et al., 1998). Successivamente, Hanks et al. (2007) hanno scoperto che singole specie appartenenti ai Cerambycinae emettono specifici enantiomeri (ad esempio (R)-3-hydroxyhexan-2-one), ma che la presenza di altri enantiomeri negli attrattivi artificiali non riduce l'efficacia. Hanno quindi ipotizzato che la struttura del feromone 2,3-diol/hydroxyketone si sia fortemente conservata all'interno della sottofamiglia e che, quindi, composti di questo tipo potessero essere efficaci per molte specie appartenenti ai Cerambycinae.

L'uso di queste strutture strettamente correlate per specie in diversi generi e tribù, e da diversi continenti, suggerisce che i feromoni di hydroxyketone e 2,3-alkanedioli si siano altamente conservati all'interno della sottofamiglia, e questo è stato confermato dall'identificazione di questi tipi di strutture nei feromoni per numerose specie di Cerambycinae provenienti da diverse regioni del mondo. Sembra quindi che i feromoni di Cerambycinae possano essere caratterizzati da tipi strutturali largamente divergenti, ma con diffusa condivisione di particolari tipi strutturali tra le specie maggiormente affini (Hanks e Millar, 2016).

2. OBIETTIVI DELLO STUDIO

Lo scopo principale di questo studio è quello di testare l'efficacia di tre attrattivi (racemic 3-hydroxyhexan-2-one, racemic 3-hydroxyoctan-2-one e syn-2,3-hexanediol), al fine di individuare il composto o la miscela di composti più efficaci nella cattura di insetti appartenenti alla famiglia dei Cerambycidae associati a latifoglie. In particolare, sono state testate tutte le possibili combinazioni dei tre attrattivi (da soli, in coppia o l'insieme dei tre) valutando poi il numero di specie e l'abbondanza di cerambicidi catturati.

In questo modo, sarà possibile perfezionare i protocolli di monitoraggio applicati in zone suscettibili a nuove introduzioni di specie invasive di insetti xilofagi, utilizzando combinazioni mirate, scelte per la loro maggiore efficacia.

3. MATERIALI E METODI

3.1 Il sito dello studio

Lo studio è stato condotto presso Bosco Nordio (Fig. 5), una riserva integrale che si estende per 113 ettari, situata sull'apparato dunale più antico del litorale tra Chioggia (provincia di Venezia) e il Po, che probabilmente risale ad almeno un paio di millenni. I sistemi dunali del bosco e del tratto di Rosolina mare sono la risultante dell'azione sedimentaria del Po, dell'Adige e del mare durante gli ultimi 4000 anni.

L'elevato valore naturalistico è legato al carattere relittuale di questo ambiente costiero, un habitat una volta ben più rappresentato. La presenza di entità mediterranee che si trovano al limite settentrionale del loro areale di distribuzione ne fa uno degli ambienti più interessanti dal punto di vista fitogeografico e bioclimatico del Veneto. Per la presenza di habitat di interesse comunitario, il Bosco Nordio rientra nella rete di aree protette del sistema "Natura 2000", istituita in attuazione della Direttiva comunitaria "Habitat" (Dir. 92/43).

Il bosco presenta specie mediterranee come il leccio (*Quercus ilex*), il pungitopo (*Ruscus aculeatus*), la *Lonicera etrusca* ed entità inserite all'interno delle "Liste rosse regionali delle piante d'Italia", di piante rare o rarissime nella flora italiana (lilatro, *Osyris alba*, elleborina palustre). L'aspetto geomorfologico del Bosco Nordio, con ripetute ondulazioni dunali, condiziona l'articolazione vegetazionale che è caratterizzata, soprattutto, da cenosi a leccio che si stabiliscono in linea generale sulla parte più alta delle dune mentre nelle depressioni infradunali è presente il querceto caducifoglio a farnia (*Quercus robur*). Questa alternanza ripetitiva, ben visibile soprattutto nel settore più meridionale, comporta la difficoltà in molte situazioni di separare nettamente i due tipi di vegetazione per la presenza di fenomeni di compenetrazione e di sovrapposizione dovuti allo stretto contatto fra le due fitocenosi.

Le principali formazioni che possono essere osservate all'interno del Bosco sono l'**orno-lecceta** (formazione composta dalle due specie dominanti, leccio e orniello, con presenza locale di pino domestico, spesso in fase deperiente), il **querceto caducifoglio** (negli avvallamenti fra le dune, composto da *Quercus robur* e *Fraxinus ornus*, cui si associano *Tilia cordata*, *Pinus pinaster* e *Pinus pinea*), la **pineta** (ormai frammentata, composta prevalentemente da *Pinus pinea*) e il **pioppeto** (di origine antropica, attualmente in fase di smantellamento ma ancora presente come residuo in zone marginali).



Figura 5: Mappa di Bosco Nordio con evidenziate le dislocazioni degli 8 blocchi di trappole.

3.2 Trappole utilizzate e loro posizionamento

Per questo studio sono state utilizzate trappole *multi-funnel* prodotte dall'azienda canadese Synergy Semiochemicals Corporations® (Fig. 6). Queste sono composte da 12 imbuto posti in successione lungo la verticale e da un contenitore terminale avvitato alla base dell'ultimo imbuto per la raccolta degli insetti. Basandosi sui risultati dello studio di Rassati et al. (2018), si è deciso di utilizzare trappole di colore verde, il più efficace dei due utilizzati, anche per alcune sottofamiglie di cerambicidi. Il contenitore di raccolta è del tipo *wet*, ovvero riempito con glicole etilenico, liquido molto versatile, in quanto non ha né capacità attrattive né repellenti e permette un buono stato di conservazione degli esemplari catturati.

Le trappole sono state posizionate a circa un metro e mezzo dal suolo, nel sottobosco. Ogni trappola è stata siglata, tramite un'etichetta, per permetterne l'univoca identificazione (il codice univoco era del tipo [n° blocco]-[n° trappola]).



Figura 6: Una delle trappole utilizzate nello studio, su cui si possono vedere le buste contenenti gli attrattivi e l'etichetta identificativa applicata (gialla).

3.3 Attrattivi utilizzati

Gli attrattivi utilizzati sono: il racemic 3-hydroxyhexan-2-one (siglato K6), il racemic 3-hydroxyoctan-2-one (siglato K8) e il syn-2,3-hexanediol (siglato synD6). Tutti questi attrattivi sono feromoni o loro comuni componenti, già testati su numerose specie di cerambicidi. Nel 2015, Miller et al. hanno condotto uno studio in Georgia (Stati Uniti) testando l'efficacia dei 3 attrattivi, utilizzati singolarmente o in sinergia con l'etanolo, sulle catture di insetti appartenenti alla sottofamiglia dei Cerambycinae. Dallo studio è emerso che le diverse specie oggetto dello studio erano attratte maggiormente ognuna da un feromone diverso (ad eccezione dell'*Anelaphus parallelus*, catturato da trappole innescate sia con 3-hydroxyoctan-2-one che con syn-2,3-hexanediol) e come l'utilizzo dell'etanolo in sinergia coi feromoni aumentasse il numero di catture per sette specie.

In questo studio, invece, sono state testate tutte le combinazioni possibili dei tre diversi attrattivi: presi singolarmente, a coppie o tutti e tre insieme. L'etanolo era invece presente in ogni combinazione e anche da solo. In tutto, le combinazioni diverse testate sono state 8.

Gli attrattivi sono caricati su dispositivi di rilascio (prodotti dalla Contech Inc., Delta, BC) che consistono in pezzi di spugna cellulosa imbevuti con 1.4 g di attrattivo (dimensioni 7x5x0.5 cm) posti dentro una busta di polietilene termosaldata. Il tasso di rilascio di questi dispositivi, stimato ad una temperatura di 20°C, è di 20-25 mg/giorno. Infine, come ulteriore sostanza attrattiva, è stato utilizzato anche l'etanolo, un alcool altamente volatile.

L'etanolo è stato sostituito ogni due raccolte dei campioni (ogni quattro settimane) mentre gli altri attrattivi sono stati sostituiti a circa metà del periodo di durata della sperimentazione (otto settimane).

3.4 Disegno sperimentale

La variabile testata è stata solo una: il tipo di attrattivo, nelle otto diverse combinazioni illustrate. Lo studio è stato condotto in otto blocchi posizionati all'interno del sito, e in ognuno di essi sono state posizionate otto trappole, in modo da poter testare tutte le possibili combinazioni in tutti i blocchi, per un totale di 64 trappole. In ogni blocco, le trappole sono state disposte lungo un transetto e distanziate di almeno 25-30 m le une dalle altre, mentre ogni blocco distava almeno 50 m dagli altri. Infine, per ogni blocco, le trappole sono state disposte in maniera casuale.

La specie dell'albero su cui è stata attaccata la trappola può influenzare la cattura delle specie. In questo studio, però, non è stata considerata, posizionando le trappole su alberi scelti casualmente: in questo modo, questo parametro dovrebbe solo aggiungere un disturbo nei termini di errore. Al momento del posizionamento delle trappole, tuttavia, è stata comunque annotata la specie dell'albero, in modo da poterla considerare nel caso di risultati anomali.

Nelle immagini sottostanti (Figure 7 e 8) sono riportate le disposizioni delle trappole e le specie di alberi su cui queste sono state posizionate:

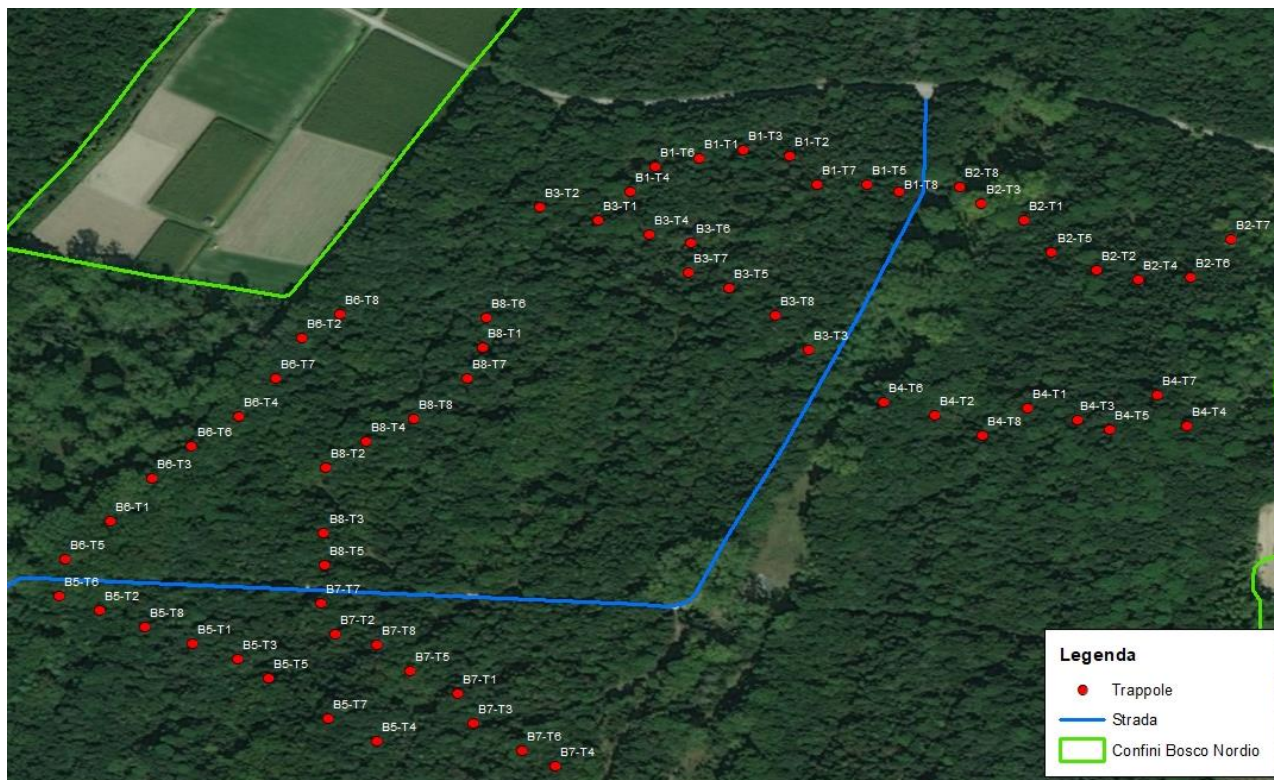


Figura 7: Schema dettagliato con le disposizioni delle trappole negli 8 blocchi.

T1 = racemic 3-hydroxyhexan-2-one + etanolo

T2 = racemic 3-hydroxyoctan-2-one + etanolo

T3 = syn-2,3-hexanediol + etanolo

T4 = racemic 3-hydroxyhexan-2-one + racemic 3-hydroxyoctan-2-one + etanolo

T5 = racemic 3-hydroxyhexan-2-one + syn-2,3-hexanediol + etanolo

T6 = racemic 3-hydroxyoctan-2-one + syn-2,3-hexanediol + etanolo

T7 = racemic 3-hydroxyhexan-2-one + racemic 3-hydroxyoctan-2-one + syn-2,3-hexanediol + etanolo

T8 = etanolo

1	Etanolo	K6 synD6	K6 K8 synD6	K8	synD6	K6	K8 synD6	K6 K8
	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>
2	Etanolo	synD6	K6	K6 synD6	K8	K6 K8	K8 synD6	K6 K8 synD6
	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>
3	synD6	Etanolo	K6 synD6	K6 K8 synD6	K8 synD6	K6 K8	K6	K8
	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>
4	K8 synD6	K8	Etanolo	K6	synD6	K6 synD6	K6 K8 synD6	K6 K8
	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>
5	K8 synD6	K8	Etanolo	K6	synD6	K6 synD6	K6 K8 synD6	K6 K8
	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Fraxinus ornus</i>
6	K6 synD6	K6	synD6	K8 synD6	K6 K8	K6 K8 synD6	K8	Etanolo
	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Quercus ilex</i>
7	K6 K8 synD6	K8	Etanolo	K6 synD6	K6	synD6	K8 synD6	K6 K8
	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Quercus ilex</i>
8	K6 synD6	synD6	K8	K6 K8	Etanolo	K6 K8 synD6	K6	K8 synD6
	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus ilex</i>

Figura 8: La figura riassume la disposizione delle 8 combinazioni di attrattivo all'interno degli 8 blocchi. Il tipo di combinazione di attrattivi per ogni trappola è indicato dalle sigle K6, K8 e synD6. Anche se presente in tutte le combinazioni, l'etanolo è indicato solo nelle trappole prive di altri attrattivi. Sotto ogni trappola è indicata la specie di albero a cui questa è stata attaccata.

K6 = racemic 3-hydroxyhexan-2-one

K8 = racemic 3-hydroxyoctan-2-one

synD6 = syn-2,3-hexanediol

3.5 Raccolta dei campioni

Le trappole sono state posizionate il 9 maggio 2018. La raccolta del materiale presente all'interno delle trappole è avvenuta ogni due settimane. Nell'arco del periodo di esposizione dal 9 maggio al 5 settembre sono stati compiuti un totale di 8 controlli. A ogni raccolta, i contenitori delle trappole sono stati svuotati e gli insetti presenti all'interno sono stati posti in apposite provette riempite di alcool 96°, con annotati il periodo di raccolta e il codice identificativo della trappola (ogni provetta era quindi siglata con un codice del tipo [periodo di raccolta]-[n° blocco]-[n° trappola]). I contenitori posti alla base delle trappole sono poi stati riempiti nuovamente con glicole etilenico.

Il materiale raccolto è stato successivamente smistato in laboratorio, separando gli esemplari di cerambicidi dal resto degli insetti presenti. Tutti gli insetti catturati sono stati comunque conservati in fiale numerate e riempite di alcool puro 96° diluito in soluzione al 50%. Gli esemplari di cerambicidi sono stati poi identificati a livello di specie.

3.6 Analisi statistica

Per testare l'effetto del tipo di attrattivo (categorica) sul numero di specie catturate e sull'abbondanza delle singole specie è stato utilizzato un modello lineare con effetti misti. Nel modello il numero totale di specie catturate per trappola per blocco, o la loro abbondanza, è stata considerata come variabile dipendente, mentre il blocco come fattore casuale. L'abbondanza delle specie analizzate è stata log-trasformata per incrementare la linearità del modello. Per ottenere di volta in volta il modello più attendibile è stato utilizzato un approccio di "backward stepwise deletion" basato sui p-value. Le analisi sono state elaborate utilizzando il software per l'analisi statistica "R".

4 RISULTATI

4.1 Risultati generali

Sebbene lo studio sia durato in tutto quattro mesi, i dati qui considerati riguardano solo le prime due raccolte di campioni, avvenute in data 23 maggio e 6 giugno, periodo in cui avviene la maggior parte degli sfarfallamenti. In questo arco di tempo sono infatti stati catturati 1414 esemplari di cerambicidi, ripartiti in 14 specie. Tra queste, due specie sono esotiche (*Xylotrechus stebbingi* e *Neoclytus acuminatus*) – benché già note in territorio italiano – mentre le restanti sono native dell'Europa. Le due specie esotiche sono state quelle catturate in maggior numero (da sole costituiscono l'82% degli esemplari catturati), con 796 esemplari catturati di *N. acuminatus* (la più numerosa in assoluto) e 369 esemplari catturati di *X. stebbingi*. Tra le native, invece, la specie più numerosa è risultata *Clytus arietis*, con 79 esemplari catturati. Delle 14 specie catturate, sono stati analizzati solo i dati relativi alle 5 specie più comuni: le tre già indicate, *Plagionotus detritus* e *Xylotrechus antilope*. I risultati generali relativi a queste cinque specie sono riportati in Tab. 1 e Fig. 9:

SPECIE	STATUS	TOT	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
<i>Neoclytus acuminatus</i>	Esotica	796	8	2	290	21	54	340	76	5
<i>Xylotrechus stebbingi</i>	Esotica	369	131	4	5	60	69	12	78	10
<i>Clytus arietis</i>	Nativa	79	1	21	0	18	2	25	12	0
<i>Plagionotus detritus</i>	Nativa	29	0	1	0	16	0	0	12	0
<i>Xylotrechus antilope</i>	Nativa	15	4	3	0	0	1	2	5	0
TOT			144	31	295	115	126	378	183	15

Tabella 1: 5 specie più comuni catturate nel corso della sperimentazione, in ordine di numerosità. Sono inoltre riportati i risultati parziali relativi ad ogni combinazione di attrattivo.

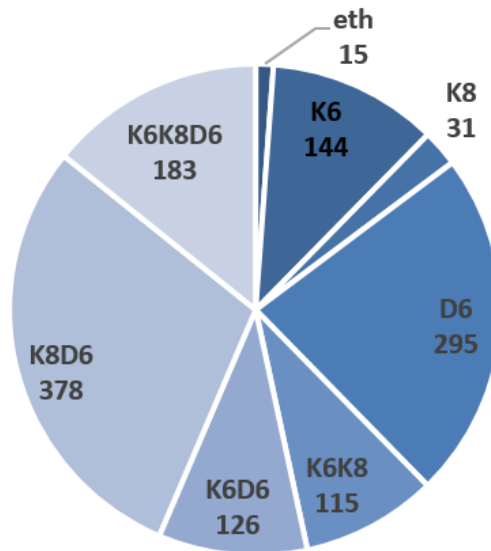


Figura 9: Grafico riepilogativo del numero di catture per ogni combinazione di attrattivo.

Il numero di specie catturate è risultato essere influenzato dal tipo di attrattivo. Sebbene non vi sia una combinazione che ha realizzato un numero di catture superiore a tutte le altre, la trappola attivata con tutti e tre gli attrattivi (K6 + K8 + synD6) è risultata essere la più efficace, con numero di specie catturate simile alle combinazioni K6 + K8 e K8 + synD6 ma significativamente superiore a tutte le restanti (Fig. 10).

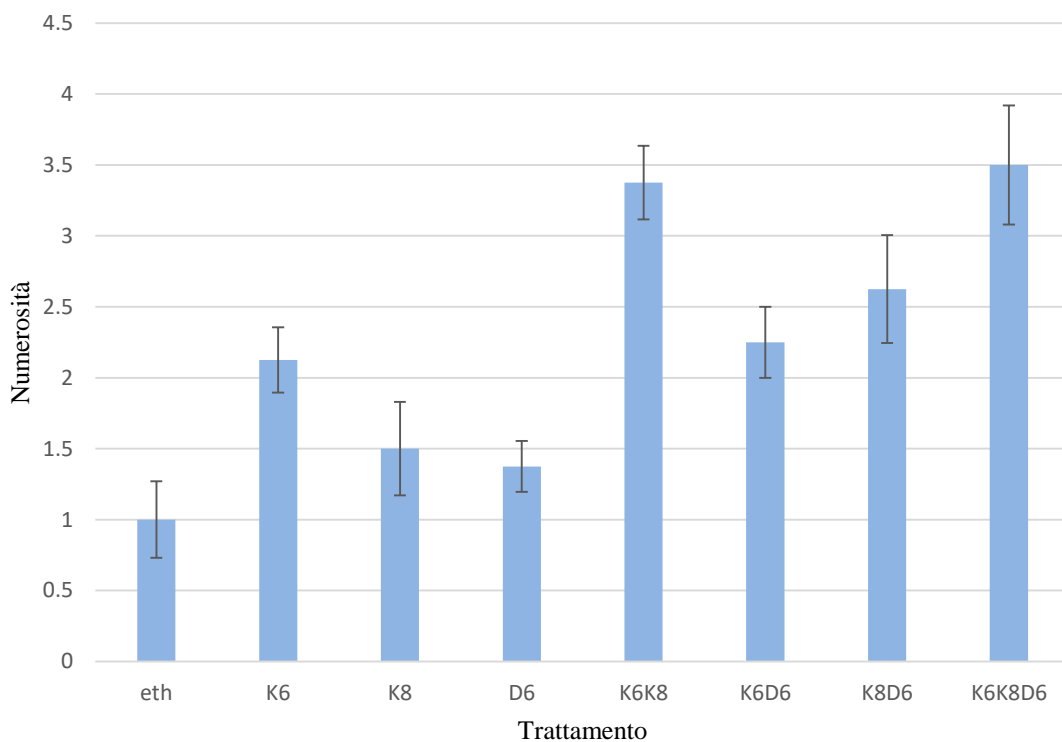


Figura 10: Numero di specie ± errore standard catturate con le diverse combinazioni di attrattivi.

4.2 Effetto degli attrattivi testati sull'abbondanza della specie esotica *N. acuminatus*



Figura 11: Esemplare di *Neoclytus acuminatus*.

La specie *Neoclytus acuminatus* (Fig. 11) è stata catturata da tutte le combinazioni di attrattivo. Tuttavia, come illustrato dal grafico (Fig. 12), un numero di catture significativamente maggiore si è verificato per le trappole attivate con gli attrattivi synD6 e K8 + synD6 (rispettivamente 290 e 340 esemplari catturati).

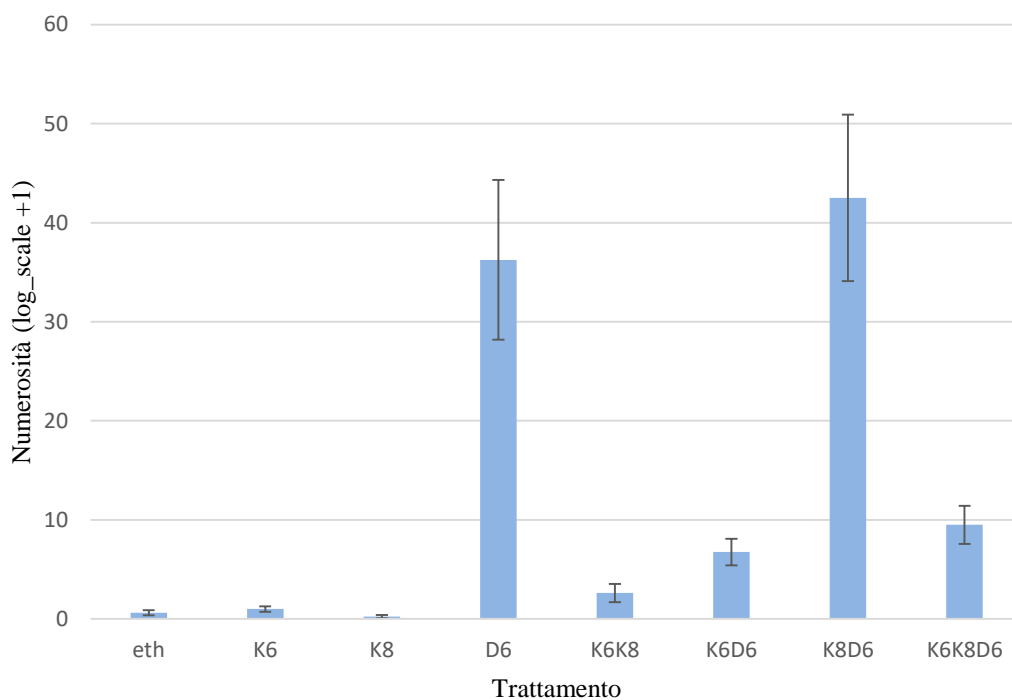


Figura 12: Numero di esemplari di *N. acuminatus* \pm errore standard catturati con le diverse combinazioni di attrattivi. I valori sono stati log-trasformati per incrementare la normalità nella distribuzione.

4.3 Effetto degli attrattivi testati sull'abbondanza della specie esotica *X. stebbingi*



Figura 13: esemplare di *Xylotrechus stebbingi*.

Anche la seconda specie esotica, *Xylotrechus stebbingi* (Fig. 13), è stata catturata da tutte le tipologie di trappola. Tuttavia, anche in questo caso, alcune combinazioni si sono rivelate più attrattive di altre: la trappola attivata col racemic 3-hydroxyhexan-2-one da solo (K6) è stata la più efficace di tutte e le trappole attivate con K6 o K6 + K8 + synD6 hanno effettuato un numero di catture significativamente maggiore rispetto alle combinazioni prive dell'attrattivo K6, catturando rispettivamente 131 e 78 esemplari (Fig. 14).

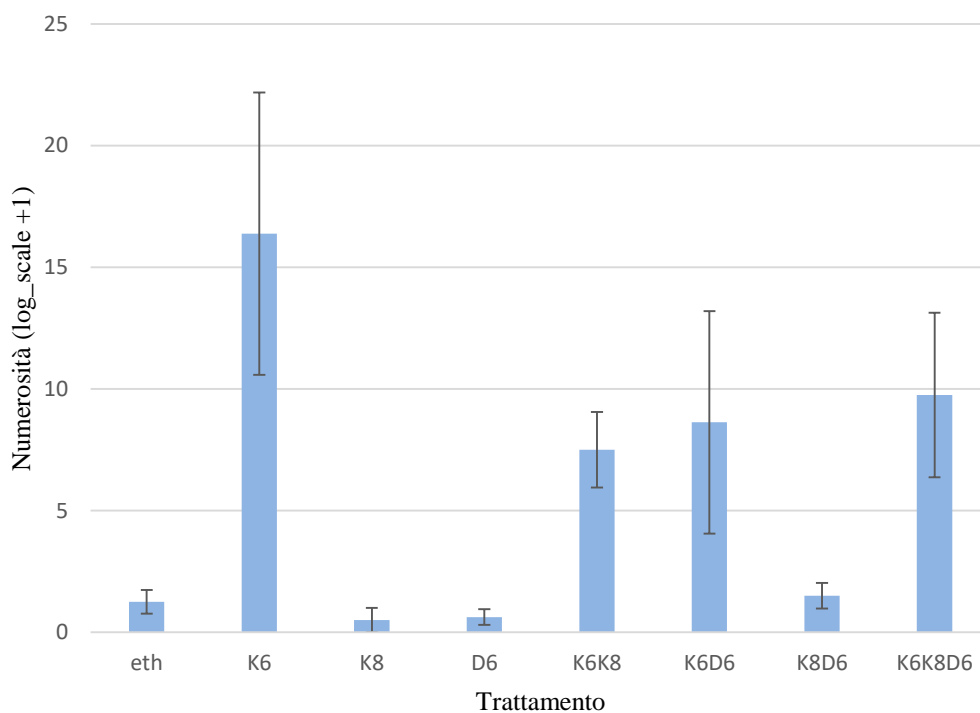


Figura 14: Numero di esemplari di *X. stebbingi* \pm errore standard catturati con le diverse combinazioni di attrattivi. I valori sono stati log-trasformati per incrementare la normalità nella distribuzione.

4.4 Effetto degli attrattivi testati sull'abbondanza della specie nativa *C. arietis*



Figura 15: Esemplare di *Clytus arietis*.

Per quanto riguarda il *Clytus arietis* (Fig. 15), la specie nativa più numerosa, le trappole attivate con gli enantiomeri K8, K8 + K6 e K8 + synD6 hanno catturato un numero significativamente maggiore di esemplari (rispettivamente 21, 18 e 25) rispetto a quelle attivate con combinazioni di attrattivi prive del racemic 3-hydroxyoctan-2-one (K8), come si evince dalla figura 16.

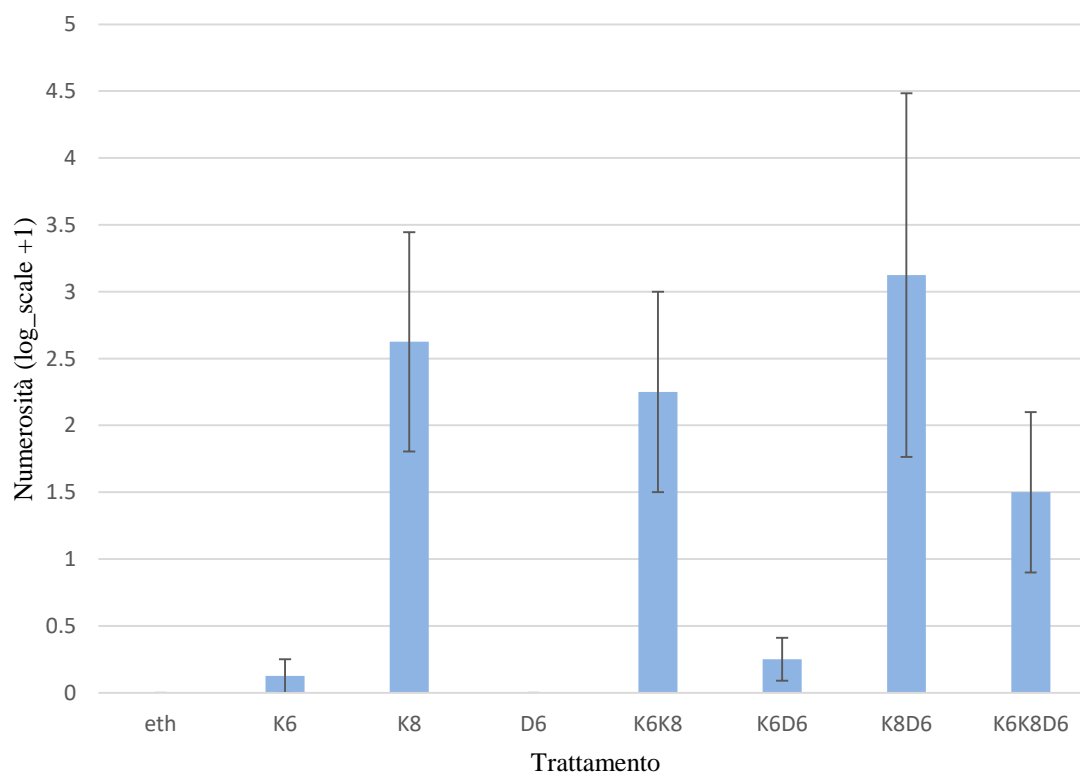


Figura 16: Numero di esemplari di *C. arietis* \pm errore standard catturati con le diverse combinazioni di attrattivi. I valori sono stati log-trasformati per incrementare la normalità nella distribuzione.

5 DISCUSSIONE

Il fenomeno dell'introduzione di nuove specie invasive costituisce un problema globale, destinato a peggiorare negli anni, a causa dei costanti flussi commerciali internazionali e intercontinentali. Prevenire o bloccare nuove invasioni biologiche, quindi, acquisisce sempre più una fondamentale importanza, a causa degli enormi danni, ambientali ed economici – e in alcuni casi anche sanitari – che queste possono causare al nuovo ambiente di introduzione. Per quanto riguarda le specie xilofaghe, il principale vettore di diffusione è il commercio internazionale di prodotti e imballaggi legnosi: all'interno di essi gli insetti rimangono nascosti, eludendo i controlli, e riuscendo a sopravvivere per lungo tempo anche a fronte di condizioni avverse che possono verificarsi durante il viaggio dai paesi di origine.

I metodi tradizionali di controllo del materiale legnoso importato consistono, solitamente, nella valutazione della presenza di fori o rosure sul materiale, e la verifica della presenza del marchio ISPM-15. Tuttavia, queste misure si rivelano spesso insufficienti e ogni anno vengono introdotte nuove specie esotiche (Humble e Allen, 2001). Per questo motivo, oltre a queste pratiche di prevenzione, è essenziale sviluppare e migliorare parallelamente anche i protocolli di monitoraggio e intercettazione di queste specie, al fine di aumentarne le probabilità di intercettazione per bloccare sul nascere nuove possibili invasioni. Questi protocolli consistono nel monitoraggio delle zone a rischio di nuove introduzioni (grandi centri di scambio commerciale, quali porti e aeroporti) tramite apposite trappole. Tali trappole vengono rese attrattive tramite appositi semiochimici (feromoni e allelochimici): il tipo di attrattivo utilizzato acquista perciò un'importanza fondamentale nel determinare l'efficacia del protocollo.

Nonostante la grande minaccia rappresentata dall'introduzione di specie aliene di cerambicidi in nuovi territori, si sa ancora molto poco riguardo alla loro ecologia chimica. Solo negli ultimi anni sono stati condotti numerosi studi sull'argomento, che hanno permesso di identificare feromoni sessuali e di aggregazione da più di 100 specie diverse (Millar e Hanks, 2017). Questi studi hanno permesso di identificare particolari enantiomeri emessi da diverse specie altamente conservati all'interno della stessa sottofamiglia, anche nel caso di specie provenienti da continenti diversi.

Lo scopo di questo studio è stato quello di testare l'efficacia di diverse combinazioni di feromoni specifici per la sottofamiglia dei Cerambicinae, al fine di trovare la combinazione o le combinazioni più efficaci. I feromoni testati erano: racemic 3-hydroxyhexan-2-one (K6), racemic 3-hydroxyoctan-2-one (K8) e syn-2,3-hexanediol (synD6), oltre all'etanolo usato come controllo (da solo) e in aggiunta agli altri attrattivi.

Nonostante i dati raccolti siano relativi a solo una parte dello studio, essi evidenziano interessanti risultati. Riguardo all'abbondanza di specie catturate, i risultati non mostrano una combinazione in assoluto migliore rispetto alle altre. Tuttavia la combinazione composta da tutti i tre attrattivi è quella che ha catturato, mediamente, un maggior numero di specie, con un valore significativamente superiore a tutte le altre combinazioni, escluse le K6 + K8 e K8 + synD6. Emerge inoltre una generale superiorità nelle catture delle trappole attivate con miscele di attrattivi rispetto a quelle attivate con un singolo composto. Questi risultati suggeriscono che miscele di attrattivi non portano a interazioni negative con effetti repellenti verso alcune specie. Questo confermerebbe l'ipotesi formulata da Hanks et al. (2007) secondo cui, sebbene ogni specie sia attratta da specifici enantiomeri, la combinazione di questi con altre sostanze non risulta repellente. Tuttavia, per avere una conferma definitiva, sarà necessario analizzare i campioni relativi all'intero periodo della sperimentazione.

Per quanto riguarda, invece, i risultati relativi alle singole specie, *Neoclytus acuminatus* □ la specie presente in maggior numero □ è risultata essere attratta prevalentemente dal feromone synD6 (syn-2,3-hexanediol). Infatti, le trappole che hanno realizzato un numero di catture significativamente maggiore sono state quelle attivate col feromone da solo o in combinazione con K8 (racemic 3-hydroxyoctan-2-one). Non a caso, infatti, syn-2,3-hexanediol è un feromone di aggregazione prodotto dai maschi di questa specie (Lacey et al., 2004).

Per *Xylotrechus stebbingi*, invece, il maggior numero di catture è avvenuto con le trappole attivate col feromone K6 (racemic 3-hydroxyhexan-2-one) o con le trappole attivate col mix di tutti gli attrattivi. Anche le altre due combinazioni che comprendevano il racemic 3-hydroxyhexan-2-one hanno realizzato un alto numero di catture, sebbene non significativamente maggiore rispetto alle trappole prive del K6. Questo risultato potrebbe far ipotizzare un maggior potere attrattivo da parte del hydroxyhexan, ipotesi che potrebbe essere confermata dall'analisi dei campioni relativi all'intero periodo della sperimentazione.

Un risultato molto simile riguarda, infine, il *Clytus arietis*: le combinazioni K8, K8 + K6 e K8 + synD6 hanno catturato un numero di esemplari significativamente maggiore rispetto alle combinazioni prive di hydroxyoctan. Anche la trappola attivata col mix dei tre feromoni ha catturato un alto numero di individui, sebbene non significativamente maggiore delle trappole prive di K8. Da tali risultati si può ipotizzare che il *C. arietis* sia maggiormente attratto dal racemic 3-hydroxyoctan-2-one, feromone che infatti è prodotto da tale specie (Millar e Hanks, 2017).

In conclusione, questo studio ha portato un'ulteriore conferma circa la maggiore efficacia delle trappole innescate con miscele di più attrattivi, come già osservato in altri studi, quale ad

esempio quello svolto da Rassati et al. (2018). Queste trappole, infatti, permettono la cattura di un maggior numero di specie, senza che vi siano effetti repellenti causati dall'uso di più sostanze (Hanks et al., 2007).

Inoltre, approfondendo i risultati relativi alle catture delle singole specie, si è potuto osservare come ognuna delle tre considerate (*N. acuminatus*, *X. stebbingi* e *C. arietis*) sia maggiormente attratta da uno specifico feromone. Queste strette relazioni tra specie e feromone possono essere molto importanti nel determinare l'efficacia di nuovi insediamenti da parte di specie esotiche. La possibilità, infatti, che una nuova specie possa insediarsi e moltiplicarsi in un nuovo ambiente sembra essere condizionata anche dall'ecologia chimica delle specie native (Hanks e Millar, 2018). Poiché, come confermato da numerosi studi, lo stesso feromone può essere condiviso da diverse specie, per evitare improduttive interazioni interspecifiche si sono sviluppati diversi meccanismi tra le specie simpatriche, quali variazioni stagionali o giornaliere dei periodi di volo o l'attrazione di componenti minori del feromone, che si contrappongono ad attrazioni interspecifiche mentre incrementano le attrazioni coi conspecifici. Questi meccanismi sono il risultato della coevoluzione tra diverse specie che convivono in uno stesso territorio che ha portato ciascuna di esse, di fatto, a occupare una specifica nicchia ecologica basata sulla fenologia e la chimica dei feromoni. Questo insieme complesso di specie, segregate dai periodi di attività o dalle componenti secondarie dei feromoni, può rappresentare una barriera contro l'introduzione di nuove specie esotiche che utilizzino gli stessi feromoni. Sempre da Hanks e Millar (2018) è stato ipotizzato che questo tipo di interferenza nella "comunicazione" dei feromoni delle specie esotiche possa migliorare fortemente l'effetto Allee riducendo le possibilità di affermazione di specie aliene in nuovi ambienti.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Allison J. E. e Redak R., 2017. The impact of trap type and design features on survey and detection of bark and woodboring beetles and their associates: a review and meta-analysis. *Annual Review of Entomology*, 2017/62: 127-146.
- Allison J.D., Borden J.H. e Seybold S.J., 2004. A review of the chemical ecology of the Cerambycidae (Coleoptera). *Chemoecology* 14: 123–150.
- Battisti A., De Battisti R., Faccoli M., Masutti L., Paolucci P., Stergulc F., 2013. *Lineamenti di zoologia forestale*. Padova University Press, Padova.
- Brockerhoff E.G., Jones D.C., Kimberley M.O., Suckling D.M. e Donaldson T., 2006. Nationwide survey for invasive wood-boring and bark beetles (Coleoptera) using traps baited with pheromones and kairomones. *For Ecol Manag* 228: 234–240.
- Campanaro A., Bardiani M., Spada L., Carnevali L., Montalto F., Mason F., 2010. *Linee guida per il monitoraggio e la conservazione dell'entomofauna saproxilica*. Quaderni Conservazione Habitat 6. Verona: Cierre edizioni.
- Cervantes D.E., Hanks L.M., Lacey E.S. w Barbour J.D., 2006. First documentation of a volatile sex pheromone in a longhorned beetle (Coleoptera: Cerambycidae) of the primitive subfamily Prioninae. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 99: 718–722.
- Collignon R.M., Swift I.P., Zou Y.F., McElfresh J.S., Hanks L.M. e Millar J.G., 2016. The influence of host plant volatiles on the attraction of longhorn beetles to pheromones. *J Chem Ecol* 42: 215–229.
- Courchamp F., Clutton-Brock T., Grenfell B., 1999. Inverse density dependence and the Alee effect. *Trends in Ecology & Evolution* vol.14: 405-410.
- DAISIE project, 2009. *Handbook of alien species in Europe*. 6th Framework Programme of the European Union, 2:15-28.
- FAO IPPC 2013: *Regulation of Wood Packaging Material in International Trade*. International Standards for Phytosanitary Measures 15. International Plant Protection Convention of the Food and Agricultural Organization. Available at: <https://www.ippc.int/publications/regulation-wood-packaging-materialinternational-trade-0>.

- Fettköther R., Dettner K., Schröder F., Meyer H., Francke W. e Noldt U., 1995. The male pheromone of the old house borer *Hylotrups bajulus* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae): identification and female response. *Experientia* 51: 270–277.
- Fonseca M.G., Vidal D.M. e Zarbin P.H.G., 2010. Male-produced sex pheromone of the cerambycid beetle *Hedypathes betulinus*: chemical identification and biological activity. *J. Chem. Ecol.* 36: 1132–1139.
- Furniss R.L., Carolin V.M., 1977. Western forest insects. Miscellaneous Publication No. 1339. USA, WA-Washington, DC: US Department of Agriculture, Forest Service.
- Hanks L.M. e Millar J.G., 2018. Conservation of pheromone chemistry within the cerambycidae on a global scale, and implications for invasion biology. Proceedings of the 29th USDA Interagency Research Forum on Invasive Species, 9 – 12 January 2018, Annapolis, MD. (in press)
- Hanks L.M. e Millar J.G., 2016. Sex and aggregation-sex pheromones of cerambycid beetles: basic science and practical applications. *Journal of Chemical Ecology* 42: 631–654.
- Hanks L.M. e Millar J.G., 2012. Field bioassays of cerambycid pheromones reveal widespread parsimony of pheromone structures, enhancement by host plant volatiles, and antagonism by components from heterospecifics. *Chemoecology* 23: 21–34.
- Hanks L.M., Millar J.G., Mongold-Diers J.A., Wong J.C.H., Meier L.R., Reagel P.F. e Mitchell R.F., 2012. Using blends of cerambycid beetle pheromones and host plant volatiles to simultaneously attract a diversity of cerambycid species. *Can J For Res* 42:1050–1059.
- Hanks L.M., Millar J.G., Moreira J.A., Barbour J.D., Lacey E.S., McElfresh J.S., Reuter F.R. e Ray A.M., 2007. Using generic pheromone lures to expedite identification of aggregation pheromones for the cerambycid beetles *Xylotrechus nauticus*, *Phymatodes lecontei*, and *Neoclytus modestus modestus*. *J. Chem. Ecol.* 33: 889–907.
- Hanks L.M., Millar J.G. e Paine T.D., 1996. Body size influences mating success of the eucalyptus longhorned borer (Coleoptera: Cerambycidae). *Journal of Insect Behavior* 9: 369–382.
- Hayes R.A., Griffiths M.W., Nahrung H.F., Arnold P.A., Hanks L.M. e Millar J.G., 2016. Optimizing generic cerambycid pheromone lures for Australian biosecurity and biodiversity monitoring. *J Econ Entomol* 109: 1741–1749.

- Holmes P.T., Aukema J.E., Von Holle B., Liebhold A., Sills E., 2009. Economic impacts of invasive species in forest: past, present and future. Ostfeld RS, Schlesinger WH (eds) The year in ecology and conservation biology. Wiley-Blackwell, Hoboken: 18–38.
- Humble L.M., Allen E.A., 2001. Implications of non-indigenous insect introductions in forest ecosystems. Canadian Forest Service Publications: 45-55.
- Iwabuchi K., Takahashi J. e Sakai T., 1987. Occurrence of 2,3-octanediol and 2-hydroxy-3-octane, possible male sex pheromone in *Xylotrechus chinensis*. Appl Entomol Zool 22: 110–111.
- Iwabuchi K., 1986. Mating behavior of *Xylotrechus pyrrhoderus* Bates. III. Pheromone secretion by male. Appl Entomol Zool 21: 606–612.
- Jayarama M.G.V., Souza M.V., Naidu R., Hall D.R. e Cork A., 1998. Sex pheromone of coffee white stem borer for monitoring and control is on the anvil. Indian Coffee 62: 15–16.
- Lacey E.S., Moreira J.A., Millar J.G., Ray A.M. e Hanks L.M., 2007. Male-produced aggregation pheromone of the longhorned beetle *Neoclytus mucronatus mucronatus*. Entomol. Exp. Appl. 122: 171–179.
- Lacey E.S., Ginzel M.D., Millar J.G. e Hanks L.M., 2004. Male-produced aggregation pheromone of the cerambycid beetle *Neoclytus acuminatus acuminatus*. J. Chem. Ecol. 30: 1493–1507.
- Leal W.S., Shi X.W., Nakamura K., Ono M. e Meinwald J., 1995. Structure, stereochemistry, and thermal isomerization of the male sex pheromone of the longhorn beetle *Anaglyptus subfasciatus*. Proc Natl Acad Sci USA 92: 1038–1042.
- Linsley E.G., 1959. Ecology of Cerambycidae. Annual Review of Entomology 4: 99–138.
- Masutti L., Zangheri S., 2001. Entomologia Generale ed applicata. Padova: CEDAM.
- McNaught A.D. e Wilkinson A., 1997. IUPAC. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Millar J.G. e Hanks L.M., 2017. Chemical ecology of cerambycid beetles. In Cerambycidae of the world: Biology and management, ed. Wang Q. CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton.

- Millar J.G., Hanks L.M., Moreira J.A., Barbour J.D. e Lacey E.S., 2009. Pheromone chemistry of cerambycid beetles. In Nakamura K., Millar J.G. (eds): Chemical Ecology of Woodboring Insects. Forestry and Forest Products Research Institute, Ibaraki, pp. 52–79
- Miller D.R., Crowe C.M., Mayo P.D., Reid L.S., Silk P.J. e Sweeney J.D., 2017. Interactions between ethanol, syn-2, 3-hexanediol, 3-hydroxyhexan-2-one, and 3-hydroxyoctan-2-one lures on trap catches of hardwood longhorn beetles in southeastern United States. *J Econ Entomol* 110: 2119–2128.
- Miller D.R., Allison J.D., Crowe C.M., Dickinson D.M., Eglitis A., Hofstetter R.W., Munson A.S., Poland T.M., Reid L.S., Steed B.E. e Sweeney J.D., 2016. Pine sawyers (Coleoptera: Cerambycidae) attracted to α -pinene, monochamol, and ipsenol in North America. *J Econ Entomol* 109: 1205–1214.
- Miller D.R., Crowe C.M., Mayo P.D., Silk P.J., Sweeney J.D., 2015. Response of Cerambycidae and other insects to traps baited with Ethanol, 2,3-hexanediol, and 3,2-hydroxyketone lures. *Journal of Economic Entomology* 2015: 1-12.
- Nehme M.E., Keena M.A., Zhang A., Baker T.C. e Hoover K., 2009. Attraction of *Anoplophora glabripennis* to male-produced pheromone and plant volatiles. *Environ. Entomol.* 38: 1745–1755.
- Pajares J.A., Álvarez G., Ibeas F., Gallego D., Hall D.R. e Farman D.I., 2010. Identification and field activity of a maleproduced aggregation pheromone in the pine sawyer beetle, *Monochamus galloprovincialis*. *J. Chem. Ecol.* 36: 570–583.
- Petrice T.R., Haack R.A., 2015. Comparison of different trap colors and types for capturing adult *Agilus* (Coleoptera: Buprestidae) and other buprestids. *The Great Lakes Entomologist* 48: 45–66.
- Rassati D., Marini L., Marchioro M., Rapuzzi P., Magnani G., Poloni R., Di Giovanni F., Mayo P., Sweeney J.D., 2018. Developing trapping protocols for wood-boring beetles associated with broadleaf trees. *J Pest Sci*: in print.
- Rassati D., Faccoli M., Petrucco Toffolo E., Battisti A., Marini L., 2015. Improving the early detection of alien wood-boring beetles in ports and surrounding forests. *Journal of Applied Ecology* 52: 50-58.

- Rassati D., Petrucco Toffolo E., Roques A., Battisti A., Faccoli M., 2014. Trapping wood-boring beetles in ports: a pilot study. *Journal of Pest Science* 87: 61-69.
- Ray A.M., Barbour J.D., McElfresh J.S., Moreira J.A., Swift I., Wright I.M., Žunič A., Mitchell R.F., Graham E.E., Alten R.L., Millar J.G. e Hanks L.M., 2012. 2,3-hexanediols as sex attractants and a female-produced sex pheromone for cerambycid beetles in the prionine genus *Tragosoma*. *J Chem Ecol* 38: 1151–1158.
- Ray A.M., Žunič A., Alten R.L., McElfresh J.S., Hanks L.M. e Millar J.G., 2011. cis-Vaccenyl acetate, a female-produced sex pheromone component of *Ortholeptura valida*, a longhorned beetle in the subfamily Lepturinae. *J. Chem. Ecol.* 37: 173–178.
- Rodstein J., McElfresh J.S., Barbour J.D., Ray A.M., Hanks L.M. e Millar J.G., 2009. Identification and synthesis of a female-produced sex pheromone for the cerambycid beetle *Prionus californicus*. *J Chem Ecol* 35: 590–600.
- Roelofs W.L. e Cardé R.T., 1977. Responses of Lepidoptera to synthetic sex pheromone chemicals and their analogues. *Annu. Rev. Entomol.* 22: 377–405.
- Schröder F., Fettköther R., Noldt U., Dettner K., König W.A. e Francke W., 1994. Synthesis of (3R)-3-hydroxy-2-hexanone, (2R,3R)-2,3-hexanediol and (2S,3R)-2,3-hexanediol, the male sex pheromone of *Hylotrupes bajulus* and *Pyrrhidium sanguineum* (Cerambycidae). *Liebigs Ann Chem* 1994:1211–1218.
- Schwalbe, C.P., Mastro, V.C., 1988. Multispecific trapping techniques for exotic-pest detection. *Agriculture Ecosystems & Environment* 21: 43-51.
- Silk P.J., Sweeney J., Wu J., Price J., Gutowski J.M. e Kettela E., 2007. Evidence for a male produced pheromone in *Tetropium fuscum* (F.) and *Tetropium cinnamopterum* (Kirby) (Coleoptera: Cerambycidae). *Naturwissenschaften* 94: 697–701.
- Švácha P., Lawrence J. F., 2014. Handbook of zoology: Arthropoda: Insecta: Coleoptera, beetles, vol. 3: Morphology and systematics (Phytophaga). Chapter 2.4 Cerambycidae Latreille, pp. 77–177. In R.A.B. Leschen and R. G. Beutel (eds.), Walter de Gruyter, Berlin/Boston.
- Sweeney J.D., Silk P.J. e Grebennikov V., 2014. Efficacy of semiochemical-baited traps for detection of longhorn beetles (Coleoptera: Cerambycidae) in the Russian Far East. *Eur J Entomol* 111: 397–406.

Sweeney J.D., Silk P.J., Gutowski J.M., Wu J., Lemay M.A., Mayo P.D. e Magee D.I., 2010. Effect of chirality, release rate, and host volatiles on response of *Tetropium fuscum* (F.), *Tetropium cinnamopterum* (Kirby), and *Tetropium castaneum* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae) to the aggregation pheromone, fuscumol. J. Chem. Ecol. 36: 1309–1321.

Teale S.A., Wickham J.D., Zhang F., Su J., Chen Y., Xiao W., Hanks L.M. e Millar J.G., 2011. A male-produced aggregation pheromone of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), a major vector of pine wood nematode. J. Econ. Entomol. 104: 1592–1598.

Tremblay E., 1999. Entomologia applicata, Volume 1. Liguori, Napoli.

Wickham J.D., Lu W., Jin T., Peng Z., Guo D., Millar J.G., Hanks L.M. e Chen Y., 2016a. Prionic acid: an effective sex attractant for an important pest of sugarcane, *Dorysthenes granulatus* (Coleoptera: Cerambycidae: Prioninae). J Econ Entomol 109: 484–486.

Wickham J.D., Millar J.G., Hanks L.M., Zou Y., Wong J.C.H., Harrison R.D. e Chen Y., 2016b. (2R,3S)-2,3-octanediol, a female-produced sex pheromone of *Megopis costipennis* (Coleoptera: Cerambycidae: Prioninae). Environ Entomol 45: 223–228.

Zhang A., Oliver J.E., Aldrich J.R., Wang G.B. e Mastro V.C., 2002. Stimulatory beetle volatiles for the Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky). Z. Naturforsch. (C) J. Biosci. 57: 553–558.

<https://www.iucn.org/theme/species/our-work/invasive-species>

RINGRAZIAMENTI

Per prima cosa desidero ringraziare Francesca, che l'anno prossimo diventerà mia moglie, per la sua grande pazienza e per l'aiuto e il sostegno che non mi ha mai fatto mancare. Grazie per avermi sempre sostenuto e motivato e per aver sempre creduto in me e nelle mie capacità.

Un grazie, poi, alla mia famiglia, a mia mamma Sonia, a mio papà Luca e a mia Sorella Sofia. In voi ho sempre trovato incondizionato appoggio e fiducia in me, facendomi sentire una persona davvero fortunata.

Una grazie al professor Massimo Faccoli, che mi ha saputo trasmettere la passione per il suo lavoro e non ha mai fatto mancare la sua presenza e il suo aiuto. Un grazie particolare al dottor Davide Rassati: il suo aiuto e la sua grande pazienza sono stati indispensabili per riuscire a realizzare questa ricerca.

Infine, voglio ringraziare il dottor Jacopo Richard e tutti i suoi collaboratori di Veneto Agricoltura, che ci hanno permesso di svolgere la ricerca all'interno di Bosco Nordio e aiutato nella preparazione.