

SCREENING DI PIENO CAMPO E LABORATORIO DELL'EFFICACIA INSETTICIDA DI DIVERSI PIRETROIDI NEI CONFRONTI DI *HALYOMORPHA HALYS* IN EMILIA-ROMAGNA

M. PRETI¹, M. MONTANARI¹, M. LANDI¹, F. CAVAZZA¹, F. FRANCESCHELLI¹,
L. MIROSSEVICH¹, R. NANNINI², P.P. BORTOLOTTI²

¹ ASTRA Innovazione e Sviluppo CdS, Via Tebano 45 - 48018 - Faenza (RA), Italia

² Consorzio Fitosanitario Provinciale Modena – Via Santi, 14 - 41123 Modena (MO), Italia
michele.preti@astrainnovazione.it

RIASSUNTO

Scopo di questa indagine è stata la valutazione in pieno campo e laboratorio di prodotti insetticidi a base di lambda-cialotrina, deltametrina, beta-ciflutrin, tau-fluvalinate e piretro naturale nei confronti della cimice asiatica *H. halys*. Una singola prova abbattente di pieno campo con prosecuzione in laboratorio è stata svolta a fine estate-inizio autunno 2016, contemporaneamente ad un analogo biosaggio di laboratorio con individui raccolti dal campo. Il protocollo abbattente di campo prevedeva un'applicazione sperimentale dei prodotti in prova seguita a 24 ore da un'applicazione di "inventario" con piretroide (s.a. deltametrina) a 5 volte la dose massima di etichetta, conteggiando gli individui caduti sul telo sottostante le piante trattate e calcolando il potere abbattente; gli individui vivi e moribondi raccolti in seguito all'applicazione sperimentale sono stati quindi seguiti per una settimana in laboratorio per valutare la capacità di recupero. Il protocollo del biosaggio di laboratorio prevedeva le stesse tesi, stesso intervallo tra le applicazioni, ma una diversa popolazione di campo. I risultati dello studio mettono in luce, oltre al potere abbattente ridotto nei confronti degli adulti di fine stagione, una capacità di recupero della mobilità degli insetti trattati in campo che può raggiungere il 50%; questo andamento è stato osservato anche in laboratorio.

Parole chiave: mortalità, capacità di recupero, cimice asiatica

SUMMARY

SCREENING IN OPEN FIELD AND LABORATORY CONDITION OF PYRETHROIDS INSECTICIDE ACTIVITY AGAINST *HALYOMORPHA HALYS* IN EMILIA-ROMAGNA

The purpose of this screening was the evaluation both in the field and in laboratory of insecticide products based on lambda-cyhalothrin, deltamethrin, beta-cyfluthrin, tau-fluvalinate and natural pyrethrum against *H. halys*. A single knock-down open field trial was carried out at the end of summer-early fall 2016, together with a laboratory bioassay performed with adults of *H. halys* collected from the field. In the field trial, a single experimental application of the tested products was followed after 24 h by a pyrethroid (a.i. deltamethrin) "inventory" application at 5 times the maximum label rate. The insects fallen on a net placed below the treated plants were counted and classified 24 h after each intervention, calculating the knock-down effect. The individuals alive and moribund collected following the application with the products under study were then monitored for 1 week in the laboratory to evaluate the recovery capacity. The laboratory bioassay was performed on a different population with the same treatments and timing. From this study, in addition to the low pyrethroids knock-down activity observed against the adults of *H. halys* in the field at the end of the season, a recovery in terms of mobility of the treated insects emerged that can reach 50% in the field; this trend was observed also in laboratory.

Keywords: mortality, recovery ability, BMSB

INTRODUZIONE

La cimice marmorizzata *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera Pentatomidae) è una specie invasiva di origine asiatica tra le più dannose a livello globale (Rice et al., 2014; Lee et al., 2015) e anche nel territorio italiano da 2-3 anni sta creando importanti danni all'agricoltura (Maistrello et al., 2017), in particolare a partire dall'areale dal quale hanno avuto origine le prime infestazioni. La grande polifagia, l'elevata mobilità, la longevità, prolificità e adattabilità della specie al contesto agricolo regionale e nazionale, uniti alla bassa risposta ai classici interventi di difesa insetticida adottati in agricoltura integrata, hanno reso questa avversità una vera e propria emergenza fitosanitaria, che all'atto pratico ha messo a repentaglio e talvolta vanificato il concetto di IPM (Integrated Pest Management).

La difesa chimica con insetticidi è infatti uno dei metodi di contenimento tra i più utilizzati. Numerosi sono gli studi realizzati in ambito internazionale inerenti il controllo con insetticidi (Kuhar e Kamminga, 2017). In generale emerge che i prodotti di sintesi più attivi sono afferenti alle classi degli organofosfati, neonicotinoidi e piretroidi, spesso ad ampio spettro d'azione e quindi poco selettivi; altri composti a basso impatto sono invece di frequente meno performanti, soprattutto se valutati in condizioni di pieno campo (Morehead e Kuhar, 2017), ed infine tra i prodotti biologici emerge la classe delle piretrine. La difesa insetticida mirata a proteggere i frutti dalle punture trofiche è quindi imperniata su un gruppo ristretto di prodotti, non sempre disponibili in modo adeguato a fronteggiare gli attacchi di *H. halys* (e.g. l'impiego di organofosfati e neonicotinoidi è sempre più limitato a livello globale a causa della loro tossicità nei confronti dell'uomo e dei beneficials); a questo si aggiunge la dispersione del fitomizo nell'ambiente, che spesso vanifica gli interventi: *H. halys* può infatti muoversi velocemente tra le piante ospiti, spostandosi dalla coltura alle bordure circostanti e viceversa, sfuggendo alle applicazioni insetticide e recuperando in aree non trattate (Kuhar e Kamminga, 2017). Per questo motivo è importante conoscere a fondo le caratteristiche tecniche dei prodotti utilizzabili, al fine di impiegarli nelle migliori condizioni operative per garantire le migliori performance. Va sempre considerato che il grado d'azione delle sostanze saggiate è funzione di numerose variabili, tra le quali si ricordano in particolare per *H. halys* lo stadio di sviluppo bersaglio (i.e. le neanidi sono più sensibili degli adulti) e il periodo stagionale d'impiego (e.g. gli adulti svernanti sono più sensibili degli adulti presenti a fine stagione) (Leskey et al., 2012). Inoltre, la risposta ad un'applicazione insetticida andrebbe sempre valutata nel suo complesso, considerando non solo la mortalità diretta per contatto, ma anche l'azione residuale del prodotto e tutti gli effetti sub-letali scaturiti dall'intervento (azione anti-feeding, interferenze nella sfera riproduttiva e di sviluppo). L'efficacia va infine sempre accompagnata da altre due caratteristiche fondamentali di qualsiasi prodotto: persistenza e selettività. Il tutto senza tralasciare le buone tecniche di applicazione dei prodotti fitosanitari.

Per quanto riguarda i piretroidi, oggetto del presente studio, da diversi decenni è noto il loro effetto collaterale sugli equilibri dell'agroecosistema (Hull e Starner, 1983; Penman e Chapman, 1988), e ancora oggi la sensibilità della comunità tecnico-scientifica internazionale nei confronti di tale fenomeno è in primo piano. Tuttavia, data la larga disponibilità, alta efficacia e relativo basso costo, i piretroidi sono ad oggi tra gli insetticidi più utilizzati per il controllo di *H. halys* (Kuhar e Kamminga, 2017). Un cattivo uso e l'impiego reiterato di tali sostanze porta inequivocabilmente a vanificare il concetto di difesa integrata, con ricadute negative sugli equilibri naturali e conseguente insorgenza di avversità altrimenti secondarie (quali afidi, cocciniglie, acari), nonostante un impiego razionale potrebbe essere percorso, perlomeno nel breve periodo e solamente in determinate circostanze, per fronteggiare l'emergenza in attesa di altre soluzioni più sostenibili. In particolare, mediante un input minimo di insetticidi, con tecniche quali la difesa del solo perimetro della coltura (i.e.

trattando le file di bordo del frutteto o la parte più esterna dei seminativi) e con “l’attract & kill” (e.s. concentrando le cimici in aree delimitate come un singolo albero, con l’ausilio di feromoni di aggregazione, e bersagliando tali punti con i trattamenti) è possibile impiegare anche prodotti non selettivi sfruttando una selettività ad esempio di posizione (Kuhar e Kamminga, 2017).

In questo contesto si inserisce lo studio qui presentato, che ha avuto come obiettivo la valutazione di diversi principi attivi afferenti la classe dei piretroidi (e piretrine naturali) con il fine di meglio comprendere la loro attività nei confronti di *H. halys*, in particolare a fine stagione vegetativa (quando le popolazioni di cimice si radunano per entrare in svernamento).

MATERIALI E METODI

Prova di pieno campo con prosecuzione in laboratorio

A fine settembre 2016 una prova di pieno campo è stata realizzata a Rami di Ravarino in provincia di Modena in un pescheto cv Big Top. Il pescheto oggetto della prova è stato selezionato in quanto nella primavera-estate 2016 presentava importanti infestazioni del fitomizo e anche in post-raccolta la presenza era marcata; probabilmente la vicinanza dell’impianto ad un fabbricato rurale (ipotetico sito di svernamento) e la sospensione degli interventi fitosanitari alla raccolta avevano favorito l’aggregazione in tale sito della popolazione di adulti di *H. halys* prossimi ad entrare in svernamento. Per la prova non sono stati utilizzati feromoni di aggregazione e l’infestazione era naturalmente concentrata nei soli filari di bordo del frutteto (i.e. non era estesa in generale a tutto l’impianto). L’impianto, di 15 anni di età, presenta un sesto di 3,9 m x 2,5 m e le piante sono allevate a palmetta; è stato impiegato il disegno sperimentale a blocchi randomizzati (RCB) con 4 ripetizioni per tesi e 3 piante per replica (29,25 m² a parcella, corrispondenti a 117 m² per tesi).

Durante il periodo di prova l’intero pescheto non è stato trattato aziendaliamente con insetticidi e fungicidi e le applicazioni insetticide sperimentali nelle parcelle in prova sono state realizzate con nebulizzatore spalleggiato Stihl modello SR420, distribuendo un volume di bagnatura simulato di 1000 L/ha. Il protocollo operativo prevedeva un’applicazione abbattente (A1) con i prodotti sperimentali in prova, seguita a 24 ore di distanza da un’applicazione di “inventario” (A2) uguale su tutte le tesi, con prodotto a base di deltametrina (25 g/L) impiegato a 5 volte la dose massima di etichetta (250 mL / 100 L). Le caratteristiche dei prodotti in prova sono indicate in tabella 1, mentre l’epoca dei trattamenti e i rilievi previsti (2 in campo e 3 in laboratorio) sono riportati in tabella 2.

I rilievi di campo sono stati eseguiti utilizzando un telo di tessuto non tessuto collocato in entrambi i lati dei filari a coprire la proiezione di suolo di tutte le piante in prova (unendo opportunamente le due porzioni di telo al fine di evitare soluzioni di continuità). Durante i rilievi si è proceduto a conteggiare gli insetti, classificandoli a seconda dello stadio di sviluppo (adulti e forme giovanili, suddivise per età) e in funzione delle condizioni di vitalità (vivo, moribondo o morto). La distinzione si è basata sulle seguenti definizioni (adattate da Leskey et al., 2012): vivo = individuo che mostra visibile mobilità, apparentemente non debilitato dall’applicazione insetticida; moribondo = individuo con mobilità alterata, ma rispondente a stimoli esterni, se capovolto sul dorso non è in grado di girarsi; morto = individuo senza mobilità, non rispondente a stimoli esterni, privo di qualsiasi attività percepibile.

Il primo rilievo di campo (R1) è stato eseguito 24 ore dopo l’applicazione abbattente (A1) e ha consentito di raccogliere gli individui abbattuti con i prodotti in prova, mentre il secondo rilievo di campo (R2) è stato eseguito 24 ore dopo il trattamento di inventario al fine di raccogliere e quantificare tutti gli insetti presenti nelle parcelle della prova sfuggiti al primo rilievo. Tra i due rilievi il telo è stato completamente ripulito al fine di azzerare il conteggio.

Gli insetti abbattuti dai prodotti in prova e rilevati in R1 sono stati conteggiati per ogni singola parcella e poi accorpati per tesi al fine di proseguire le indagini in laboratorio per una settimana. In laboratorio gli insetti vivi e moribondi sono stati sottoposti a condizioni ambientali controllate (temperatura di $20^{\circ}\text{C} \pm 2$, umidità relativa di $60\% \pm 10$, fotoperiodo naturale esterno), mantenuti in contenitori areati e senza alimentazione. I rilievi di laboratorio (R3, R4 e R5) sono stati realizzati a distanza di 2, 5 e 7 giorni dal trattamento di campo, classificando gli individui con lo stesso criterio adottato in campo.

L'efficacia di campo di ogni singolo prodotto è stata calcolata come percentuale di insetti morti rilevati in R1 (rilievo post-applicazione dei prodotti in prova) rispetto al totale presente in ogni singola parcella, con la seguente formula: mortalità % in 24 ore = $(n^{\circ} \text{ individui morti in R1}) / (\Sigma \text{ individui totali R1} + \text{R2}) * 100$. Per quanto riguarda la parte di laboratorio, per ogni rilievo è stata calcolata la percentuale relativa di individui morti, vivi e moribondi sul totale degli individui osservati (i.e. totale degli individui vivi e moribondi raccolti in R1). Per questa prova non è stato possibile elaborare statisticamente i dati a causa dell'elevata variabilità riscontrata in campo. Da altre esperienze condotte dagli autori (dati non presentati), mediante l'utilizzo di feromone di aggregazione, è possibile ridistribuire l'infestazione più uniformemente tra le parcelle, riducendo la variabilità dovuta al gradiente di infestazione.

Tabella 1. Caratteristiche dei prodotti impiegati nella prova di pieno campo (Ravarino, MO) e nei biosaggi di laboratorio (Imola, BO)

Formulato commerciale (f.c.)	Sostanza attiva (s.a.)	Concentrazione s.a. (g/L)	Dose f.c. (mL / 100 L)
Karate Zeon	lambda-cialotrina	100	40
Bayteroid 25 EC	beta-ciflutrin	25	70
Decis Evo	deltametrina	25	50
Mavrik 20 EW	tau-fluvalinate	240	60
Asset	piretrine naturali	35,6	120

Tabella 2. Epoca delle applicazioni della prova di campo con prosecuzione in laboratorio (Ravarino, MO)

Applicazioni (h)	Data	Intervento	Descrizione
T0	28/9/16	A1	Applicazione sperimentale con i prodotti in prova
T24	29/9/16	R1	1° rilievo di campo +24 h da A1
T24	29/9/16	A2	Applicazione di inventario con deltametrina 5X
T48	30/9/16	R2	2° rilievo di campo +24 h da A2
T48	30/9/16	R3	1° rilievo di laboratorio a + 2 gg da A1
T120	3/10/16	R4	2° rilievo di laboratorio a + 5 gg da A1
T168	5/10/16	R5	3° rilievo di laboratorio a + 7 gg da A1

Biosaggio di laboratorio

A inizio ottobre 2016 un analogo biosaggio di laboratorio è stato realizzato con insetti raccolti in campo a Imola (BO), in un contesto agro-ecologico rappresentato da fabbricati rurali, siepi e campi coltivati a frutteto (le cimici sono state raccolte il 3/10 in prossimità del centro aziendale). Tale popolazione era costituita da adulti prossimi ad entrare in svernamento.

Va premesso che non essendo insetti allevati in laboratorio e non conoscendo la storia degli individui è molto probabile che gli esemplari saggiati non fossero tutti omogenei per età e fitness. Ovvero è probabile la presenza simultanea di individui della I generazione (nati in giugno-inizio luglio) ed altri della II generazione (individui nati durante l'estate), quindi è ipotizzabile la contemporanea presenza di individui più o meno senescenti, con trascorso ignoto (e.s. trattamenti insetticidi con i quali sono venuti a contatto durante la stagione, colture sulle quali si sono sviluppati). Pertanto la popolazione di partenza, omogenea per provenienza, presentava una certa variabilità intrinseca in termini di mortalità da tenere in considerazione nel biosaggio. Gli insetti raccolti sono stati sottoposti immediatamente alla prova insetticida, senza un preliminare periodo di acclimatamento. Gli insetti sono stati tenuti in laboratorio, non alimentati e sottoposti alle stesse condizioni ambientali descritte per la prosecuzione di laboratorio della prova di campo. Le osservazioni sugli effetti del trattamento sono state condotte per 1 settimana, con modalità analoghe alla prova precedente.

I prodotti in prova sono gli stessi ed utilizzati alle stesse concentrazioni della prova di campo, come riportato in tabella 1. Rispetto alla prova di campo è però stato considerato anche un testimone trattato con acqua. Le epoche di applicazione sono riportate in tabella 3.

Per ogni tesi sono stati saggiati 60 individui, suddivisi in sei repliche di 5♂ e 6 repliche di 5♀. Una singola applicazione topica è stata realizzata per ciascuna replica di 5 individui utilizzando uno spruzzatore manuale calibrato per distribuire 5 mL di soluzione (teoricamente 1 mL di soluzione per insetto; per ogni applicazione è stato accuratamente verificato che tutti gli insetti avessero ricevuto un contatto diretto con la soluzione insetticida). Gli insetti trattati sono stati quindi delicatamente spostati in un contenitore areato e non inquinato, al fine di valutare la sola azione di contatto e non quella residuale. Il saggio di laboratorio prevedeva cinque rilievi, per un periodo di osservazione della durata di una settimana (tabella 3).

Per ciascuno degli insetticidi saggiati è stata calcolata l'efficacia, espressa come mortalità (%), e i dati sono stati elaborati mediante Analisi della Varianza (Anova) a due fattori con replica al fine di individuare se ci fossero interazioni tra il fattore trattamento e il fattore sesso. Per individuare i casi in cui il fattore sesso abbia determinato differenze di mortalità all'interno della stessa tesi, si è proceduto con Test-t a una coda con $\alpha=0,05\%$ confrontando le mortalità delle ripetizioni maschili con quelle femminili. Successivamente, viste le differenze significative tra i risultati ottenuti tra maschi e femmine, i dati sono stati elaborati separatamente mediante Anova e successivo Test SNK ($p \leq 0,05$), trasformando tutte le percentuali con arcoseno della radice quadrata percentuale e calcolando la mortalità depurata dal testimone trattato con acqua secondo Abbott.

Tabella 3. Tempistica delle applicazioni nel biosaggio di laboratorio (Imola, BO)

Tempistica (h)	Data	Intervento/rilievo	Descrizione
T0	4/10/16	A1	Applicazione sperimentale
T24	5/10/16	R1	1° rilievo di laboratorio a + 1 gg da A1
T48	6/10/16	R2	2° rilievo di laboratorio a + 2 gg da A1
T72	7/10/16	R3	3° rilievo di laboratorio a + 3 gg da A1
T96	8/10/16	R4	4° rilievo di laboratorio a + 4 gg da A1
T168	11/10/16	R5	5° rilievo di laboratorio a + 7 gg da A1

RISULTATI E DISCUSSIONE

Prova di pieno campo con prosecuzione in laboratorio

In tabella 4 sono riportati i risultati relativi alla parte di campo. La popolazione rilevata nel pescheto in prova era costituita essenzialmente da adulti di *H. halys* (544 adulti), mentre le poche forme giovanili riscontrate (poche unità, principalmente di IV e V età) non sono state considerate. Data la distribuzione disforme di *H. halys* tra le parcelle della stessa tesi, che non ha reso possibile elaborare i dati dal punto di vista statistico, l'efficacia abbattente (mortalità % nelle 24 ore) è stata calcolata per tesi sommando le 4 ripetizioni. I risultati migliori nel breve periodo sono stati ottenuti da lamba-cialotrina, mentre gli altri prodotti hanno mostrato un'attività leggermente inferiore e numericamente simile tra loro.

In figura 1 è riportato l'effetto del trattamento abbattente (A1) rispetto al totale degli insetti rilevati nelle parcelle di ciascuna tesi (R1 + R2); quanto sfugge ad A1 è quantificato con l'applicazione di inventario (A2) e il relativo rilievo (R2). I vari piretroidi di sintesi permettono di rilevare nelle 24 ore circa il 70-84% della popolazione totale stimata con il presente protocollo operativo, mentre il piretro naturale solo un 44% (conseguentemente il 56% degli insetti, ad un giorno di distanza dal trattamento sperimentale, era ancora sulle piante trattate). Il trattamento di inventario è stato posizionato così ravvicinato per ridurre al minimo il rischio di migrazione dentro e fuori le parcelle sperimentali, ma di conseguenza non permette una valutazione di campo prolungata dei prodotti in prova. Infatti, gli insetti conteggiati durante il secondo rilievo R2 hanno ricevuto sia l'applicazione sperimentale, sia quella di inventario e l'effetto dei due interventi non è distinguibile; per questo motivo il monitoraggio degli insetti che hanno ricevuto solo l'applicazione sperimentale A1 (raccolti con R1) è stato proseguito in laboratorio.

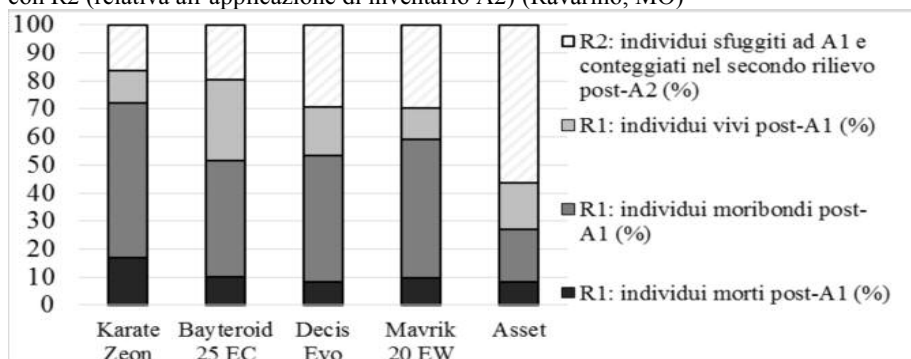
Considerando che l'effetto dei prodotti è superiore alle 24 ore, una maggiore finestra temporale di osservazione in campo permetterebbe una stima più accurata dell'efficacia, però il rischio di spostamento degli insetti tra le parcelle e dentro e fuori la prova aumenta; allo stesso modo un terzo rilievo successivo al rilievo di inventario R2 potrebbe apportare maggior precisione al conteggio: un rilievo a 48 ore o 72 ore dall'inventario infatti in altre esperienze ha permesso di meglio stimare la popolazione totale (dati non presentati), sebbene già il rilievo R2 permetta di conteggiare la quasi totalità degli insetti in prova (a volte all'atto pratico la differenza può essere minima e un rilievo ulteriore darebbe solo la certezza di aver ben operato, non sottostimando la popolazione presente e quindi di conseguenza non sovrastimando l'efficacia). Di fatto, quindi, i risultati di tale prova vanno letti alla luce delle specifiche condizioni sperimentali (e.g. prodotto e dosaggio dell'applicazione di inventario, finestra temporale nella quale sono stati posizionati gli interventi insetticidi e i relativi rilievi).

Tabella 4. Efficacia abbattente espressa come mortalità (%) nelle 24 ore (Ravarino, MO)

Tesi	Dosaggio f.c. (mL / 100 L)	Totale insetti morti con A1 in 24 h (R1)	Totale insetti presenti per tesi (R1 + R2)	Efficacia abbattente (%)
Karate Zeon	40	31	184	16,85 ⁽¹⁾
Bayteroid 25 EC	70	12	118	10,17
Decis Evo	50	11	133	8,27
Mavrik 20 EW	60	6	61	9,84
Asset	120	4	48	8,33

(1): i valori sono calcolati come % di individui abbattuti sul totale dei presenti, sommando le repliche.

Figura 1. Percentuale di individui rilevati con R1 (relativa all'applicazione abbattente A1) e con R2 (relativa all'applicazione di inventario A2) (Ravarino, MO)



Gli insetti vivi e moribondi raccolti in R1 sono stati monitorati in laboratorio per una settimana, come riportato in tabella 5. Invece, quelli considerati morti in campo e raccolti in R1 sono stati tenuti sotto osservazione separati dai vivi e moribondi ed è stata confermata la morte per tutti gli esemplari già al primo rilievo di laboratorio. Gli individui sottoposti ad un trattamento di campo e sopravvissuti nelle 24 ore hanno mostrato capacità di recupero delle funzioni motorie nell'arco di una settimana dal trattamento. Questo fenomeno è già stato osservato in prove analoghe di campo (dati non presentati) e, sebbene valutato con azione residuale e non topica, è riportato anche in bibliografia da Lee et al., 2013. Ad una settimana di distanza dall'applicazione sperimentale, della quota identificata come moribonda, una piccola frazione di individui (in generale $\leq 3\%$) era rimasta tale, mentre la maggior parte aveva recuperato una mobilità normale o era morta. Tau-fluvalinate si distingue per la maggior quota di morti (65%) e conseguentemente la minor quota di individui che hanno recuperato le funzioni motorie normali (33%); gli altri prodotti presentano invece una quota di individui trattati che hanno recuperato vitalità compresa tra il 41% e il 54%. Per quanto riguarda le piretrine naturali, probabilmente nelle condizioni sperimentali in cui si è operato il periodo di una settimana non è sufficiente per determinare la morte o il recupero degli individui moribondi sotto osservazione; è da notare anche l'esigua dimensione del campione di individui vivi e moribondi raccolti in 24 ore con piretrine (17 individui, come si osserva nella legenda di tabella 5), che rende l'osservazione poco solida. Si vuole evidenziare come le osservazioni abbiano tenuto conto solo di quanto visibile esternamente (i.e. insetti vitali, attivi e con movimenti coordinati vs insetti morti), mentre le indagini non hanno tenuto conto degli effetti collaterali intrinseci (i.e. deterrenza all'alimentazione e disturbi della sfera riproduttiva).

Va sottolineato infine che la mortalità riportata in tabella 4 fa riferimento al totale degli individui rilevati nella tesi durante la parte di campo (è una mortalità relativa a quanto presente in campo, stimata grazie anche al rilievo di inventario), mentre la mortalità riportata in tabella 5 fa riferimento esclusivamente al totale di individui vivi e moribondi raccolti con R1 (è una mortalità relativa a quanto osservato in laboratorio, che dipende da quanto raccolto nel primo rilievo). La grandezza del campione di campo è riportata in tabella 4, così come nella legenda della tabella 5 è riportata la grandezza del campione di laboratorio. La grande disformità tra le tesi permette di leggere gli andamenti della mortalità strettamente in termini numerici.

Tabella 5. Prosecuzione in laboratorio della prova di campo

Tesi	Rilievo a 2 gg			Rilievo a 5 gg			Rilievo a 7 gg		
	V ⁽¹⁾	MB	M	V	MB	M	V	MB	M
Karate Zeon	13,38 ⁽²⁾	64,97	21,66	52,87	13,38	33,76	42,68	3,18	54,14
Bayteroid 25 EC	33,01	47,57	19,42	64,08	14,56	21,36	54,37	2,91	42,72
Decis Evo	17,42	46,97	35,61	59,09	5,30	35,61	51,52	1,52	46,97
Mavrik 20 EW	17,50	67,50	15,00	30,00	17,50	52,50	32,50	2,50	65,00
Asset	47,06	41,18	11,76	41,18	43,82	15,00	41,18	38,82	20,00

(1): V = vivi, MB = moribondi, D = morti. (2): valori percentuali calcolati sul totale di individui vivi e moribondi raccolti in campo e monitorati in laboratorio. Dimensione del campione osservato (vivi e moribondi provenienti dal campo, raccolti con R1): 123 individui per Karate Zeon, 83 individui per Bayteroid 25 EC, 83 individui per Decis Evo, 37 individui per Mavrik 20 EW, 17 individui per Asset.

Biosaggio di laboratorio

I risultati sono riportati in tabella 6, 7 e 8. Per entrambi i sessi la mortalità minore è registrata dal trattato con acqua (tabella 6). Dall'analisi effettuata con Anova a due fattori con replica e con i successivi Test-t si è osservato che in alcuni rilievi l'efficacia varia in modo statisticamente significativo tra maschi e femmine, quindi si è proceduto ad analizzare i dati separatamente per sesso. La differenza che si osserva tra i sessi nella tesi controllo probabilmente nelle altre tesi viene mascherata dall'azione tossica dei prodotti e non risulta individuabile tramite Anova a due fattori con replica; in generale è comunque osservabile un trend, strettamente numerico, di maggior tolleranza al trattamento delle femmine.

Per quanto riguarda i maschi (tabella 7), interessante si è rivelata l'efficacia del lambda-cialotrina, che già a 24 ore di distanza dal trattamento si è differenziato da tutte le altre tesi. A 48 h una performance statisticamente analoga è raggiunta anche da beta-ciflutrin. A 3 giorni di distanza dal trattamento la situazione è sostanzialmente invariata per lambda-cialotrina e beta-ciflutrin, mentre incrementano le mortalità di deltametrina e piretrine naturali. Per quanto riguarda tau-fluvalinate, invece, siccome nei rilievi a 48 ore e 72 ore non incrementa la mortalità (che rimane stazionaria dal primo rilievo a 24 ore), con la formula che prevede la correzione della mortalità con la mortalità del controllo trattato con acqua (la quale aumenta), in tabella 7 appare con una mortalità decrescente nel tempo, ma è da leggersi per la motivazione appena esplicitata come mortalità stazionaria. A quattro giorni di distanza dall'applicazione la mortalità incrementa per tutti i prodotti, raggiungendo per lambda-cialotrina il 100%. Va infine sottolineato come, ad una settimana dal trattamento, ad eccezione di lambda-cialotrina, tutte le altre tesi presentino una quota di individui vivi e moribondi.

Per quanto riguarda le femmine (tabella 8), si conferma un trend sostanzialmente analogo a quanto osservato per i maschi, sebbene con qualche differenza. Lambda-cialotrina a 24 ore si riconferma il prodotto abbattente più attivo, sebbene con una mortalità numericamente inferiore a quella dei maschi. A 48 ore in particolare incrementa la mortalità delle femmine trattate con beta-ciflutrin. Nei rilievi successivi, seppure con differenze numeriche anche marcate, l'efficacia dei vari prodotti è statisticamente simile, ad eccezione di tau-fluvalinate. Nel rilievo ad una settimana si riconferma lambda-cialotrina come prodotto più performante e a seguire beta-ciflutrin e gli altri, tutti comunque con una parte di individui ancora vivi o moribondi.

Tabella 6. Mortalità media (%) di maschi e femmine di *H. halys* calcolata per ciascun rilievo e analizzata con Anova a due fattori con replica (i dosaggi sono riportati in tabella 1)

Tesi	Rilievo 1		Rilievo 2		Rilievo 3		Rilievo 4		Rilievo 5	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Karate Zeon	76,7	60,0	86,7	73,3	86,7	73,3	100,0*	86,7	100,0	100,0
Bayteroid 25 EC	40,0	40,0	70,0	63,3	76,7	73,3	86,7	90,0	96,7	96,7
Decis Evo	46,7	36,7	56,7	40,0	60,0	53,3	76,7	66,7	86,7*	76,7
Mavrik 20 EW	42,0	43,0	45,8	46,2	48,9	50,0	55,0	53,3	60,0	50,0
Asset	26,7	20,0	53,3	33,3	63,3	43,3	76,7	60,0	86,7*	83,3
H ₂ O	13,3*	0,0	23,3*	6,7	30,0*	6,7	30,0	13,3	43,3	33,3

* Test-t ($p \leq 0,05$): confronto a coppie per medie di ♂ e ♀ nello stesso rilievo, le differenze vanno pertanto lette come ♂ vs. ♀. Dove compare il simbolo * la coppia di medie è statisticamente differente, dove non compare non ci sono differenze significative.

Tabella 7. Mortalità media (%) dei maschi di *H. halys* depurata dalla mortalità del testimone trattato con acqua (i dosaggi sono riportati in tabella 1)

Tesi	Rilievo 1	Rilievo 2	Rilievo 3	Rilievo 4	Rilievo 5
Karate Zeon	73,30 a ⁽¹⁾	82,78 a	80,56 a	100,00 a	100,00
Bayteroid 25 EC	29,20 bc	61,39 ab	62,28 ab	79,17 ab	91,67
Decis Evo	38,30 b	39,17 bc	38,89 abc	65,28 ab	69,44
Mavrik 20 EW	24,20 bc	21,39 bc	13,89 bc	40,28 b	34,72
Asset	15,00 bc	35,00 bc	44,44 abc	65,28 ab	76,39
Acqua	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00

(1): media di 6 repliche costituite da 5 ♂; valori seguiti dalla stessa lettera non presentano differenze significative con Test SNK ($p \leq 0,05$). La colonna relativa a R5 non risulta essere statisticamente significativa (n.s.).

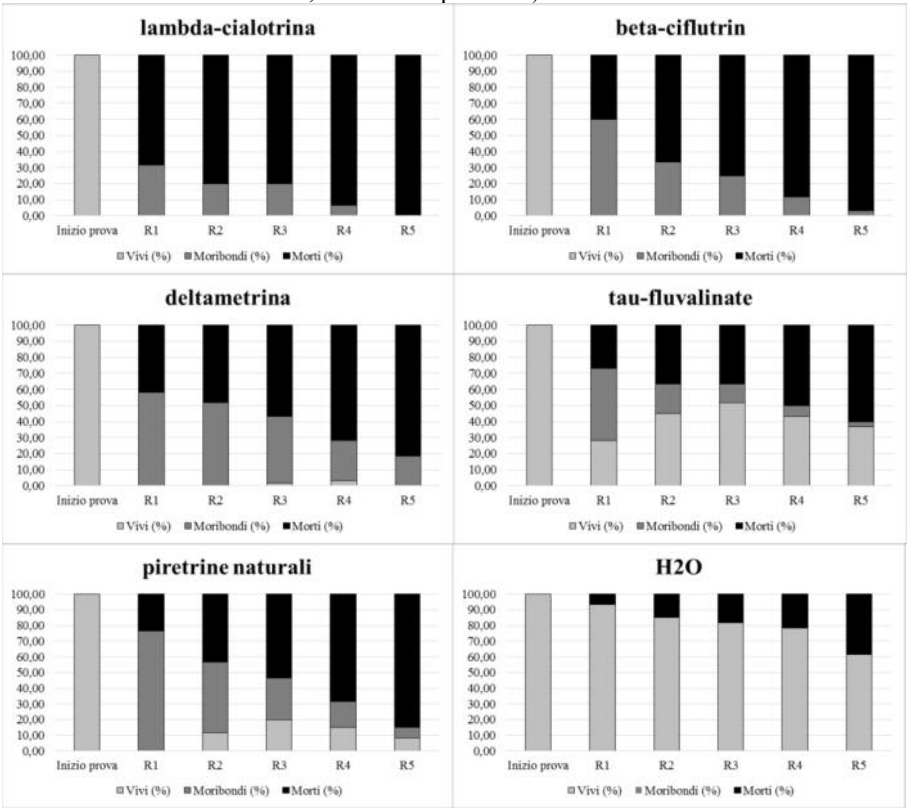
Tabella 8. Mortalità media (%) delle femmine di *H. halys* depurata dalla mortalità del testimone trattato con acqua (i dosaggi sono riportati in tabella 1)

Tesi	Rilievo 1	Rilievo 2	Rilievo 3	Rilievo 4	Rilievo 5
Karate Zeon	60,00 a ⁽¹⁾	72,50 a	72,50 a	86,67 a	100,00
Bayteroid 25 EC	40,00 b	60,80 a	70,80 a	89,17 a	96,67
Decis Evo	36,67 b	35,80 b	50,80 ab	65,00 ab	61,94
Mavrik 20 EW	20,00 bc	25,80 bc	25,80 b	34,17 c	12,50
Asset	20,00 bc	27,50 bc	38,30 ab	52,22 bc	70,83
Acqua	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 d	0,00

(1): media di 6 repliche costituite da 5 ♀; valori seguiti dalla stessa lettera non presentano differenze significative con Test SNK ($p \leq 0,05$). La colonna relativa a R5 non risulta essere statisticamente significativa (n.s.).

In figura 2 è riportato l'andamento della mortalità durante la settimana di prova, corredato delle informazioni sugli individui ancora vivi o moribondi. Come si può osservare dai grafici delle varie tesi la mortalità incrementa nel tempo con velocità differenti in base al prodotto, con trend simili per lambda-cialotrina, beta-ciflutrin e deltametrina. Tau-fluvalinate nel complesso presenta un'efficacia leggermente inferiore alle suddette molecole, a fronte però di una maggior selettività verso gli utili, come riportato in altri lavori (Lanzoni e Pasqualini, 2016). Infine, il riferimento biologico rappresentato dalle piretrine naturali ha nel complesso portato a risultati interessanti, sebbene non sempre comparabili con i piretroidi di sintesi: nelle 24 ore in campo è stata raccolta nel complesso una frazione di individui di poco superiore al 40% del totale di individui stimati in prova e ad una settimana di distanza circa un 40% di questi era ancora moribondo; in laboratorio, invece, porta a 7 giorni ad una mortalità comparabile ai piretroidi di sintesi. Tali attività vanno in ogni caso lette alla luce del periodo stagionale in cui è stato realizzato lo studio: individui svernanti trattati in primavera o individui delle nuove generazioni trattati durante l'estate hanno probabilmente una risposta differente rispetto a quanto osservato in questo studio di fine stagione. Inoltre, nel presente lavoro non sono stati considerati gli effetti collaterali trofici e riproduttivi nel medio-lungo periodo.

Figura 2. Rappresentazione grafica dell'incremento di mortalità nella prova di laboratorio (individui vivi, moribondi e morti in percentuale relativa sul totale di individui osservati per ciascuna tesi in ciascun rilievo, non distinti per sesso)



CONCLUSIONI

Con il presente “screening” in campo e laboratorio, realizzato con individui adulti di *H. halys* prossimi all’entrata in svernamento, viene messa in luce la differente efficacia dei piretroidi e piretrine naturali saggiati. L’efficacia più o meno elevata nel breve periodo è correlata a un’intrinseca capacità di recupero dell’insetto trattato, più marcata in condizioni di campo (dove il trattamento fogliare verosimilmente non permette di raggiungere adeguatamente tutti gli insetti presenti), rispetto al laboratorio (dove il protocollo sperimentale adottato ha posto nelle migliori condizioni operative i prodotti saggiati, somministrando per contatto diretto una buona bagnatura topica). Come risulta infatti dal biosaggio di laboratorio, l’azione di alcuni prodotti è in grado, nell’arco di una settimana, di determinare una mortalità elevata degli individui trattati. La non corrispondenza tra risultati di laboratorio e di campo è ben nota per questa specie (Kuhar e Kamminga, 2017), quindi per non sovrastimare la performance degli insetticidi le attenzioni andrebbero concentrate sulle prove di pieno campo. Nel presente studio i risultati di campo e laboratorio, sebbene con livello differente sono, a parere degli autori, concordanti. Inoltre sono in linea con quanto riportato anche in bibliografia (Nielsen et al., 2008; Leskey et al., 2012; Lee et al., 2013), dove con studi differenti viene riportata la capacità di recupero di *H. halys* dallo stato di moribondo in seguito ad un’esposizione con piretroidi. Inoltre nel caso della prova di campo non si può escludere che gli individui presenti sulle parcelle trattate siano venuti a contatto con il residuo del prodotto sulla vegetazione nell’arco di 24 ore, piuttosto che aver avuto un contatto diretto con l’insetticida durante il trattamento, ponendosi quindi in una condizione sperimentale simile a quanto descritto dagli autori statunitensi.

Come già accennato, la sola difesa chimica non può essere risolutiva per il contenimento di questa nuova specie invasiva e, in conclusione, con il presente studio viene confermata la ridotta efficacia dei prodotti piretroidi saggiati nell’eliminare efficacemente *H. halys* a fine stagione, evidenziando anche una discreta capacità di recupero degli insetti trattati. Tuttavia, in casi particolari di presenza di alte infestazioni localizzate in atto, si potrebbe intervenire anche con tali prodotti in modo estremamente mirato per rispettare il più possibile una selettività di posizione spaziale e temporale. L’utilizzo razionale e moderato di piretroidi e piretrine seguendo il principio dell’agricoltura di precisione (“the right dose of the right product, in the right site, at the right timing”) potrebbe in certi casi aiutare a contenere le infestazioni, ricordando che è fortemente sconsigliato un trattamento a pieno campo quando l’infestazione non è uniformemente distribuita e che questo lavoro non vuole motivare i trattamenti post-raccolta (e.s. su pero in post-raccolta non è mai stata osservata infestazione se non in presenza di frutti residui sulle piante, pertanto un trattamento estintivo in post-raccolta sull’intero frutteto oltre ad essere inutile risulta dannoso per gli effetti collaterali sugli equilibri trofici). La cimice asiatica segue il calendario di maturazione delle varietà e delle colture e in genere tende ad abbandonare un impianto quanto non ci sono più frutti. L’utilizzo di feromoni di aggregazione nel periodo di fine estate (agosto-settembre) e la non raccolta di filari esterni pesantemente danneggiati, potrebbero concentrare le cimici in una determinata zona circoscritta, ove intervenire con prodotti anche poco selettivi come quelli oggetto del presente lavoro. Si ricorda infine di far sempre riferimento alle etichette in termini di dosaggi e autorizzazioni d’impiego e di rispettare le “buffer zones”.

Ringraziamenti

Questi studi sono stati finanziati dalla Regione Emilia Romagna nell’ambito del PSR 2014-2020 Mis. 16.01 - FA 4B, GO *Halyomorpha halys* con il coordinamento del CRPV.

LAVORI CITATI

- Hull L. A. e Starner V. R., 1983. Impact of Four Synthetic Pyrethroids on Major Natural Enemies and Pests of Apple in Pennsylvania. *Entomological Society of America, Journal of Economic Entomology* Vol 76, n 1, pp. 122-130. 0022-0493/83/0101- 2209\$02.00/0
- Kuhar T. P., Kamminga K., 2017. Review of the chemical control research on *Halyomorpha halys* in the USA. *Journal of Pest Science*, September 2017, Volume 90, Issue 4, pp 1021–1031. DOI 10.1007/s10340-017-0859-7.
- Lanzoni A., Pasqualini E., 2016. Impiego di insetticidi piretroidi e acaro-insorgenza *L'Informatore Agrario*, 26: 52-57.
- Lee D.-H., 2015. Current status of research progress on the biology and management of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) as an invasive species. *Appl Entomol Zool* (2015) 50:277–290. DOI 10.1007/s13355-015-0350-y.
- Lee D.-H., Wright S. E., and Leskey T. C., 2013. Impact of Insecticide Residue Exposure on the Invasive Pest, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae): Analysis of Adult Mobility. *Journal of Economic Entomology* 106(1): 150Ð158 (2013); DOI: <http://dx.doi.org/10.1603/EC12265>.
- Leskey T. C., Lee D.-H., Short B. D., and Wright S. E., 2012. Impact of Insecticides on the Invasive *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae): Analysis of Insecticide Lethality. *Journal of Economic Entomology*, 105(5):1726-1735. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1603/EC12096>
- Maistrello L., Vaccari G., Caruso S., Costi E., Bortolini S., Macavei L., Foca G., Ulrici A., Bortolotti P. P., Nannini R., Casoli L., Fornaciari M., Mazzoli G. L., Dioli P., 2017. Monitoring of the invasive *Halyomorpha halys*, a new key pest of fruit orchards in northern Italy. *Journal of Pest Science*, September 2017, Volume 90, Issue 4, pp 1231–1244. DOI 10.1007/s10340-017-0896-2.
- Morehead J. A., Kuhar T. P., 2017. Efficacy of organically approved insecticides against brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* and other stink bugs. *Journal of Pest Science*, September 2017, Volume 90, Issue 4, pp 1277–1285. DOI 10.1007/s10340-017-0879-3.
- Nielsen AL, Shearer PW, Hamilton GC (2008) Toxicity of insecticides to *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) using glass-vial bioassays. *Journal of Economic Entomology* 101:1439–1442
- Penman D. R., Chapman R. B., 1988. Pesticide-Induced Mite Outbreaks: Pyrethroids and Spider Mites. *Experimental & Applied Acarology*, 4 (1988) 265-276.
- Rice K. B., Bergh C. J., Bergmann E. J., Biddinger D. J., Dieckhoff C., Dively G. P., Fraser H., Garipey T. D., Hamilton G. C., Haye T., Herbert D. A., Hoelmer K. A., Hooks C. R. R., Jones A., Krawczyk G., Kuhar T. P., Martinson H. M., Mitchell W. S., Nielsen A. L., Pfeiffer D. G., Raupp M. J., Rodriguez-Saona C. R., Shearer P. W., Shrewsbury P. M., Venugopal P. D., Whalen J., Wiman N. G., Leskey T. C., Tooker J. F., 2014.- Biology, Ecology, and Management of Brown Marmorated Stink Bug (Hemiptera: Pentatomidae), *Journal of Integrated Pest Management*, Volume 5, Issue 3, 1 September 2014, Pages A1–A13, <https://doi.org/10.1603/IPM14002>.