



Tavole Rotonde sui maggiori problemi
riguardanti l'Entomologia Agraria in Italia
Sotto gli auspici del MIPAAF

XXXV.
CIMICE ASIATICA *HALYOMORPHA HALYS*:
NUOVE ACQUISIZIONI
E APPLICAZIONI NELLA DIFESA



Estratto da:
ATTI DELLA
ACCADEMIA NAZIONALE
ITALIANA DI ENTOMOLOGIA
Anno LXVII - 2019



Tavole Rotonde sui maggiori problemi
riguardanti l'Entomologia Agraria in Italia
Sotto gli auspici del MIPAAF

XXXV.

**CIMICE ASIATICA *HALYOMORPHA HALYS*:
NUOVE ACQUISIZIONI E APPLICAZIONI NELLA DIFESA**

Estratto da:
ATTI DELLA
ACCADEMIA NAZIONALE
ITALIANA DI ENTOMOLOGIA
Anno LXVII - 2019

PRESENTAZIONE

La cimice asiatica, Halyomorpha halys (Stål) (Hemiptera, Pentatomidae), è ormai diffusa in gran parte del mondo, avendo invaso il continente Nord Americano e quello Europeo, dove causa danni economici enormi a molte piante coltivate, in particolare alle colture erbacee e ai fruttiferi. In Italia è presente da poco meno di un decennio e, dopo il suo primo rinvenimento nel 2012, risulta ormai ampiamente insediata, rappresentando uno dei maggiori problemi economici per la nostra agricoltura.

La preoccupazione che questa cimice desta ha stimolato numerosi studi finalizzati alla comprensione della sua biologia nei nostri ambienti produttivi, allo sviluppo di strategie di monitoraggio e controllo basate sulle più moderne tecnologie e sull'introduzione auspicabile di nemici naturali

presenti negli areali di origine, con interventi di lotta biologica classica.

Tali argomenti sono stati il focus di questa Tavola Rotonda che l'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia ha organizzato per stimolare un fruttuoso confronto fra studiosi che hanno recentemente prodotto importanti nuove conoscenze su questo fitomizo e su strategie per il suo controllo. L'auspicio è che la pubblicazione del presente volume possa contribuire alla rapida diffusione di informazioni utili che la ricerca applicata mette a disposizione dell'ampia comunità dei portatori d'interesse coinvolti a vario titolo in questa difficile sfida.

FRANCESCO PENNACCHIO
Presidente
Accademia Nazionale Italiana di Entomologia

INDICE

Tavola Rotonda su:

CIMICE ASIATICA <i>HALYOMORPHA HALYS</i> : NUOVE ACQUISIZIONI E APPLICAZIONI NELLA DIFESA	
TIM HAYE – <i>Global pest status of Halyomorpha halys and impact of its associated parasitoids</i>	» 95
LARA MAISTRELLO – <i>Biologia e diffusione di Halyomorpha halys, l'autostoppista invasivo che sconvolge la difesa integrata</i>	» 101
LARA BOSCO, MARTINA NARDELLI, LUCIANA TAVELLA – <i>Halyomorpha halys, dallo svernamento alla colonizzazione delle colture</i>	» 107
DAVIDE SCACCINI, LOGAN MOORE, PAOLA TIRELLO, DIEGO FORNASIERO, MASSIMO CECCHETTO, CARLO DUSO, ALBERTO POZZEBON – <i>Andamento delle popolazioni e dannosità di Halyomorpha halys sulle colture agrarie</i>	» 113
GIANFRANCO ANFORA, CLAUDIO IORIATTI, VALERIO MAZZONI – <i>Strumenti per monitoraggio e controllo di Halyomorpha halys basati su semiochimici e vibrazioni, ed esperienze di "Citizen Science"</i>	» 119
ERIC CONTI, VALERIA BERTOLDI, JACQUES BRODEUR, GABRIELE RONDONI – <i>Risposte difensive delle piante a Halyomorpha halys</i>	» 125
PIO FEDERICO ROVERSI, GIUSEPPINO SABBATINI PEVERIERI, LEONARDO MARIANELLI – <i>Ooparassitoidi asiatici di Halyomorpha halys: possibilità di biocontrollo e valutazione dell'impatto ambientale</i>	» 131
ELENA GONELLA, BIANCA ORRÙ, ALBERTO ALMA – <i>'Candidatus Pantoea carbekii', simbionte intestinale della cimice asiatica: un bersaglio indiretto per una nuova strategia di lotta</i>	» 135

SEDUTA PUBBLICA, FIRENZE 22 FEBBRAIO 2019

Tavola Rotonda su:

CIMICE ASIATICA *HALYOMORPHA HALYS*:
NUOVE ACQUISIZIONI E APPLICAZIONI NELLA DIFESA

Coordinatori:

ALBERTO ALMA e LUCIANA TAVELLA, Accademici

94 - Pagina bianca

GLOBAL PEST STATUS OF *HALYOMORPHA HALYS* AND IMPACT OF ITS ASSOCIATED PARASITOIDS

TIM HAYE ^a

^a CABI, Rue des Grillons 1, 2800 Delémont, Switzerland; e-mail: t.haye@cabi.org

Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda “Cimice asiatica *Halyomorpha halys*: nuove acquisizioni e applicazioni nella difesa”. Seduta pubblica dell’Accademia - Firenze, 22 febbraio 2019.

Global pest status of Halyomorpha halys and impact of its associated parasitoids

The brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae), has emerged as very damaging invasive insect pest in North America and Europe in the 1990s and 2000s, respectively. *Halyomorpha halys* is highly polyphagous both in its native and invaded ranges, feeding on and damaging on over 200 host plants, including field crops, vegetables, tree fruits, and ornamentals. Since its arrival in the 1990s, major yield losses have been observed in apples, pears, peaches, and nectarines in invaded areas of the USA. In Europe, it is now present in 27 countries, causing damage in pear, apple, peach, kiwi, hazelnut, corn and peppers. In Asia, *H. halys* is only an occasional outbreak pest of tree fruit. Whereas the impact of native natural enemies on invasive *H. halys* populations in Europe and North America is generally considered low, classical biological control using the Asian egg parasitoid *Trissolcus japonicus* seems more promising. Surveys in Asia have shown that *T. japonicus* often causes egg parasitism of 50-90% in the field. In 2014, *T. japonicus* was found to be established outdoors in the USA and more recently, adventive populations were also discovered in Canada, Switzerland and Italy. Regardless if the commercial use of *T. japonicus* will be permitted by European governments, the arrival of *T. japonicus* is now irreversible, and bioclimatic models suggest that it will spread throughout Europe. In the US, the *T. japonicus* is currently being relocated and released in agricultural locations within state boundaries where *T. japonicus* has spread naturally.

KEY WORDS: brown marmorated stink bug, distribution, egg parasitoids, *Trissolcus japonicus*, biological control.

GLOBAL PEST STATUS OF *HALYOMORPHA HALYS*

The brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) (Fig. 1), has emerged as very damaging invasive insect pest in North America and Europe in the 1990s and 2000s, respectively. Native to China, Japan, Korea and Taiwan, it is spreading rapidly worldwide, notably through human-mediated activities (HAYE *et al.*, 2015b). Ocean-going cargo containers or packing crates containing overwintering *H. halys* adults appear to be one of the most common pathways of introduction (HOEBEKE & CARTER, 2003). However, *H. halys* has also been intercepted from ship decks and other cargo including transported machinery, furniture and cars (DUTHIE *et al.*, 2012). Studies on the patterns of haplotype diversity of *H. halys* in different parts of Europe indicated the movement of successful invasive populations to generate secondary invasions within Europe (‘bridgehead effect’), as well as the occurrence of multiple invasions from Asia that are still in progress (GARIEPY *et al.*, 2014). In the Southern Hemisphere *H. halys* has only established in Chile so far (FAÚNDEZ & RIDER, 2017), but is frequently

intercepted by border officials in a number of countries including New Zealand (Duthie *et al.*, 2012) and Australia (HORWOOD *et al.*, 2019). In the past three years, 80 to 90% of intercepted adults at New Zealand’s borders originated from shipments exported from Italy, demonstrating the increasing risk of secondary introductions.

Halyomorpha halys is highly polyphagous both in its native and invaded ranges, feeding on and damaging on over 200 host plants, including field crops, vegetables, tree fruits, and ornamentals. Woody ornamental plants provide early- and late-season resources for adults emerging from and returning to overwintering sites, as well as feeding and breeding sites for *H. halys* throughout the growing season. A synthesis of host use reported 51 host plants in 32 plant families in Europe (HAYE *et al.*, 2014b). This list included European native and non-native plants, ranging from herbaceous perennials to woody trees and shrubs, but the actual host range is likely much broader. Feeding injury causes depressed or sunken areas that may become cat-faced as fruit develops (Fig. 2). Late season injury causes corky spots on the fruit. Feeding may also cause fruiting structures to abort prematurely.



Fig. 1 – The brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*.



Fig. 2 – Pears damaged by *Halyomorpha halys* in an orchard in Emilia Romagna.

Similar damage occurs in fruiting vegetables such as tomatoes and peppers, although frequently later in the season. Feeding can cause failure of seeds to develop in crops such as maize or soybean.

In North America damage to apples and pears was first detected in Pennsylvania and New Jersey (NIELSEN & HAMILTON, 2009a). As of 2019, *H. halys* has been detected in 44 states and the District of Columbia in the USA and three Canadian Provinces (LESKEY & NIELSEN, 2018). In Delaware, Maryland, New Jersey, Pennsylvania, Virginia and West Virginia, New York, North Carolina, Tennessee, Michigan, and Wisconsin *H. halys* has become a severe agricultural and nuisance pest. In orchards where *H. halys* established in the USA, it quickly became the predominant stink bug species and, unlike native stink bugs, is a season-long pest of tree fruit (NIELSEN & HAMILTON, 2009; LESKEY *et al.*, 2012). In the mid-Atlantic region of the USA in 2010, 37 million USD of yield losses in apples was reported (LESKEY *et al.*, 2012). Since then, major yield losses have continued in apples, pears, peaches, and nectarines in invaded areas of the USA (RICE *et al.*, 2014). The main field crops damaged by *H. halys* in the USA are corn and soybean.

In Europe, the first established population of *H. halys* was reported from Zurich, Switzerland, in 2007 (WERMELINGER *et al.*, 2008), but later it was confirmed that it had already been present in Zurich in 2004 (HAYE *et al.*, 2014a). Since the initial detec-

tion, the pest has been spreading to many new areas and is now present in 27 European countries (CLAEREBOU *et al.*, 2018). In addition, it also established in the Black Sea region, including Russia, Georgia and Abkhazia (MUSOLIN *et al.*, 2018). Crops affected by *H. halys* included primarily pear, apple, peach, kiwi, hazelnut, corn and peppers (MAISTRELLO *et al.*, 2017; VÉTEK & KORÁNYI, 2017; CICEOI *et al.*, 2016). Particularly, significant crop losses in hazelnuts have been reported in Italy and Georgia (BOSCO *et al.*, 2018). In Switzerland, severe crop damage has been observed since 2017 due to the increasing spring and summer temperatures, which allowed *H. halys* to produce an additional second generation in areas where it used to be univoltine.

In Asia, *H. halys* is only an occasional outbreak pest of tree fruit (FUNAYAMA, 2002). Damage levels observed in pear and apples ranged from 10 to 80% and 23 to 31%, respectively. In South America, *H. halys* has only been detected in the urban area of Santiago de Chile so far, where it is considered a nuisance pest. Crop damage has not been reported.

In areas where *H. halys* has established and is causing damage to crops, insecticide applications have increased several-fold (LESKEY *et al.*, 2012), representing a major additional management cost for growers and also creating significant environmental concerns. Many insecticides used against *H. halys* are of unreliable efficacy; they often result in

“knock-down” and recovery of *H. halys*, and are even less effective against the late-season populations that cause the most damage (LESKEY & NIELSEN, 2018). In order to effectively manage *H. halys* therefore, repeated applications of broad-spectrum insecticides are currently needed (KUCHAR & KAMMINGA, 2017). These frequent and non-selective spray programmes have disrupted existing integrated pest management strategies, resulting in outbreaks of secondary pests that are normally held in check by naturally present biological control agents (LESKEY *et al.*, 2012).

IMPACT OF NATURAL ENEMIES IN ASIA AND INVADIED AREAS

Three principal groups of hymenopteran parasitoids attack *H. halys* eggs in its native range in Asia as well as in the invaded areas of North America and Europe: Scelionidae (*Telenomus*, *Trissolcus*, and *Gryon* spp.), Eupelmidae (*Anastatus* spp.), and Encyrtidae (*Ooencyrtus* spp.). Native European egg parasitoids, such as *Anastatus bifasciatus* (Eupelmidae), *Trissolcus kozlovi* (Scelionidae) and *Ooencyrtus telenomicida* (Encyrtidae) can successfully develop on viable eggs of *H. halys* (HAYE *et al.*, 2015a; ROVERSI *et al.*, 2016; STAHL *et al.*, 2018; COSTI *et al.*, 2019; MORAGLIO *et al.*, 2019), whereas other native European egg parasitoids in the genera *Trissolcus* and *Telenomus* have been reported to oviposit in *H. halys* eggs but

their offspring are unable to develop on the exotic host (HAYE *et al.*, 2015a; KONOPKA *et al.*, 2017).

To date the generalist egg parasitoid *A. bifasciatus* is the most prevalent native egg parasitoid of the invasive *H. halys* in Europe (Fig. 3). To assess its efficacy against the pest *H. halys* in a realistic field setting, inundative releases were conducted over three consecutive years in four fruit orchards in Switzerland and Italy (STAHL *et al.*, 2019b). In total, more than 4,300 *A. bifasciatus* females were released, which was equivalent to 11,000 to 26,000 females per hectare, depending on distances between trees in each orchard. Parasitism of freeze-killed sentinel *H. halys* eggs post releases achieved on average only 6% (range: 2–16%). However, the overall impact of *A. bifasciatus* on the mortality of *H. halys* eggs was likely underestimated. If pre-imaginal parasitoid mortality (3.3%) and host feeding (6%) are added to the observed parasitism (6%), the actual induced mortality of *H. halys* eggs may reach more than 15%, which is, however, still considered not high enough to effectively suppress the pest.

In North America the relative prevalence of different parasitoid species associated with *H. halys* eggs is habitat-dependent (ABRAM *et al.*, 2017). *Telenomus podisi* tends to dominate field/vegetable crop and orchard habitats, while *Anastatus* spp. (Eupelmidae) and *Trissolcus* spp. (Scelionidae) make up most of the parasitoid community in ornamental, semi-natural/urban, and forest habitats. Habitat associations were not absolute, however, as several of the most commonly detected parasitoid



Fig. 3 – *Anastatus bifasciatus* parasitizing an egg mass of *Halyomorpha halys*.

species (e.g., *Anastatus reduvii*, *Trissolcus euschisti*, *Ooencyrtus* spp., *T. podisi*) were found at least once across several habitat types. A few of the most common parasitoid species (e.g., *A. reduvii*, *T. euschisti*) were found in both the western and central/eastern USA.

Whereas the impact of native natural enemies on invasive *H. halys* populations in Europe and North America is generally low (ABRAM *et al.*, 2017), classical biological control using native natural enemies from the pest's origin seems to be more promising. *Halyomorpha halys* eggs are parasitized by 14 species of parasitoids throughout its native range of China and Japan, which is associated with a reduced pest status in these areas (reviewed in LEE *et al.*, 2013). Recent surveys in China have shown that the dominant parasitoid of *H. halys* is the so-called samurai wasp, *Trissolcus japonicus* (Hymenoptera: Scelionidae) (Fig. 4), often parasitizing between 50-90% of eggs in the field in China (YANG *et al.*, 2009; ZHANG *et al.*, 2017).

Upon initiation of classical biological control programs in the USA and Europe, this parasitoid was identified as the most promising candidate for introduction. Host range testing in China, Europe and North America showed that *T. japonicus* is capable of parasitizing some non-target Pentatomidae and Scutelleridae to varying degrees, but at lower rates than *H. halys* eggs (ZHANG *et al.*, 2017; HEDSTROM *et al.*, 2017; HAYE *et al.*, 2019; LARA *et al.*, 2019). These studies suggest that ‘host use’

(minor use of a non-target species for reproduction) of some non-target species is a likely scenario, but on the other hand this may also increase the chances of establishment and survival of *T. japonicus* populations.

While host range studies were still ongoing, in 2014 *T. japonicus* was found to be established outdoors in Maryland (USA), indicating that it had been accidentally introduced (TALAMAS *et al.*, 2015). Other established populations were then found in Oregon and Washington State (USA) in 2015 (MILNES *et al.*, 2016). More, recently adventive populations of *T. japonicus* were also discovered in Canada (ABRAM *et al.*, 2019), southern Switzerland (STAHL *et al.*, 2019a), and northern Italy (SABBATINI PEVERIERI *et al.*, 2018; MORAGLIO *et al.*, 2019). In addition, a second Asian species, *Trissolcus mitsukurii*, was reared just recently from *H. halys* eggs in northern Italy (SABBATINI PEVERIERI *et al.*, 2018; MORAGLIO *et al.*, 2019). Petitions for the use of *T. japonicus* as biological control agent in Italy and Switzerland are currently in preparation. Regardless of the decisions taken by the governments, the arrival of *T. japonicus* in Europe is now irreversible, and bioclimatic envelope models (AVILA & CHARLES, 2018) suggest that it will spread throughout Europe, following the invasion routes of its primary host, *H. halys*. Based on a risk-benefit analysis considering scientific data, economic analysis, contemporary evidence and broader social impacts, an application for release of *T. japonicus*



Fig. 4 – *Trissolcus japonicus* guarding a parasitized egg mass of *Halyomorpha halys*.

was recently approved in New Zealand to support an eradication programme in the event of a *H. halys* incursion. In the US, *T. japonicus* is currently being relocated and released in agricultural locations within state boundaries where *T. japonicus* has spread naturally (JENTSCH, 2017).

BIBLIOGRAFIA

- ABRAM P., HOELMER K., ACEBES-DORIA A., ANDREWS H., BEERS E., BERGH J.C., BESSIN R., BIDDINGER D., BOTCH P., BUFFINGTON M., CORNELIUS M., COSTI E., DELFOSSE E., DIECKHOFF C., DOBSON R., DONAIS Z., GRIESHOP M., HAMILTON G., HAYE T., HEDSTROM C., HERLIHY M.V., HODDLE M., HOOKS C.R.R., JENTSCH P., NEELANDRA J., KUJAR T., LARA J., LEGRAND A., LEE J., LESKEY T., LOWENSTEIN D., MILNES J., MAISTRELLO L., MORRISON III W.R., NIELSEN A.L., OGBURN E., PICKETT C., POLEY K., POTE J., JAMES R., SHREWSBURY P.M., TALAMAS E., TAVELLA L., WALGENBACH J., WATERWORTH R., WEBER D.C., WELTY C., WIMAN N.G., 2017b – *Indigenous arthropod natural enemies of the invasive brown marmorated stink bug in North America and Europe*. - J. Pest Sci., 90: 1009-1020.
- ABRAM P.K., TALAMAS E.J., ACHEAMPONG S., MASON P.G., GARIEPY T.D., 2019 – *First detection of the samurai wasp, Trissolcus japonicus (Ashmead) (Hymenoptera, Scelionidae), in Canada*. - J. Hymenopt. Res., 68: 29-36.
- AVILA G.A., CHARLES J.G., 2018 – *Modelling the potential geographic distribution of Trissolcus japonicus: a biological control agent of the brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys*. - BioControl, 63: 505-518.
- BOSCO L., MORAGLIO S.T., TAVELLA L., 2018 – *Halyomorpha halys, a serious threat for hazelnut in newly invaded areas*. - J. Pest Sci., 91: 661-670.
- CICEOI R., MARDARE E., ELIZA T., DOBRIN I., 2016 – *The status of brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys, in Bucharest area*. - J. Hort. For. Biotech, 20(4): 18-25.
- CLAEREBOUT S., HAYE T., OLAFSSON E., PANNIER E., BULTOT J., 2018 – *Premières occurrences de Halyomorpha halys (Stål, 1855) pour la Belgique et actualisation de sa répartition en Europe (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae)*. - B. Soc. R. Bel. Entomol., 154: 205-227.
- COSTI E., HAYE T., MAISTRELLO L., 2019 – *Surveying native egg parasitoids and predators of the invasive Halyomorpha halys in Northern Italy*. - J. Appl. Entomol., 143: 299-307.
- DUTHIE C.D., MICHAEL T., STEPHENSON B., YAMOAH E., McDONALD B., 2012 – *Risk analysis of Halyomorpha halys (brown marmorated stink bug) on all pathways*. Wellington, New Zealand: Biosecurity Risk Analysis Group, Ministry of Agriculture and Forestry of New Zealand, 57 pp.
- FAÚNDEZ E., RIDER D.A., 2017 – *The brown marmorated stink bug Halyomorpha halys (Stål, 1855) (Heteroptera: Pentatomidae) in Chile*. - Arq. Entomol., 17: 305-307.
- FUNAYAMA K., 2002 – *Comparison of the susceptibility to injury of apple cultivars by stink bugs*. - Jpn. J. Appl. Entomol. Z., 46(1): 37-40.
- GARIEPY T.D., HAYE T., FRASER H., ZHANG J., 2014 – *Occurrence, genetic diversity, and potential pathways of entry of Halyomorpha halys in newly-invaded areas of Canada and Switzerland*. - J. Pest Sci., 87: 17-28.
- HAYE T., ABDALLAH S., GARIEPY T., WYNIGER D., 2014a – *Phenology, life table analysis, and temperature requirements of the invasive brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys, in Europe*. - J. Pest Sci., 87: 407-418.
- HAYE T., WYNIGER D., GARIEPY T., 2014b – *Recent range expansion of brown marmorated stink bug in Europe*. In: Müller G., Pospischil, R., Robinson W.H. (Eds.), 2014b – *Proceedings of the Eighth International Conference on Urban Pests*, 20-23 July, Zurich, Switzerland, OOK-Press, Verszprém, pp. 309-314.
- HAYE T., FISCHER S., ZHANG J., GARIEPY T.D., 2015a – *Can native egg parasitoids adopt the invasive brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Heteroptera: Pentatomidae), in Europe?* - J. Pest Sci., 88: 693-705.
- HAYE T., GARIEPY T.D., HOELMER K., ROSSI J.P., STREITO J.C., TASSUS T., DESNEUX N., 2015b – *Range expansion of the invasive brown marmorated stinkbug, Halyomorpha halys: an increasing threat to field, fruit and vegetable crops worldwide*. - J. Pest Sci., 88: 665-673.
- HAYE T., MORAGLIO T., STAHL J., VISENTIN S., GREGORIO T., TAVELLA L., 2019 – *Fundamental host range of Trissolcus japonicus in Europe*. - J. Pest Sci., <https://link.springer.com/article/10.1007/s10340-019-01127-3>
- HEDSTROM C., LOWENSTEIN D., ANDREWS H., BAI B., WIMAN N., 2017 – *Pentatomid host suitability and the discovery of introduced populations of Trissolcus japonicus in Oregon*. - J. Pest Sci., 90: 1169-1179.
- HOEBEKE E.R., CARTER M.E., 2003 – *Halyomorpha halys (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae): a polyphagous plant pest from Asia newly detected in North America*. - Proc. Entomol. Soc. Washington, 105(1): 225-237.
- HORWOOD M., MILNES J.M., COOPER W.R., 2019 – *Brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae), detections in Western Sydney, New South Wales, Australia*. - Aust. Entomol., 58: 857-865.
- JENTSCH P., 2017 – *Expanding the Range of the Samurai Wasp, Trissolcus japonicus, in New York Orchards*. <http://nyshs.org/wp-content/uploads/2018/04/Jentsch-Pages-31-36-from-NYFQ-Winter-Book-2017.pdf>
- KONOPKA J.K., HAYE T., GARIEPY T., MCNEIL J., MASON P., GILLESPIE D., 2017 – *An exotic parasitoid provides an invasional lifeline for native parasitoids*. - Ecol. Evol., 7: 277-284.
- KUHAR T.P., KAMMINGA K., 2017 – *Review of the chemical control research on Halyomorpha halys in the USA*. - J. Pest Sci., 1021-1031.
- LARA J.R., PICKETT C.H., KAMIYAMA M.T., FIGUEROA S., ROMO M., CABANAS C., BAZURTO V., STRODE V., BRISENO K., LEWIS M., OLIVA J., HERNANDEZ G., HODDLE M.S., 2019 – *Physiological host range of Trissolcus japonicus in relation to Halyomorpha halys and other pentatomids from California*. - BioControl, 64: 513-528.
- LEE D.H., SHORT B.D., JOSEPH S.V., BERGH J.C., LESKEY T.C., 2013a – *Review of the biology, ecology, and management of Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) in China, Japan, and the Republic of Korea*. - Environ. Entomol., 42: 627-641.
- LESKEY T.C., SHORT B.D., BUTLER B.R., WRIGHT S.E., 2012 – *Impact of the invasive brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Stål), in mid-Atlantic tree fruit orchards in the United States: case studies of commercial management*. - Psyche: 535062.
- LESKEY T.C., NIELSEN A.L., 2018 – *Impact of the Invasive Brown Marmorated Stink Bug in North America and Europe: History, Biology, Ecology, and Management*. - Annu. Rev. Entomol., 63: 599-618.

- 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*. - J. Pest Sci., 90: 1231-1244.
- MORAGLIO S.T., TORTORICI F., PANSA M.G., CASTELLI G., PONTINI M., SCOVERO S., VISENTIN S., TAVELLA L., 2019 – *A 3-year survey on parasitism of Halyomorpha halys by egg parasitoids in northern Italy*. - J. Pest Sci., <https://link.springer.com/article/10.1007/s10340-019-01136-2>
- MUSOLIN D.L., KONJEVIĆ A., KARPUN N.N., PROTSENKO V.Y., AYBA L.Y., SAULICH A.K., 2018 – *Invasive brown marmorated stink bug Halyomorpha halys (Stål)(Heteroptera: Pentatomidae) in Russia, Abkhazia, and Serbia: history of invasion, range expansion, early stages of establishment, and first records of damage to local crops*. - Arthropod-Plant Inte., 12(4): 517-529.
- NIELSEN A.L., HAMILTON G.C., 2009 – *Life history of the invasive species Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) in Northeastern United States*. - Ann. Entomol. Soc. Am., 102(4): 608-616.
- RICE K.B., BERGH C.J., BERGMANN E.J., BIDDINGER D.J., DIECKHOFF C., DIVEY G., FRASER H., GARIEPY T., HAMILTON G., HAYE T., HERBERT A., 2014 – *Biology, ecology, and management of brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae)*. - J. Integr. Pest Manage., 5: A1-13.
- ROVERSI P.F., MARIANELLI L., COSTI E., MAISTRELLO L., SABBATINI P.G., 2016 – *Searching for native egg-parasitoids of the invasive alien species Halyomorpha halys Stål (Heteroptera Pentatomidae) in Southern Europe*. - Redia, 99: 63-70
- SABBATINI PEVERIERI G., TALAMAS E., BON M.C., MARIANELLI L., BERNARDINELLI I., MALOSSINI G., BENVENUTO L., ROVERSI P.F., HOELMER K., 2018 – *Two Asian egg parasitoids of Halyomorpha halys (Stål) (Hemiptera, Pentatomidae) emerge in northern Italy: Trissolcus mitsukurii (Ashmead) and Trissolcus japonicus (Ashmead) (Hymenoptera, Scelionidae)*. - J. Hymenopt. Res., 67: 37-53.
- STAHL J., BABENDREIER D., HAYE T., 2018 – *Using the egg parasitoid Anastatus bifasciatus against the invasive brown marmorated stink bug in Europe – can non-target effects be ruled out?* - J. Pest Sci., 91:1005-1017.
- STAHL J., TORTORICI F., PONTINI M., BON M.C., HOELMER K., MARAZZI C., TAVELLA L., HAYE T., 2019a – *First discovery of adventive populations of Trissolcus japonicus (Ashmead) in Europe*. - J. Pest Sci., 92: 371-379.
- STAHL J.M., BABENDREIER D., MARAZZI C., COSTI E., MAISTRELLO L., HAYE T., 2019b – *Can Anastatus bifasciatus be used for augmentative biological control of the brown marmorated stink bug?* - Insects, 10(4): E 108
- TALAMAS E.J., HERLIHY M.V., DIECKHOFF C., HOELMER K., BUFFINGTON M., BON M.C., WEBER D.C., 2015a – *Trissolcus japonicus (Ashmead) (Hymenoptera, Scelionidae) emerges in North America*. - J. Hymenopt. Res., 43: 119-128.
- VÉTEK G., KORÁNYI D., 2017 – *Severe damage to vegetables by the invasive brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae), in Hungary*. - Period. Biol., 119: 131-135.
- WERMELINGER B., WYNIGER D., FORSTER B., 2008 – *First records of an invasive bug in Europe: Halyomorpha halys Stal (Heteroptera: Pentatomidae), a new pest on woody ornamentals and fruit trees?* - Mit. Sch. Entomol. Ges., 81(1/2):1-8.
- YANG Z.Q., YAO Y.X., QIU L.F., LI Z.X., 2009 – *A new species of Trissolcus (Hymenoptera: Scelionidae) parasitizing eggs of Halyomorpha halys (Heteroptera: Pentatomidae) in China with comments on its biology*. - Ann. Entomol. Soc. Am., 102: 39-47.
- ZHANG J., ZHANG F., GARIEPY T., MASON P., GILLESPIE D., TALAMAS E., HAYE T., 2017 – *Seasonal parasitism and host specificity of Trissolcus japonicus in northern China*. - J. Pest Sci., 90: 1127-1141.

BIOLOGIA E DIFFUSIONE DI *HALYOMORPHA HALYS*, L'AUTOSTOPPISTA INVASIVO CHE SCONVOLGE LA DIFESA INTEGRATA

LARA MAISTRELLO ^a

^a Dipartimento di Scienze della Vita, Centro BIOGEST-SITEIA, Università di Modena e Reggio Emilia, Via G. Amendola 2, 42122 Reggio-Emilia; e-mail: lara.maistrello@unimore.it

Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Cimice asiatica *Halyomorpha halys*: nuove acquisizioni e applicazioni nella difesa". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 22 febbraio 2019.

Biology and spread of Halyomorpha halys, the invasive hitchhiker that disrupts integrated pest management

Halyomorpha halys is an invasive fast-spreading pest of global importance native to East Asia, currently reported in the United States, Canada, Chile and Europe. Its bioecological features favour the human-assisted worldwide spread as a hitchhiker on inanimate objects by any means of transport and make its management in the field very difficult. *H. halys* causes severe damage to many crops and in Northern Italy it quickly became key-pest of fruit orchards, resulting in an increase in the number of treatments with broad spectrum insecticides, seriously disrupting previous IPM programs. The great success of this invasive species seems to be related to: i) the wide range of suitable host plants, both cultivated and spontaneous; ii) the great mobility of all instars; iii) the very high growth rate potential (in Northern Italy, $R_0 = 24.04$ and 5.44 for the overwintering and summer generation, respectively); iv) the scarcity and very low efficacy of the native biocontrol agents; iv) the strong association with human beings, especially during the overwintering period, that, beside making it a household nuisance pest, highly facilitates the diffusion through traveling people and goods.

KEY WORDS: Brown marmorated stink bug, invasive species, polyphagous crop pest, household nuisance pest, life table study.

Halyomorpha halys Stål, 1855 (Heteroptera, Pentatomidae) è un fitofago emergente di interesse globale (HAYE & WEBER, 2017). Originaria dell'Asia orientale (LEE *et al.*, 2013), introdotta nel continente Americano a partire da metà anni '90 (HOEBEKE & CARTER, 2003), dove attualmente è diffusa in quasi tutti gli Stati Uniti e diverse province del Canada (LESKEY & NIELSEN, 2018), è stata riportata anche in Cile dal 2016 (FAÚNDEZ & RIDER, 2017). Il primo rinvenimento in Europa è avvenuto in Svizzera nel 2004 (HAYE *et al.*, 2015a) e nel 2012, quando è stata trovata per la prima volta in Italia in Emilia Romagna (MAISTRELLO *et al.*, 2016), era già presente anche in Francia (CALLOT & BRUA, 2013) e Grecia (MILONAS & PARTSINEVELOS, 2014). A febbraio 2019 *H. halys* risulta diffusa in quasi tutti i paesi del continente Europeo e nei paesi sul Mar Nero (Fig. 1), (GAPON, 2016, MUSOLIN *et al.*, 2018, AK *et al.*, 2019) ad eccezione di Portogallo, Gran Bretagna e paesi del Nord Europa (CLAEREBOUT *et al.*, 2018, MAISTRELLO *et al.*, 2018, INATURALIST, 2019).

Le cause di una tale rapidissima espansione vanno ricercate nella biologia e nel comportamento della specie. In autunno gli adulti che entrano in svernamento, adattati fisiologicamente per resistere a condizioni sfavorevoli (non necessitano di alimentarsi, presentano elevata tolleranza a temperature sfavorevoli), si rifugiano in micro-habitat nascosti, asciutti e riparati,

che in natura trovano nelle fessure e interstizi in cima ad alberi eretti con corteccia spessa, come *Quercus* spp e *Robinia* spp (LEE *et al.*, 2014a). In aree antropizzate si rintanano aggregandosi anche in gran numero negli anfratti di strutture costruite dall'uomo come edifici ed oggetti inanimati di vario tipo: abitazioni, magazzini, capannoni, containers, veicoli, all'interno di imballaggi di vari tipi di merci, valige, vestiti ecc. E questo comportamento le rende quindi anche fastidiosi infestanti urbani, soprattutto nel caso di edifici circondati da aree verdi, sopraelevati rispetto al contesto (INKLEY, 2012). Se da un lato, questa stretta associazione con l'uomo può essere sfruttata nelle indagini "citizen science" per rilevare e seguire la diffusione in tempo reale della specie, elaborando anche modelli spazio-temporali di espansione (MAISTRELLO *et al.*, 2016, 2018, MALEK *et al.*, 2018, HANCOCK *et al.*, 2019), dall'altro è proprio questo il fattore chiave che facilita la diffusione di questo insetto autostoppista tramite tutti i mezzi di trasporto (MAISTRELLO *et al.*, 2018), rendendo di fatto inarrestabile ed estremamente rapida la sua propagazione nel mondo ed incrementandone le potenzialità invasive, anche perché queste cimici sfuggono alle regolari ispezioni fitosanitarie in quanto non viaggiano su materiale vegetale.

Le analisi genetiche degli individui raccolti in diversi siti Europei evidenziano un'elevata diversità delle popolazioni invasive di *H. halys*, in particolare in

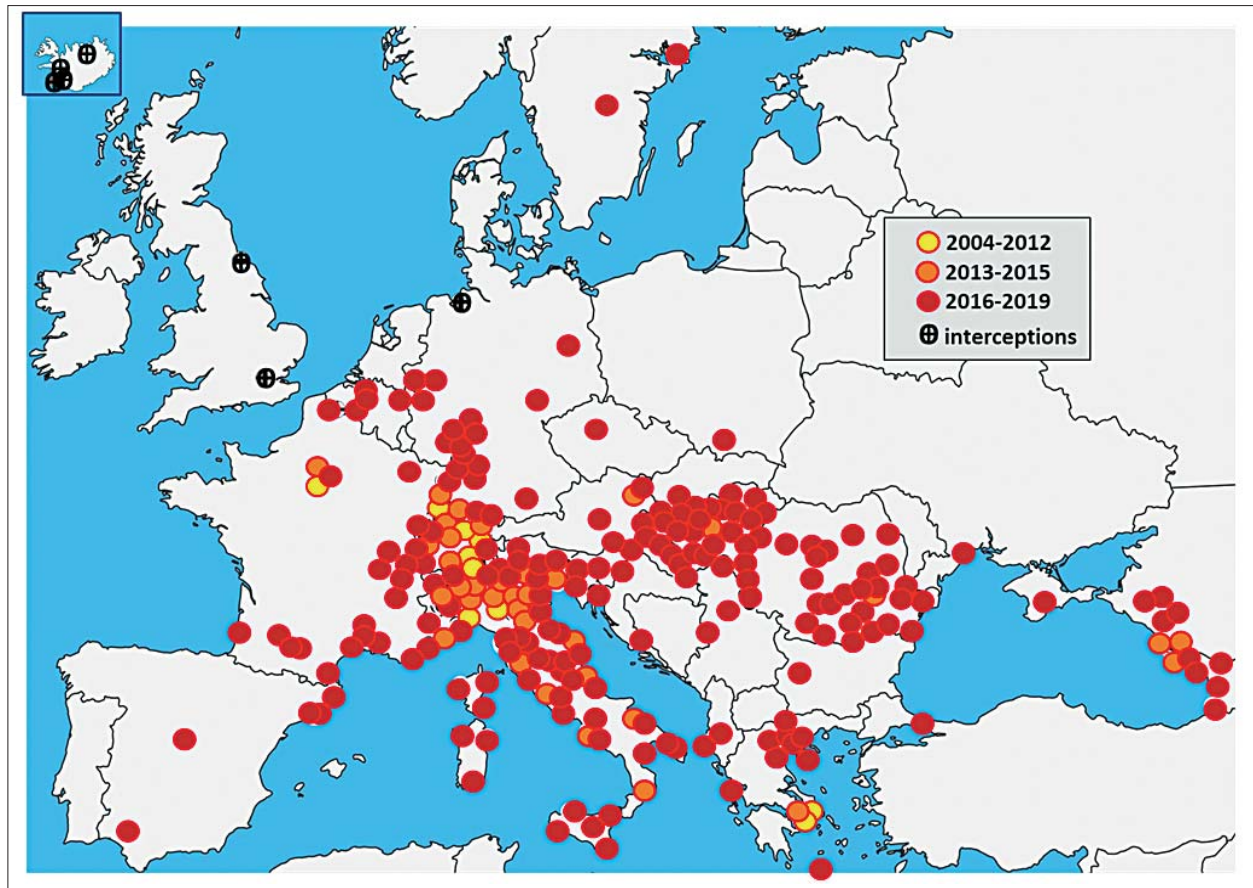


Fig. 1 – Diffusione di *Halyomorpha halys* in Europa (Febbraio 2019).

Italia (CESARI *et al.*, 2015, 2017) e in Grecia (MORRISON *et al.*, 2017), dimostrando che si tratta del frutto di molteplici introduzioni, ancora in corso, dall'Asia e da altri paesi in cui è stata introdotta a seguito degli scambi commerciali e dei viaggi delle persone e confermando l'ipotesi che la diffusione assistita dall'uomo svolga un ruolo importante nel potenziale invasivo di questa specie.

D'altra parte sono in aumento le intercettazioni di individui anche vivi di *H. halys* nelle dogane, porti e aeroporti in diversi paesi in Europa e nel mondo, in particolare Australia e Nuova Zelanda (CHARLES *et al.*, 2019, HORWOOD *et al.*, 2019), e rappresentano motivo di grande preoccupazione per le autorità di biosicurezza, che devono attuare misure speciali per ridurre i rischi di contaminazione, con ricadute negative sugli scambi commerciali internazionali. Specificamente, a partire da metà gennaio 2018 sia Australia¹ che Nuova Zelanda² hanno deciso di imporre trattamenti obbligatori sulle merci provenienti da tutti i paesi

europei in cui è accertata la presenza di cimice asiatica, determinando un incremento dei costi a carico delle imprese esportatrici per effettuare i trattamenti (con calore o fumigazioni) seguendo specifici protocolli e ritardi nella consegna delle merci.

Il grande successo di questa specie invasiva in grado di causare danni molto gravi alle colture, si riconduce sempre alle caratteristiche bioecologiche e comportamentali, tali anche da renderne assai difficile la gestione in campo. La capacità di insediamento nelle nuove aree in cui è introdotta è facilitata dall'aver un ampio range di piante ospiti (oltre 300 specie), che include una grande varietà di colture frutticole, ortive ed estensive, così come piante ornamentali e spontanee (LEE *et al.*, 2013, HAYE *et al.*, 2014a, MAISTRELLO *et al.*, 2016, MARTINSON *et al.*, 2016, LESKEY & NIELSEN, 2018). *H. halys* si nutre pungendo e succhiando tessuti vegetali (Fig. 2) causando deformità, discromie, cicatrici, depressioni, macchie e suberificazioni (Fig. 3), che rendono i prodotti non commerciabili; tali punture causano inoltre infezioni secondarie e danni post-raccolta.

Parte del successo di *H. halys* risiede anche nella elevata mobilità di tutti gli stadi: gli adulti volano in media 2 km/giorno, ma possono arrivare a compiere fino a 116 km/giorno (WIMAN *et al.*, 2014, LEE & LESKEY, 2015), mentre gli stadi giovanili possono

¹ <https://www.agriculture.gov.au/import/before/brown-marmorated-stink-bugs>

² <https://www.biosecurity.govt.nz/law-and-policy/requirements/ihs-import-health-standards/vehicle-machinery-and-parts-import-health-standard-tool/>



Fig. 2 – Adulto di *Halyomorpha halys* mentre si nutre su un frutto (Foto Elena Costi, UNIMORE).



Fig. 3 – Danni da *Halyomorpha halys* su pero causati da punture precoci (a sinistra, foto G. Aldrovandi) e punture tardive (a destra, foto G. Vaccari).

percorrere oltre 20 m/giorno spostandosi tra le diverse piante (LEE *et al.*, 2014b).

I parametri biologici di *H. halys* in Europa sono stati indagati per mezzo di indagini “life table” sia in Svizzera (HAYE *et al.*, 2014b), che in Italia (COSTI *et al.*, 2017) utilizzando individui raccolti in autunno, mantenuti alle condizioni ambientali esterne di temperatura, umidità e fotoperiodo. Si registrava giornalmente il numero di individui che via via usciva dallo svernamento e tra quelli sopravvissuti, un gruppo con *sex ratio* 1:1, mantenuto in condizioni ambientali esterne con cibo e acqua *ad libitum*, è stato regolarmente monitorato per registrarne fecondità, tempi di sviluppo

e mortalità. In Svizzera si registra un’unica generazione (ma nel 2017 e 2018 ne sono state osservate 2; Tim Haye, comunicazione personale) ed un numero medio di circa 80 uova/femmina ($R_0 = 5,69$). Per quanto riguarda l’Italia le indagini sono avvenute in Emilia Romagna nell’arco di 4 anni (2015-2018) ed i risultati sul ciclo biologico di *H. halys* possono essere così sintetizzati: il picco di uscite dallo svernamento è tra aprile e metà maggio; si registrano due generazioni complete, parzialmente sovrapposte, con compresenza dei diversi stadi di sviluppo; l’inizio delle ovideposizioni è metà maggio per la generazione svernante e metà luglio per quella estiva; vengono prodotte in media

285 uova/femmina dalla generazione svernante e 215 da quella estiva ($R_0 = 24.04$ e 5.44 rispettivamente per le due generazioni) (COSTI *et al.*, 2017); la durata media della vita è circa un anno per la generazione svernante e 70-80 giorni per quella estiva. Si è osservata una considerevole variabilità tra i diversi anni nelle tempistiche di uscita dallo svernamento, di ovideposizione e tempi di sviluppo e sui valori di fecondità e mortalità da uovo ad adulto, attribuibile alle diverse condizioni climatiche.

È inoltre da rilevare la scarsità e la ridotta efficacia degli antagonisti naturali nativi nelle aree in cui la cimice è stata introdotta (ABRAM *et al.*, 2017). Indagini in campo in Europa hanno dimostrato che la parassitizzazione delle uova di cimice Asiatica variava dal 2,7-38,5% in Svizzera (usando uova di sentinella congelate) all'1-3% in Emilia Romagna (usando uova di sentinella fresche) fino al 12-21% in Piemonte (raccolgendo uova deposte naturalmente). In tutti questi studi la specie predominante di parassitoide oofago è il generalista *Anastatus bifasciatus* (Geoffroy) (Hymenoptera: Eupelmidae) (HAYE *et al.*, 2015b, COSTI *et al.*, 2018, MORAGLIO *et al.*, 2020). Nelle stesse indagini, una quantità variabile di uova è stata persa o ha mostrato sintomi dovuti alla predazione (masticazione o suzione): fino al 31% in Svizzera; 2-5% in Emilia Romagna; 0,4-8,7% in Piemonte. In uno studio di laboratorio la formica arborea *Crematogaster scutellaris* (Olivier) (Hymenoptera: Formicidae), non ha predato le uova ma si è dimostrata molto efficace nel predare tutti gli stadi giovanili, dimostrando tempi di predazione più rapidi sugli stadi di neanide rispetto a quelli di ninfa (CASTRACANI *et al.*, 2017). Altri studi di laboratorio effettuati utilizzando specie native europee di diversi predatori generalisti raccolti in natura hanno dimostrato che le neanidi possono essere predate da alcune specie di Tettigonidae, Reduviidae e Nabidae (BULGARINI *et al.*, 2019).

Da una indagine effettuata tra il 2014 e il 2016 in alcune aziende del territorio modenese e reggiano nei pereti e nelle aree incolte adiacenti (siepi ed aree erbacee) utilizzando tecniche attive per valutare l'abbondanza, la stagionalità e l'impatto di *H. halys* e di altri eterotteri fitofagi, è emerso che già pochi anni dopo la prima scoperta, questa specie invasiva superava largamente in abbondanza tutti gli altri Eterotteri, e che era presente nei frutteti lungo tutta la stagione produttiva causando danni considerevoli (oltre il 50% di frutti deformi nella maggioranza delle aziende campionate) soprattutto nelle aree perimetrali (MAISTRELLO *et al.*, 2017). Questo studio ha dimostrato per la prima volta il grande potenziale dannoso di *H. halys* come nuovo fitofago chiave dei frutteti per l'Europa meridionale e i rilievi effettuati negli anni successivi in questa ed altre aree frutticole del nord Italia hanno confermato ampiamente la gravità dei

danni causati da questo fitofago e le conseguenze della sua invasione nella gestione dei frutteti.

Non esistono insetticidi specifici efficaci contro la cimice Asiatica e i prodotti disponibili non danno risultati soddisfacenti in termini di riduzione dei danni, a causa del limitato effetto abbattente iniziale e della breve attività residuale (LESKEY *et al.* 2012a, LESKEY *et al.*, 2014). Analogamente a quanto accaduto negli Stati Uniti (LESKEY *et al.*, 2012b), anche in Italia nelle aree fortemente colpite da *H. halys* è aumentato di conseguenza l'impiego di insetticidi ad ampio spettro, stravolgendo i precedenti programmi di difesa integrata e determinando, a lungo termine, un impatto negativo sull'economia e sull'ambiente. Ad esempio, secondo i disciplinari di difesa integrata su pero in Emilia Romagna³, nel 2014 contro questo insetto erano autorizzati al massimo 5 trattamenti con neonicotinoidi e organofosfati, mentre nel 2019 sono stati autorizzati fino a 10 trattamenti, includendo anche 2 trattamenti con piretroidi. Alcuni studi hanno evidenziato l'efficacia delle reti multifunzionali (CANDIAN *et al.*, 2018, CARUSO & VERGNANI, 2019) e delle strategie che intensificano i trattamenti nelle aree perimetrali dei frutteti (BLAAUW *et al.*, 2015). Nell'ottica di razionalizzare la gestione della cimice Asiatica verso una maggiore sostenibilità, è necessario ponderare l'utilizzo delle diverse strategie in un contesto che possa valorizzare ed implementare il controllo biologico sia da parte di agenti nativi che, in futuro, anche di quelli esotici.

RINGRAZIAMENTI

Il lavoro è frutto delle ricerche eseguite nell'ambito del Progetto "Strumenti e protocolli innovativi per il monitoraggio ed il controllo sostenibile della cimice aliena *Halyomorpha halys*, nuova minaccia fitosanitaria, e di altri eterotteri dannosi alle colture frutticole del territorio modenese" (SIME 2013.0665) cofinanziato dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Modena, e del Progetto "HALYS" PSR 2014-2020 Op. 16.1.01 - GO PEI-Agri - FA 4B, con il coordinamento del CRPV, cofinanziato dalla Regione Emilia Romagna.

BIBLIOGRAFIA

ABRAM P.K., HOELMER K.A., ACEBES-DORIA A., ANDREWS H., BEERS E.H., BERGH J.C., BESSIN R., BIDDINGER D., BOTCH P., BUFFINGTON M.L., CORNELIUS M.L., COSTI E., DELFOSSE E.S., DIECKHOFF C., DOBSON R., DONAIS Z., GRIESHOP M., HAMILTON G., HAYE T., HEDSTROM C.,

³ <https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/produzioni-agro-alimentari/temi/bio-agro-climambiente/agricoltura-integrata/disciplinari-produzione-integrata-vegetale/Collezione-dpi/2019/disciplinari-2019>

- HERLIHY M.V., HODDLE M.S., HOOKS C.R.R., JENTSCH P., JOSHI N.K., KUJAR T.P., LARA J., LEE J.C., LEGRAND A., LESKEY T.C., LOWENSTEIN D., MAISTRELLO L., MATHEWS C.R., MILNES J.M., MORRISON W.R., NIELSEN A.L., OGBURN E.C., PICKETT C.H., POLEY K., POTE J., RADL J., SHREWSBURY P.M., TALAMAS E., TAVELLA L., WALGENBACH J.F., WATERWORTH R., WEBER D.C., WELTY C., WIMAN N.G., 2017 – *Indigenous arthropod natural enemies of the invasive brown marmorated stink bug in North America and Europe*. - J. Pest Sci., 90: 1009-1020.
- AK K., ULUCA M., AYDIN Ö., GOKTURK T., 2019 – *Important invasive species and its pest status in Turkey: Halyomorpha halys (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae)*. - J. Plant Dis. Prot., 126: 401-408.
- BLAAUW B.R., POLK D., NIELSEN A.L., 2015 – *IPM-CPR for peaches: incorporating behaviorally-based methods to manage Halyomorpha halys and key pests in peach*. - Pest Manag. Sci., 71: 1513-1522.
- BULGARINI G., BADRA Z., MAISTRELLO L., 2019 – *Predatory ability of wild generalist predators against eggs and first instar nymphs of Halyomorpha halys*, In IOBC-WPRS Bull. Presented at the Proceedings of the meeting at Lisbon (Portugal), 20-25 January 2019: “Merging pheromones and other semiochemicals with integrated fruit production: current approaches and applications from research to field implementation in a changing environment”, pp. 106-107.
- CALLOT H.-J., BRUA C., 2013 – *Halyomorpha halys (Stål, 1855), la punaise diabolique, nouvelle espèce pour la faune de France (Heteroptera Pentatomidae)*. - L'Entomologiste, 69: 69-71.
- CANDIAN V., PANSÀ M.G., BRIANO R., PEANO C., TEDESCHI R., TAVELLA L., 2018 – *Exclusion nets: a promising tool to prevent Halyomorpha halys from damaging nectarines and apples in NW Italy*. -Bull. Insectology., 71: 21-30.
- CARUSO S., VERGNANI S., 2019 – *Cimice asiatica: buon controllo con le reti multifunzionali*. - Inf. Agrar., 24-25: 47-50.
- CASTRACANI C., BULGARINI G., GIANNETTI D., SPOTTI F.A., MAISTRELLO L., MORI A., GRASSO D.A., 2017 – *Predatory ability of the ant Crematogaster scutellaris on the brown marmorated stink bug Halyomorpha halys*. - J. Pest Sci., 90: 1181-1190.
- CESARI M., MAISTRELLO L., GANZERLI F., DIOLI P., REBECCHI L., GUIDETTI R., 2015 – *A pest alien invasion in progress: potential pathways of origin of the brown marmorated stink bug Halyomorpha halys populations in Italy*. - J. Pest Sci., 88: 1-7.
- CESARI M., MAISTRELLO L., PIEMONTESE L., BONINI R., DIOLI P., LEE W., PARK C.-G., PARTSINEVELOS G.K., REBECCHI L., GUIDETTI R., 2017 – *Genetic diversity of the brown marmorated stink bug Halyomorpha halys in the invaded territories of Europe and its patterns of diffusion in Italy*. - Biol. Inv., 20: 1073-1092.
- CHARLES J.G., AVILA G.A., HOELMER K.A., HUNT S., GARDNER-GEE R., MACDONALD F., DAVIS V., 2019 – *Experimental assessment of the biosafety of Trissolcus japonicus in New Zealand, prior to the anticipated arrival of the invasive pest Halyomorpha halys*. - BioControl, 64: 367-379.
- CLAEREBOUT S., HAYE T., ÓLAFFSSON E., PANNIER É., BULTOT J., 2018 – *Premières occurrences de Halyomorpha halys (Stål, 1855) pour la Belgique et actualisation de sa répartition en Europe (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae)*. - Bull. Société R. Belge D'Entomologie, 154: 2015-227.
- COSTI E., HAYE T., MAISTRELLO L., 2017 – *Biological parameters of the invasive brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys, in southern Europe*. - J. Pest Sci., 90: 1059-1067.
- COSTI E., HAYE T., MAISTRELLO L., 2018 – *Surveying native egg parasitoids and predators of the invasive Halyomorpha halys in Northern Italy*. - J. Appl. Entomol., 143: 299-307.
- FAÚNDEZ E.I., RIDER D.A., 2017 – *The brown marmorated stink bug Halyomorpha halys (Stål, 1855) (Heteroptera: Pentatomidae) in Chile*. - Arq. Entomol. xicos, 17: 305-307.
- GAPON D.A., 2016 – *First records of the brown marmorated stink bug Halyomorpha halys (Stål, 1855) (Heteroptera, Pentatomidae) in Russia, Abkhazia, and Georgia*. - Entomol. Rev., 96: 1086-1088.
- HANCOCK T.J., LEE D.-H., BERGH J.C., MORRISON W.R., LESKEY T.C., 2019 – *Presence of the invasive brown marmorated stink bug Halyomorpha halys (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae) on home exteriors during the autumn dispersal period: Results generated by citizen scientists*. - Agric. For. Entomol., 21: 99-108.
- HAYE T., WYNIGER D., GARIEPY T., 2014 a – *Recent range expansion of brown marmorated stink bug in Europe*. In Proc. Eighth Int. Conf. Urban Pests. Zurich, Switzerland, pp. 309-314
- HAYE T., ABDALLAH S., GARIEPY T., WYNIGER D., 2014 b – *Phenology, life table analysis and temperature requirements of the invasive brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys, in Europe*. - J. Pest Sci., 87: 407-418.
- HAYE T., GARIEPY T., HOELMER K., ROSSI J.-P., STREITO J.-C., TASSUS X., DESNEUX N., 2015 a – *Range expansion of the invasive brown marmorated stinkbug, Halyomorpha halys: an increasing threat to field, fruit and vegetable crops worldwide*. - J. Pest Sci., 88: 665-673.
- HAYE T., FISCHER S., ZHANG J., GARIEPY T., 2015 b – *Can native egg parasitoids adopt the invasive brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Heteroptera: Pentatomidae), in Europe?* - J. Pest Sci., 88: 693-705.
- HAYE T., WEBER D.C., 2017 – *Special issue on the brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys: an emerging pest of global concern*. - J. Pest Sci., 90: 987-988.
- HOEBEKE E.R., CARTER M.E., 2003 – *Halyomorpha halys (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae): a polyphagous plant pest from Asia newly detected in North America*. - Proc. Entomol. Soc. Wash., 105: 225-237.
- HORWOOD M., MILNES J.M., COOPER W.R., 2019 – *Brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae), detections in Western Sydney, New South Wales, Australia*. - Austral Entomol., 58: 857-865.
- INATURALIST, 2019 – <https://www.inaturalist.org/taxa/81923-Halyomorpha-halys>.
- INKLEY D.B., 2012 – *Characteristics of home invasion by the brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae)*. - J. Entomol. Sci., 47: 125-130.
- LEE D.-H., SHORT B.D., JOSEPH S.V., BERGH J.C., LESKEY T.C., 2013 – *Review of the biology, ecology, and management of Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) in China, Japan, and the Republic of Korea*. - Environ. Entomol., 42: 627-641.
- LEE D.-H., CULLUM J.P., ANDERSON J.L., DAUGHERTY J.L., BECKETT L.M., LESKEY T.C., 2014 a – *Characterization of overwintering sites of the invasive Brown Marmorated Stink Bug in natural landscapes using human surveyors and detector canines* - PLoS ONE, 9: e91575.
- LEE D.-H., NIELSEN A.L., LESKEY T.C., 2014 b – *Dispersal capacity and behavior of nymphal stages of Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) evaluated under*

- laboratory and field conditions*. - J. Insect Behav., 27: 639-651.
- LEE D.-H., LESKEY T.C., 2015 – *Flight behavior of foraging and overwintering brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae)*. - Bull. Entomol. Res., 105: 566-573.
- LESKEY T.C., LEE D.-H., SHORT B.D., WRIGHT S.E., 2012 a – *Impact of insecticides on the invasive Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae): Analysis of insecticide lethality*. - J. Econ. Entomol., 105: 1726-1735.
- LESKEY T.C., SHORT B.D., BUTLER B.R., WRIGHT S.E., 2012 b – *Impact of the Invasive Brown Marmorated Stink Bug, Halyomorpha halys (Stål), in Mid-Atlantic tree fruit orchards in the United States: case studies of commercial management*. - Psyche J. Entomol., 2012.
- LESKEY T.C., SHORT B.D., LEE D.-H., 2014 – *Efficacy of insecticide residues on adult Halyomorpha halys (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae) mortality and injury in apple and peach orchards*. - Pest Manag. Sci., 70: 1097-1104.
- LESKEY T.C., NIELSEN A.L., 2018 – *Impact of the invasive Brown Marmorated Stink Bug in North America and Europe: history, biology, ecology, and management*. - Annu. Rev. Entomol., 63: 599-618.
- MAISTRELLO L., DIOLI P., BARISELLI M., MAZZOLI G.L., GIACALONE-FORINI I., 2016 – *Citizen science and early detection of invasive species: phenology of first occurrences of Halyomorpha halys in Southern Europe*. - Biol. Inv., 18: 3109-3116.
- 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*. - J. Pest Sci., 90: 1231-1244.
- MAISTRELLO L., DIOLI P., DUTTO M., VOLANI S., PASQUALI S., GILIOLI G., 2018 – *Tracking the spread of sneaking aliens by integrating crowdsourcing and spatial modeling: the Italian invasion of Halyomorpha halys*. - BioScience, 68: 979-989.
- MALEK R., TATTONI C., CIOLLI M., CORRADINI S., ANDREIS D., IBRAHIM A., MAZZONI V., ERIKSSON A., ANFORA G., 2018 – *Coupling Traditional Monitoring and Citizen Science to Disentangle the Invasion of Halyomorpha halys* - ISPRS Int. J. Geo-Inf., 7: 171.
- MARTINSON H.M., BERGMANN E.J., VENUGOPAL P.D., RILEY C.B., SHREWSBURY P.M., RAUPP M.J., 2016 – *Invasive stink bug favors naïve plants: Testing the role of plant geographic origin in diverse, managed environments*. - Sci. Rep., 6.
- MILONAS P. G., PARTSINEVELOU G.K., 2014 – *First report of brown marmorated stink bug Halyomorpha halys Stål (Hemiptera: Pentatomidae) in Greece*. - EPPO Bull., 44: 183-186.
- MORAGLIO S.T., TORTORICI F., PANSÀ M.G., CASTELLI G., PONTINI M., SCOVERO S., VISENTIN S., TAVELLA L., 2020 – *A 3-year survey on parasitism of Halyomorpha halys by egg parasitoids in northern Italy*. - J. Pest Sci., 93: 183-194.
- MUSOLIN D.L., KONJEVIĆ A., KARPUN N.N., PROTSSENKO V.YE., AYBA L.YA., SAULICH A.KH., 2018 – *Invasive brown marmorated stink bug Halyomorpha halys (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae) in Russia, Abkhazia, and Serbia: history of invasion, range expansion, early stages of establishment, and first records of damage to local crops*. - Arthropod-Plant Interact., 12: 517-529.
- WIMAN N.G., WALTON V.M., SHEARER P.W., RONDON S.I., LEE J.C., 2014 – *Factors affecting flight capacity of brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae)*. - J. Pest Sci., 88: 37-47.

HALYOMORPHA HALYS, DALLO SVERNAMENTO ALLA COLONIZZAZIONE DELLE COLTURE

LARA BOSCO^a - MARTINA NARDELLI^a - LUCIANA TAVELLA^a

^a Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA), Università degli Studi di Torino, Largo P. Braccini 2, 10095 Grugliasco (TO). E-mail: luciana.tavella@unito.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Cimice asiatica *Halyomorpha halys*: nuove acquisizioni e applicazioni nella difesa". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 22 febbraio 2019.

Halyomorpha halys, from overwintering to crop colonization

The brown marmorated stink bug *Halyomorpha halys* is highly polyphagous and has a strong dispersal capacity, spreading at landscape level. Adults overwinter in sheltered locations, and they start to leave overwintering sites usually from March-early April, with numbers peaking in late spring. A better understanding of *H. halys* preferred host plants in the agro-ecosystem and of its dispersal behaviour in early spring might assist in developing improved and alternative management strategies. Our finding of early attractiveness of pheromone-baited traps at the beginning of the season can help the management of post-overwintering adults, usually scattered and difficult to reach in this period. Moreover, the interaction between pheromones and favourite host plants in early spring could be exploited for a long-lasting retention of bugs after they are initially attracted by the lures alone. Among the sampled plants, black locust, walnut, hazelnut, ash, European spindletree, hybrid plane, wild rose, elder and oak were the first species hosting the adults. The immunomarking-capture technique revealed the movement and spread of *H. halys* in the surveyed agro-ecosystems. In particular, the dispersal from overwintering refuges to wild host plants in uncultivated habitats, before hazelnut and other crop colonization, was found to be very homogenous within each area, irrespective of the distance between marked and sampled zones.

KEY WORDS: host plants, response to pheromone, immunomarking, dispersal, agro-ecosystem.

PERCHÉ STUDIARE LA DISPERSIONE POST SVERNAMENTO?

Lo studio della bioetologia di *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae), a partire dalla fuoriuscita dai siti di svernamento fino alla colonizzazione delle colture, può rivelarsi estremamente utile nell'ottica di una gestione integrata che preveda di contenere gli adulti prima dell'inizio dell'ovideposizione. È infatti nota la difficoltà di contrastare la cimice asiatica dopo che si è insediata nella coltivazione e ha dato il via alla generazione successiva, con un aumento esponenziale della popolazione. In particolare l'entità di infestazione può raggiungere livelli critici e difficilmente gestibili su quelle colture che siano al contempo ospiti di nutrizione e ospiti riproduttivi, come ad esempio il nocciolo, sul quale *H. halys* può compiere tutto il ciclo di sviluppo, causando così gravi danni e ingenti perdite di produzione (Bosco *et al.*, 2018).

In Piemonte, nel triennio 2016-2018, la sopravvivenza degli adulti svernanti è stata in media variabile tra 18% e 34%. Gli adulti abbandonano i rifugi invernali scalarmente da fine febbraio, nelle giornate più calde, sino a inizio giugno. Uno studio effettuato in Emilia-Romagna ha dimostrato che adulti fuoriescono dai siti di svernamento in condizioni di temperature

massime giornaliere superiori a 14°C e di fotoperiodo di 13 ore (Costi *et al.*, 2017). In Piemonte i picchi di fuoriuscita sono di solito in aprile-maggio, in relazione alle annate e alle temperature. Gli adulti sopravvissuti si disperdono poi sul territorio, coprendo anche lunghe distanze di volo (diversi km al giorno), alla ricerca delle prime piante ospiti, su cui innanzi tutto nutrirsi per ripristinare le riserve energetiche spese durante l'inverno, accoppiarsi e, successivamente, cominciare l'attività di ovideposizione. L'intercettazione degli adulti dispersi sul territorio alla ricerca delle piante ospiti può offrire interessanti risvolti applicativi, rispetto al tentativo di contenimento delle popolazioni estive composte da adulti, quelli che hanno svernato e quelli della prima generazione, e stadi giovanili.

Allo scopo di individuare le prime piante ospiti a fine inverno-inizio primavera e di accertare le dinamiche di popolazione di *H. halys*, ossia gli spostamenti dai siti invernali ai primi ospiti, e da questi al nocciolo, sono state condotte da aprile ad agosto 2018 attività di ricerca in quattro aree del Piemonte, in provincia di Alessandria, Asti, Cuneo e Torino. Le aree di studio, con una superficie di 20-50 ha, erano caratterizzate dalla presenza di un corileto a gestione integrata, fortemente danneggiato dalla cimice nelle stagioni precedenti, zone coltivate e zone naturali, boschive e/o

incolte. Comprendevano inoltre almeno una zona con strutture antropiche, ove era stata preventivamente accertata la presenza di siti di svernamento della cimice. La densità di *H. halys* è stata rilevata mediante uso di trappole a feromoni (Fig. 1) e scuotimento della vegetazione, a partire dal mese di aprile. Quest'ultima tecnica è stata utilizzata anche per individuare le piante ospiti precoci, predilette e occasionali, tramite una stima di tipo qualitativo. I movimenti di *H. halys* negli agroecosistemi sono invece stati indagati attraverso la tecnica della immunomarcatura-cattura, utilizzando come marcatori la caseina e l'albumina.

RISPOSTA AI FEROMONI DI SINTESI DOPO LO SVERNAMENTO

Le catture con le trappole effettuate durante l'intero periodo di campionamento (da inizio aprile a metà

agosto) hanno permesso di accertare l'andamento della popolazione nelle quattro aree di indagine (Fig. 2). Non sono emerse differenze statisticamente significative (ANOVA, $P > 0,05$) né tra le quattro aree né tra le zone di campionamento all'interno di ciascuna area. A inizio stagione è stato osservato un aumento di individui in corrispondenza dei periodi con maggiori temperature (18°C) e poche precipitazioni. Fra gli adulti catturati nel corso della stagione, la percentuale di femmine è stata variabile da 34 a 62%, mentre i giovani sono stati rilevati a partire da metà giugno (Fig. 2).

In tutte le aree analizzate, gli adulti hanno mostrato di rispondere ai feromoni di aggregazione disponibili in commercio (nello specifico Pherocon® Sticky Trap, Trécé) già a partire da inizio-metà aprile. Questa risposta precoce ai feromoni, ampiamente dibattuta e non sempre riscontrata in altre aree di invasione secondaria (BERGH *et al.*, 2017), nelle nostre aree è certamente influenzata dalle recenti formulazioni dei



Fig. 1 – Trappola a feromoni utilizzata per il monitoraggio di *Halyomorpha halys*.

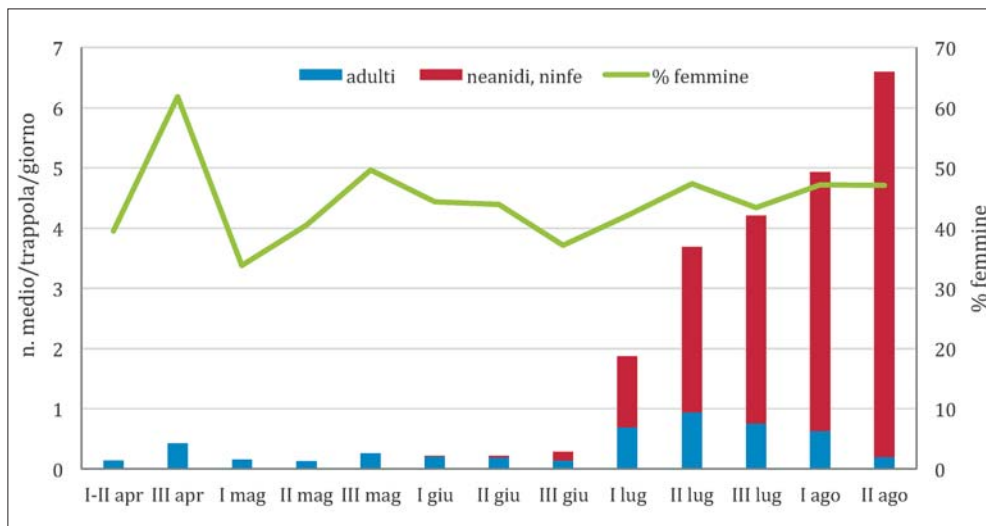


Fig. 2 – Andamento delle catture giornaliere di *Halyomorpha halys* effettuate con le trappole a feromoni nelle aree di indagine nel 2018.

feromoni di sintesi. Infatti inizialmente i formulati erano costituiti unicamente dal feromone di aggregazione di *Plautia stali* Scott [methyl (2E,4E,6Z)-2,4,6-decatrienoate (EEZ-MDT)], e solo successivamente è stato abbinato a quello emesso dai maschi di *H. halys* [(3S,6S,7R,10S)-10,11-epoxy-1-bisabolen-3-ol e (3R,6S,7R,10S)-10,11-epoxy-1-bisabolen-3-ol (SSRS e RSRS)]. Dalla combinazione di questi componenti si ottiene un'azione sinergica maggiormente efficace (WEBER *et al.*, 2017), a cui le popolazioni di *H. halys* insediatesi sul territorio piemontese avevano già mostrato di rispondere efficientemente nel corso dell'estate (MORRISON *et al.*, 2017). Proprio l'attrattività dei feromoni all'inizio della stagione vegetativa può presentare utili ricadute applicative nella gestione degli adulti dopo lo svernamento, difficili da raggiungere in questa prima fase di dispersione.

COLONIZZAZIONE DELLE PRIME PIANTE OSPITI

Durante i sopralluoghi settimanali condotti a partire dal mese di aprile, *H. halys* è stata campionata mediante scuotimento su un telo (0,7×0,7 m) della vegetazione delle piante erbacee, arbustive e arboree presenti nelle aree di indagine. Ad aprile i primi adulti sono stati rinvenuti su robinia, noce, nocciolo, evonimo, frassino, platano, luppolina, sambuco e quercia. A maggio, adulti sono stati raccolti anche su edera, sanguinello, pioppo, salice, rovo, fico e gelso, oltre che sui fruttiferi come pesco, melo e ciliegio. In complesso gli ospiti precoci più attrattivi sono stati nocciolo, frassino, pesco, gelso e melo. Tuttavia il maggior numero di cimici è stato catturato sulle piante situate in prossimità

(entro 5 m) delle trappole a feromoni, in particolare su falso indaco (*Amorpha fruticosa* L.), nocciolo, noce, robinia e sanguinello e, in misura minore, su luppolina, mais, rovo e sambuco. Si conferma così il potenziale attrattivo dei feromoni in primavera, evidenziando però anche l'importanza dell'interazione di questi con alcuni ospiti vegetali, che possano assicurare la ritenzione degli insetti per un certo periodo di tempo in seguito allo stimolo attrattivo iniziale.

MOVIMENTI NELL'AGROECOSISTEMA RILEVATI CON LA TECNICA DELL'IMMUNOMARCATURA-CATTURA

La tecnica dell'immunomarcatura-cattura è ampiamente utilizzata nello studio dei movimenti degli insetti e, più recentemente, è stata applicata anche per *H. halys* (BLAAUW *et al.*, 2016; 2017). L'applicazione di questa tecnica nelle quattro aree di studio ha consentito di ricavare informazioni aggiuntive sui movimenti degli adulti in primavera. In particolare sono stati trattati, con soluzioni contenenti proteine, i probabili siti di svernamento (con caseina) e le prime piante ospiti (con albumina) della cimice, così da permettere la marcatura diretta degli insetti già presenti, o indiretta di quelli giunti secondariamente sulle superfici trattate (Fig. 3). Gli adulti sono stati poi catturati mediante trappole a feromoni adesive o direttamente sulla vegetazione tramite scuotimento, posti singolarmente in provette e trasferiti in laboratorio, dove sono stati successivamente analizzati attraverso saggio enzimatico immuno-assorbente (ELISA), per la ricerca delle proteine traccianti (JONES *et al.*, 2006).

È stato così possibile creare in ciascuna area di



Fig. 3 – Trattamento con soluzione a base di caseina per l'immunomarcatura di una struttura antropica, sede di svernamento di *Halyomorpha halys*.

indagine una mappa di distribuzione degli adulti dopo lo svernamento, ed evidenziarne la grande mobilità e l'attiva ricerca di piante ospiti idonee. La distribuzione degli individui provenienti dai siti di svernamento, o dalle prime piante ospiti disponibili, è risultata poco influenzata dal gradiente di distanza, quindi piuttosto omogenea all'interno delle aree indagate. In particolare è stato confermato lo spostamento dai siti di svernamento e dalle zone boschive a quelle coltivate, con il progredire della stagione. A titolo esemplificativo, in Fig. 4 è riportata l'area indagata in provincia di Alessandria, con una superficie di circa 50 ha. Gli individui catturati

e sottoposti ad ELISA hanno mostrato di aver compiuto, già da fine aprile, voli da zone boschive (E, F) e strutture antropiche (H, G) verso zone con presenza di orticole (D) o cerealicole (B, C) nei pressi di fasce incolte, iniziando a dirigersi verso il corileto (A) a partire da inizio maggio (Fig. 4).

CONCLUSIONI E POTENZIALI APPLICAZIONI

In conclusione, i risultati ottenuti permettono di aggiungere ulteriori informazioni sul comportamento

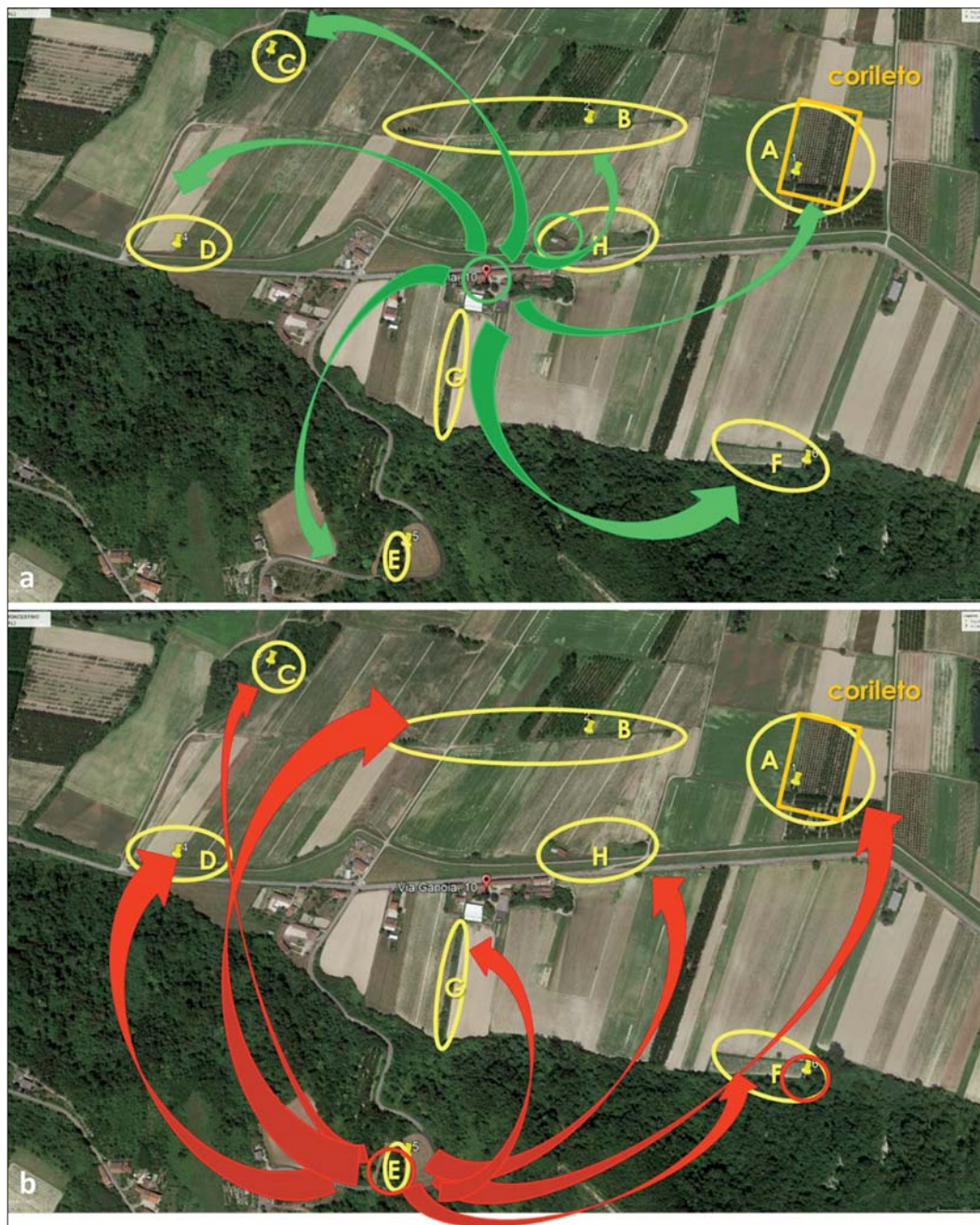


Fig. 4 – Schema dei movimenti di *Halyomorpha halys* rilevati con la tecnica dell'immunomarcatura-cattura nell'area indagata in provincia di Alessandria: a) distribuzione degli adulti dalle strutture antropiche di svernamento trattate con caseina (cerchi verdi, ○), alle zone campionate mediante scuotimento della vegetazione (lettere A-H) e trappole a feromoni (segnaposto 1-6); b) distribuzione degli adulti dalle zone boschive di prima colonizzazione trattate con albumina (cerchi rossi, ●), alle zone campionate mediante scuotimento della vegetazione (lettere A-H) e trappole a feromoni (segnaposto 1-6).

e sui movimenti di *H. halys* nell'agroecosistema. Si può ipotizzare che a inizio primavera, nel periodo che segue immediatamente l'uscita dallo svernamento, la cimice compia lunghe distanze di volo alla ricerca delle limitate risorse offerte dalle piante ospiti disponibili (LESKEY e NIELSEN, 2018). È proprio in questo periodo che pare vengano coperte le distanze di volo maggiori, alla ricerca dei primi ospiti su cui nutrirsi (LEE e LESKEY, 2015). In particolare nelle nostre aree vengono inizialmente utilizzati per la nutrizione ospiti spontanei e/o essenze boschive, dove peraltro la specie potrebbe anche svernare, riparata in anfratti naturali come cortecce di alberi, soprattutto querce e robinia (RICE *et al.*, 2014). Con il progredire della stagione, gli adulti si muovono dagli ospiti selvatici a quelli coltivati, seguendo le fruttificazioni e invadendo campi coltivati e frutteti, come nel caso del corileto.

I risultati inoltre suggeriscono l'impiego delle specie vegetali, rivelatesi primi ospiti particolarmente favoriti, come pianta trappola, per una gestione sostenibile del corileto. Ciò porta a considerare, tra le possibili strategie di lotta, anche l'individuazione di "corridoi ecologici", cioè zone di passaggio dai siti di svernamento alle piante ospiti, e l'uso precoce dei feromoni di aggregazione per aumentare l'attrattività dei primi ospiti vegetali.

RINGRAZIAMENTI

Le ricerche sono state svolte con il contributo della Fondazione Cassa di Risparmio di Cuneo (progetto HALY-END) e di Ferrero Hazelnut Company, Gruppo Ferrero.

BIBLIOGRAFIA

- BERGH J.V.T., MORRISON III W., LESKEY T., 2017 – *Characterizing spring emergence of adult Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) using overwintering shelters and pheromone traps.* - Entomol. Exp. Appl., 162: 336-345.
- BLAAUW B.R., JONES V.P., NIELSEN A.L., 2016 – *Utilizing immunomarking techniques to track Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) movement and distribution within a peach orchard.* - PeerJ, 4: e1997.
- BLAAUW B.R., MORRISON III W.R., MATHEWS C., LESKEY T.C., NIELSEN A.L., 2017 – *Measuring host plant selection and retention of Halyomorpha halys by a trap crop.* - Entomol. Exp. Appl., 163: 197-208.
- BOSCO L., MORAGLIO S.T., TAVELLA L., 2018 – *Halyomorpha halys, a serious threat for hazelnut in newly invaded areas.* - J. Pest Sci., 91: 661-670.
- COSTI E., HAYE T., MAISTRELLO L., 2017 – *Biological parameters of the invasive brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys, in southern Europe.* - J. Pest Sci., 90: 1059-1067.
- JONES V.P., HAGLER J.R., BRUNNER J.F., BAKER C.C., WILBURN T.D., 2006 – *An inexpensive immunomarking technique for studying movement patterns of naturally occurring insect populations.* - Environ. Entomol., 35: 827-836.
- LEE D.H., LESKEY T.C., 2015 – *Flight behavior of foraging and overwintering brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae).* - Bull. Entomol. Res., 105: 566-573.
- LESKEY T.C., NIELSEN A.L., 2018 – *Impact of the invasive brown marmorated stink bug in North America and Europe: history, biology, ecology, and management.* - Annu. Rev. Entomol., 63: 599-618.
- MORRISON W.R. III, MILONAS P., KAPANTAIKAKI D.E., CESARI M., DI BELLA E., GUIDETTI R., HAYE T., MAISTRELLO L., MORAGLIO S.T., PIEMONTESE L., POZZEBON A., RUOCCO G., SHORT B.D., TAVELLA L., VÉTEK G., LESKEY T.C., 2017 – *Attraction of Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) haplotypes in North America and Europe to baited traps.* - Sci. Rep., 7: 16941.
- RICE K.B., BERGH C.J., BERGMANN E.J., BIDDINGER D.J., DIECKHOFF C., DIVEY G., FRASER H., GARIEPY T., HAMILTON G., HAYE T., HERBERT A., HOELMER K., HOOKS C.R., JONES A., KRAWCZYK G., KUJAR T., MARTINSON H., MITCHELL W., NIELSEN A.L., PFEIFFER D.G., RAUPP M.J., RODRIGUEZ-SAONA C., SHEARER P., SHREWSBURY P., 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).* - J. Integr. Pest Manag., 5(3): A1-A13.
- WEBER D.C., MORRISON III W.R., KHRIMIAN A., RICE K.B., LESKEY T.C., RODRIGUEZ-SAONA C., NIELSEN A.L., BLAAUW B.R., 2017 – *Chemical ecology of Halyomorpha halys: discoveries and applications.* - J. Pest Sci., 90: 989-1008.

112 - Pagina bianca

ANDAMENTO DELLE POPOLAZIONI E DANNOSITÀ DI *HALYOMORPHA HALYS* SULLE COLTURE AGRARIE

DAVIDE SCACCINI^a - LOGAN MOORE^{a,b} - PAOLA TIRELLO^a - DIEGO FORNASIERO^a
MASSIMO CECCHETTO^a - CARLO DUSO^a - ALBERTO POZZEBON^a

^a Università di Padova, Dipartimento Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente, viale dell'Università 16, 35020, Legnaro (Padova), Italia; e-mail: alberto.pozzebon@unipd.it
^b University of Georgia, Department of Crop and Soil Sciences, 120 Carlton Street, Athens, GA 30602, USA.
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Cimice asiatica *Halyomorpha halys*: nuove acquisizioni e applicazioni nella difesa". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 22 febbraio 2019.

Seasonal dynamics and damage of Halyomorpha halys on crops

Brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae), is an alien invasive species native from East Asia and pestiferous in North America, South America, and Europe. This polyphagous pest causes damage to many crops, in particular on fruit trees. It is a highly mobile species, especially adult stages that may utilize multiple host plants throughout the seasons showing a pronounced host-switching behavior in search of the most nutritious fruits. This paper briefly overviews the information available on the seasonal dynamics and damage of *H. halys* on crops, with a particular focus on crops of importance for Italy, where this pest is causing severe losses. A consistent hedge effect characterizes the spatio-temporal distribution of *H. halys* both the insect and the damage distributions within the field. The presence of *H. halys* is also associated with a preference for ripening fruits that influences the seasonal dynamics of *H. halys* populations. The damage potential of this species differs among crops and phenological stages of the host plant, resulting in fruit deformation, necrosis, discoloration, but also fruit drop and, in general, yield losses. Not least, the relationship between *H. halys* and the presence of some pathogens represents one of the major issues related to *H. halys* impact on crops.

KEY WORDS: *Halyomorpha halys*, damage, seasonal dynamics, host plant range.

INTRODUZIONE

La cimice asiatica, *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae), è una specie invasiva nativa dell'Asia orientale, introdotta in USA, Europa e Sud America (HOEBEKE e CARTER, 2003; WERMELINGER *et al.*, 2008; FAÚNDEZ e RIDER, 2017) e intercettata nei porti navali in Oceania (DUTHIE, 2012; VANDERVOET *et al.*, 2019). Le prime segnalazioni di cimice asiatica in Europa risalgono al 2004; in Italia le prime infestazioni sono state osservate in Emilia Romagna, successivamente in Piemonte, Friuli-Venezia Giulia, Veneto, infine nelle regioni centro-meridionali (HAYE *et al.*, 2014a; BARISELLI *et al.*, 2016; MAISTRELLO *et al.*, 2017; CIANFERONI *et al.*, 2018). Questo insetto è estremamente polifago dato che sono note oltre 170 piante ospiti tra cui diverse colture frutticole, orticole, estensive e ornamentali (HAYE *et al.*, 2014b; BERGMANN *et al.*, 2016; LESKEY e NIELSEN, 2018). I danni alle colture sono associati soprattutto all'attività trofica che può avvenire a spese di diversi organi vegetali (LESKEY e NIELSEN, 2018). Le informazioni sull'impatto di *H. halys* sulle principali colture risultano limitate o difficilmente applicabili al contesto

agrario italiano (LEE *et al.*, 2013; MAISTRELLO *et al.*, 2017; TEULON e XU, 2018). La valutazione della dannosità di *H. halys* necessita di approfondimenti sull'andamento delle popolazioni in relazione ai diversi stadi fenologici della pianta, ma anche sugli effetti che le punture di alimentazione determinano ai diversi organi vegetali potenzialmente interessati dall'attività dell'insetto, con particolare riferimento alle possibili ripercussioni sulla produzione. La piena comprensione di questi aspetti è necessaria alla valutazione dell'impatto di *H. halys* sulle diverse colture, aspetto chiave per la corretta pianificazione delle strategie di gestione.

ANDAMENTO DELLE POPOLAZIONI DI *HALYOMORPHA HALYS* NEL CONTESTO DELLE COLTURE AGRARIE

Halyomorpha halys sverna allo stadio di adulto in siti artificiali (edifici e altre strutture rurali) o naturali, in particolare entro fessure della corteccia al riparo dall'umidità (LEE *et al.*, 2014; HANCOCK *et al.*, 2019). Alla fine dell'inverno e nel corso della primavera, gli adulti fuoriescono scalarmente dai siti di svernamento

e colonizzano le piante su cui ha inizio l'attività trofica (HAYE *et al.*, 2014a; BERGH *et al.*, 2017; SKILLMAN *et al.*, 2018). *Halyomorpha halys* è una specie contraddistinta da una elevata capacità di dispersione e, nel corso della stagione vegetativa, è in grado di sfruttare diverse piante ospiti spontanee e coltivate (e.g. BERGMANN *et al.*, 2016; AIGNER *et al.*, 2017; MAISTRELLO *et al.*, 2016; 2017). Studi di laboratorio hanno evidenziato come un adulto sia in grado di volare in media per 5 km al giorno, con picchi che arrivano a 117 km (LEE e LESKEY, 2015). Gli stadi giovanili presentano anch'essi una spiccata mobilità riuscendo a spostarsi per centinaia di metri nell'arco di una giornata (LEE *et al.*, 2014). Gli individui che si sviluppano in estate hanno una maggiore capacità di dispersione rispetto agli individui che hanno svernato (WIMAN *et al.*, 2015) e l'attività aumenta con la temperatura ambientale, in particolare a partire da valori minimi di 15°C (LEE e LESKEY, 2015). Nel corso della stagione, l'andamento delle popolazioni di *H. halys* sulle diverse piante ospiti è influenzato dalla disponibilità di alimenti, in particolare dalla presenza di frutti soprattutto in fase di maturazione (NIELSEN e HAMILTON, 2009; MARTINSON *et al.*, 2015; 2016; BLAAUW *et al.*, 2019). Su mais e frumento, le infestazioni si verificano durante la fase di maturazione lattea delle cariossidi, mentre su soia l'infestazione inizia con la fase di formazione del baccello e raggiunge i livelli più elevati con la fase di formazione del seme (NIELSEN *et al.*, 2011; RICE *et al.*, 2014; VENUGOPAL *et al.*, 2015b).

Spesso, le popolazioni che colonizzano una coltura si sono sviluppate in altri ambienti da cui provengono in modo improvviso e imprevedibile dando origine a vere e proprie invasioni. Per questo, la presenza della cimice asiatica è influenzata dal contesto paesaggistico; in particolare, livelli elevati d'infestazione sono stati associati alla presenza di ambienti seminaturali come boschetti, siepi o aggregati di piante ornamentali in prossimità delle colture. In questi ambienti le popolazioni di *H. halys* possono svernare, alimentarsi e riprodursi nelle prime fasi della stagione per poi spostarsi sulle colture recettive (RICE *et al.*, 2014; AIGNER *et al.*, 2017). La migrazione delle popolazioni di *H. halys* può interessare anche colture contigue e caratterizzate da epoche di maturazione ravvicinate (VENUGOPAL *et al.*, 2015a). La distribuzione della popolazione di *H. halys* all'interno degli appezzamenti è generalmente caratterizzata da uno spiccato "effetto bordo" riscontrabile anche nella distribuzione dei danni su colture frutticole e seminativi (e.g. VENUGOPAL *et al.*, 2014; 2015a,b; BASNET *et al.*, 2015; BLAAUW *et al.*, 2016; AIGNER *et al.*, 2017). Per questi motivi si è pensato di contrastare l'aggressività del fitofago mediante l'esecuzione di trattamenti insetticidi indirizzati ai bordi degli appezzamenti (BLAAUW *et al.*, 2015).

DANNI CAUSATI DA *HALYOMORPHA HALYS* ALLE COLTURE AGRARIE

I danni associati alle infestazioni di cimice asiatica sono dovuti in primo luogo all'attività alimentare dell'insetto. *Halyomorpha halys* si alimenta a carico di organi diversi della pianta e, pur prediligendo i frutti, ha una forte propensione per la dieta mista; l'epoca di maturazione dei frutti resta tuttavia un buon indicatore della presenza di questo fitofago (MARTINSON *et al.*, 2015; ACEBES-DORIA *et al.*, 2016a). Durante l'alimentazione, *H. halys* come altri Pentatomidi inietta nei tessuti vegetali enzimi digestivi prodotti dalle ghiandole salivari (HORI, 2000; PEIFFER e FELTON, 2014). I frutti colpiti possono manifestare abscissione anticipata o, se permangono sulla pianta, necrosi, suberificazioni, aree depresse, deformazioni, scolorimenti, presenza di tessuto spugnoso e calo di peso. La tipologia di danno e la sua gravità variano a seconda della specie coltivata e della fase fenologica in cui avviene l'attacco (e.g. LEE *et al.*, 2013; HEDSTROM *et al.*, 2014; LEE, 2015; ACEBES-DORIA *et al.*, 2016b; BARISELLI *et al.*, 2016; RANCATI *et al.*, 2017; AGHAEE *et al.*, 2018; BOSCO *et al.*, 2018; LESKEY e NIELSEN, 2018; MOORE *et al.*, 2019; SCACCINI, 2019; Fig. 1-3). Sebbene sui fruttiferi i picchi dell'infestazione si concentrino nel periodo di maturazione dei frutti, la presenza del fitofago può essere osservata a basse densità anche in altre fasi fenologiche della pianta con potenziali ripercussioni sulla produzione (NIELSEN e HAMILTON 2009). In generale, le infestazioni precoci di cimice asiatica a carico dei fruttiferi possono causare cascola o deformazioni dei frutti, mentre le infestazioni tardive sono associate a suberificazioni e necrosi sui frutti. Su vite, i danni diretti sono causati da livelli d'infestazione difficilmente osservabili nei vigneti (SMITH *et al.*, 2014; SCACCINI, 2019). Su nocciolo, i danni si manifestano con avvizzimenti e imbrunimenti del seme (BOSCO *et al.*, 2018). Su soia, si osservano anomalie nella maturazione delle piante e la riduzione del contenuto di carboidrati e grassi, ma anche una maggiore incidenza di avvizzimenti e necrosi dei semi (OWENS *et al.*, 2013; BAE *et al.*, 2014; RICE *et al.*, 2014). Su mais, riso e grano si osservano un aumento di cariossidi avvizzite, la riduzione del contenuto in amido e del peso delle cariossidi (RICE *et al.*, 2014; CICEOI *et al.*, 2017; LUPI *et al.*, 2017; RANCATI *et al.*, 2017; AGHAEE *et al.*, 2018).

Oltre ai danni diretti, vi è la possibilità che infestazioni di *H. halys* favoriscano lo sviluppo di infezioni batteriche o fungine sui frutti e la trasmissione di fitoplasmi (LESKEY *et al.*, 2012; KAMMINGA *et al.*, 2014; RICE *et al.*, 2014; DOBSON *et al.*, 2016; PALTRINIERI *et al.*, 2016; BOSCO *et al.*, 2018; MOORE *et al.*, 2019; SCACCINI, 2019; Fig. 3b). Infine, su vite da vino, alte infestazioni di *H. halys* – adulti in particolare – sui grappoli possono

Fig. 1 – Danni su nettarine causati da *Halyomorpha halys* in seguito a una forte infestazione (Veneto, estate 2019).



Fig. 2 – Danni esterni (A) e interni (B) su kiwi riscontrabili in caso di elevate infestazioni di *Halyomorpha halys* (Veneto, autunno 2017).

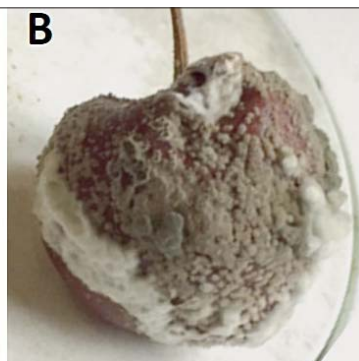


Fig. 3 – Danni di *Halyomorpha halys* su ciliegie: (A) danno esterno; (B) sintomi di *Monillinia* spp. su ciliegie precedentemente infestate (Veneto, estate 2017).

portare a uno scadimento qualitativo del prodotto finito, dovuto alla contaminazione di molecole liberate dalla cimice nelle fasi di pressatura (MOHEKAR *et al.*, 2017a,b; SCACCINI *et al.*, 2019).

CONCLUSIONI

L'elevata mobilità, la polifagia, l'assenza di efficaci fattori di controllo delle popolazioni associati a una

rilevante dannosità fanno della cimice asiatica un fitofago invasivo di primo piano a livello mondiale. Le difficoltà nel prevedere l'andamento delle popolazioni di *H. halys*, che può variare a seconda degli ambienti e delle stagioni, rendono difficoltoso il controllo di questo fitofago. I danni causati da *H. halys* a carico delle colture possono essere raggruppati in danni diretti, legati all'attività alimentare, all'iniezione di saliva e alla conseguente risposta della pianta, e danni indiretti, che comprendono le infezioni batteriche,

fungine e, non ultime, quelle causate da fitoplasmi; a queste si aggiunge la potenziale alterazione delle qualità organolettiche dei prodotti, come nel caso del vino. Un altro aspetto da considerare è la diversa suscettibilità delle specie coltivate o delle loro varietà agli attacchi; su vite, i danni alla produzione sono da ricondurre a elevati livelli di infestazione contrariamente a quanto avviene su altre colture dove la dannosità si esprime anche a basse densità di popolazione.

BIBLIOGRAFIA

- ACEBES-DORIA A.L., LESKEY T.C., BERGH J.C., 2016a – *Host plant effects on Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) nymphal development and survivorship*. - Environ. Entomol., 45: 663-670.
- ACEBES-DORIA A.L., LESKEY T.C., BERGH J.C., 2016b – *Injury to apples and peaches at harvest from feeding by Halyomorpha halys (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae) nymphs early and late in the season*. - Crop Prot., 89: 58-65.
- AGHAEI M.-A., LEE RICE S., MILNES J.M., GODING K.M., GODFREY L.D., 2018. – *Is Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) a threat to California rice?* - Crop Prot., 111: 1-5.
- AIGNER B.L., KUJAR T.P., HERBERT D.A., BREWSTER C.C., HOGUE J.W., AIGNER J.D., 2017 – *Brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) infestations in tree borders and subsequent patterns of abundance in soybean fields*. - J. Econ. Entomol., 110(2): 487-490.
- BAE S.D., KIM H.J., MAINALI B.P., 2014 – *Changes in nutritional composition of soybean seed caused by feeding of pentatomid (Hemiptera: Pentatomidae) and alydid bugs (Hemiptera: Alydidae)*. - J. Econ. Entomol., 107(3): 1055-1060.
- BARISELLI M., BUGIANI R., MAISTRELLO L., 2016 – *Distribution and damage caused by Halyomorpha halys in Italy*. - Bulletin OEPP/EPPO Bulletin, 46: 332-334.
- BASNET S., KUJAR T.P., LAUB C.A., PFEIFFER D.G., 2015 – *Seasonality and distribution pattern of brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) in Virginia vineyards*. - J. Econ. Entomol., 108(4): 1902-1909.
- BERGH J.C., MORRISON III W.R., JOSEPH S.V., LESKEY T.C., 2017 – *Characterizing spring emergence of adult Halyomorpha halys using experimental overwintering shelters and commercial pheromone traps*. - Entomol. Exp. Appl., 162(3): 336-345.
- BERGMANN E.J., VENUGOPAL P.D., MARTINSON H.M., RAUPP M.J., SHREWSBURY P.M., 2016 – *Host plant use by the invasive Halyomorpha halys (Stål) on woody ornamental trees and shrubs*. - PLoS One, 11(2): e0149975. doi:10.1371/journal.pone.0149975.
- BLAAUW B.R., POLK D., NIELSEN A.L., 2015 – *IPM-CPR for peaches: incorporating behaviorally-based methods to manage Halyomorpha halys and key pests in peach*. - Pest Manag. Sci., 71: 1513-1522.
- BLAAUW B.R., JONES V.P., NIELSEN A.L., 2016 – *Utilizing immunomarking techniques to track Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) movement and distribution within a peach orchard*. - PeerJ, 4: e1997. doi:10.7717/peerj.1997.
- BLAAUW B.R., HAMILTON G., RODRIGUEZ-SAONA C., NIELSEN A.L., 2019 – *Plant stimuli and their impact on brown marmorated stink bug dispersal and host selection*. - Front. Ecol. Evol., 7: 414. doi:10.3389/fevo.2019.00414.
- BOSCO L., MORAGLIO S.T., TAVELLA L., 2018 – *Halyomorpha halys, a serious threat for hazelnut in newly invaded areas*. - J. Pest Sci., 91(2): 661-670.
- CIANFERONI F., GRAZIANI F., DIOLI P., CECCOLINI F., 2018 – *Review of the occurrence of Halyomorpha halys (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae) in Italy, with an update of its European and World distribution*. - Biologia, 73: 599-607.
- CICEOI R., DUMBRIVA M., JERCA I.O., POMOHACI C.M., DOBRIN I., 2017 – *Assessment of the damages on maize crop by the invasive stink bugs Halyomorpha halys (Stål, 1855) and Nezara viridula (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Pentatomidae)*. - Acta Zool. Bulgar., Suppl. 9: 211-217.
- DOBSON R.C., ROGERS M., MOORE J.L.C., BESSIN R.T., 2016 – *Exclusion of the brown marmorated stink bug from organically grown peppers using barrier screens*. - HortTechnology, 26: 191-198.
- DUTHIE C., 2012 – *Risk analysis of Halyomorpha halys (brown marmorated stink bug) on all pathways*. Ministry for Primary Industries Technical Advice, 51 pp.
- FAÚNDEZ E.I., RIDER D.A., 2017 – *The brown marmorated stink bug Halyomorpha halys (Stål, 1855) (Heteroptera: Pentatomidae) in Chile*. - Arquivos Entomológicos, 17: 305-307.
- HANCOCK T.J., LEE D.-H., BERGH J.C., MORRISON W.R., LESKEY T.C., 2019 – *Presence of the invasive brown marmorated stink bug Halyomorpha halys (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae) on home exteriors during the autumn dispersal period: results generated by citizen scientists*. - Agr. For. Entomol., 21: 99-108.
- HAYE T., ABDALLAH S., GARIEPY T., WYNIGER D., 2014a – *Phenology, life table analysis and temperature requirements of the invasive brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys, in Europe*. - J. Pest Sci., 87(3): 407-418.
- HAYE T., WYNIGER D., GARIEPY T., 2014b – *Recent range expansion of brown marmorated stink bug in Europe*. In: Proceedings of the eighth international conference on Urban Pests, Müller G., Pospischil R. & Robinson W.H. Ed., Zurich, July 20-23, 2014: 309-314.
- HEDSTROM C.S., SHEARER P.W., MILLER J.C., WALTON V.M., 2014 – *The effects of kernel feeding on Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) on commercial hazelnuts*. - J. Econ. Entomol., 107(5): 1858-1865.
- HOEBEKE E.R., CARTER M.E., 2003 – *Halyomorpha halys (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae): a polyphagous plant pest from Asia newly detected in North America*. - Proceedings of the Entomological Society of Washington, 105(1): 225-237.
- HORI K., 2000 – *Possible causes of disease symptoms resulting from the feeding of phytophagous Heteroptera*. In: Heteroptera of economic importance, Schaefer C.W. & Panizzi A.R., Ed., CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 11-35.
- KAMMINGA K., HERBERT D.A., TOEWS M.D., MALONE S., KUJAR T., 2014 – *Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) feeding injury on cotton bolls*. - Journal of Cotton Science, 18: 68-74.
- 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., 50: 277-290.
- LEE D.-H., LESKEY T.C., 2015 – *Flight behavior of foraging and overwintering brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae)*. - B. Entomol. Res., 105: 566-573.

- LEE D.-H., SHORT B.D., JOSEPH S.V., BERGH J.C., LESKEY T.C., 2013 – *Review of the biology, ecology, and management of Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) in China, Japan, and the Republic of Korea*. - Environ. Entomol., 42: 627-641.
- LEE D.-H., NIELSEN A.L., LESKEY T.C., 2014 – *Dispersal capacity and behavior of nymphal stages of Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) evaluated under laboratory and field conditions*. - J. Insect. Behav., 27: 639-651.
- LESKEY T.C., NIELSEN A.L., 2018 – *Impact of the invasive brown marmorated stink bug in North America and Europe: history, biology, ecology, and management*. - Annu. Rev. Entomol., 63: 599-618.
- LESKEY T.C., HAMILTON G.C., NIELSEN A.L., POLK D.F., RODRIGUEZ-SAONA C., BERGH J.C., HERBERT D.A., KUCHAR T.P., PFEIFFER D., DIVELY G.P., HOOKS C.R.R., RAUPP M.J., SHREWSBURY P.M., KRAWCZYK G., SHEARER P.W., WHALEN J., KOPLINKA-LOEHR C., MYERS E., INKLEY D., HOELMER K.A., LEE D.-H., WRIGHT S.E., 2012 – *Pest status of the brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys in the USA*. - Outlooks on Pest Management, 23(5): 218-226.
- LUPI D., DIOLI P., LIMONTA L., 2017 – *First evidence of Halyomorpha halys (Stål) (Hemiptera Heteroptera, Pentatomidae) feeding on rice (Oryza sativa L.)*. - Journal of Entomological and Acarological Research, 49(6679): 67-71.
- MAISTRELLO L., COSTI E., CARUSO S., VACCARI G., BORTOLOTTI P., NANNINI R., CASOLI L., MONTERMINI A., BARISELLI M., GUIDETTI R., 2016 – *Halyomorpha halys in Italy: first results of field monitoring in fruit orchards*. - IOBC-WPRS Bulletin, 112: 1-5.
- MAISTRELLO L., VACCARI G., CARUSO S., COSTI E., BORTOLINI S., MACAVEI L., FOCA G., ULRICI A., BORTOLOTTI P.P., NANNINI R., CASOLI R., FORNACIARI M., MAZZOLI G.L., DIOLI P., 2017 – *Monitoring of the invasive Halyomorpha halys, a new key pest of fruit orchards in northern Italy*. - J. Pest Sci., 90(4): 1231-1244.
- MARTINSON H.M., VENUGOPAL P.D., BERGMANN E.J., SHREWSBURY P.M., RAUPP M.J., 2015 – *Fruit availability influences the seasonal abundance of invasive stink bugs in ornamental tree nurseries*. - J. Pest Sci., 88(3): 461-468.
- MARTINSON H.M., BERGMANN E.J., VENUGOPAL P.D., RILEY C.B., SHREWSBURY P.M., RAUPP M.J., 2016 – *Invasive stink bug favors naïve plants: testing the role of plant geographic origin in diverse, managed environments*. - Sci. Rep., 6: 32646. doi:10.1038/srep32646.
- MOHEKAR P., LAPIS T.J., WIMAN N.G., LIM J., TOMASINO E., 2017a – *Brown marmorated stink bug taint in Pinot noir: detection and consumer rejection thresholds of trans-2-Decenal*. - Am. J. Enol. Viticult., 68: 120-126.
- MOHEKAR P., OSBORNE J., WIMAN N.G., WALTON W., TOMASINO E., 2017b – *Influence of winemaking processing steps on the amounts of (E) 2-Decenal and Tridecane as off-odorants caused by brown marmorated stink bug (Halyomorpha halys)*. - J. Agr. Food Chem., 65: 872-878.
- MOORE L.C., TIRELLO P., SCACCINI D., TOEWS M.D., DUSO C., POZZEBON A., 2019 – *Characterizing damage potential of the brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) in cherry orchards*. - Entomol. Gen., 39(3-4): 271-283.
- NIELSEN A.L., HAMILTON G.C., 2009 – *Life history of the invasive species Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) in Northeastern United States*. - Ann. Entomol. Soc. Am., 102(4): 608-616.
- NIELSEN A.L., HAMILTON G.C., SHEARER P.W., 2011 – *Seasonal phenology and monitoring of the non-native Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) in soybean*. - Environ. Entomol., 40(2): 231-238.
- OWENS D.R., HERBERT JR. D.A., DIVELY G.P., REISIG D.D., KUCHAR T.P., 2013 – *Does feeding by Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) reduce soybean quality and yield?* - J. Econ. Entomol., 106(3): 1317-1323.
- PALTRINIERI S., MARANI G., FRANCATI S., DINDO M.L., BERTACCINI A., 2016 – *Cimice asiatica confermata come insetto vettore di fitoplasmi*. - L'Informatore Agrario, 45: 60-61.
- PEIFFER M., FELTON G.W., 2014 – *Insights into the saliva of the brown marmorated stink bug Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae)*. - PLoS One, 9: e88483. doi:10.1371/journal.pone.0088483.
- RANCATI M., PANSÀ M.G., GHIGLIONE M., TAVELLA L., 2017 – *Danni da cimice asiatica su mais di secondo raccolto*. - L'Informatore Agrario, 14: 66-68.
- RICE K.B., BERGH C.J., BERGMANN E.J., BIDDINGER D.J., DIECKHOFF C., DIVELY G., FRASER H., GARIEPY T., HAMILTON G., HAYE T., HERBERT A., HOELMER K., HOOKS C.R., JONES A., KRAWCZYK G., KUCHAR T., MARTINSON H., MITCHELL W., NIELSEN A.L., PFEIFFER D.G., RAUPP M.J., RODRIGUEZ-SAONA C., SHEARER P., SHREWSBURY P., 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)*. - J. Integr. Pest Manag., 5(3): 1-13.
- SCACCINI D., 2019 – *Seasonal population dynamics, thermal tolerance, and damage assessment of the invasive pest brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Crop Science, Università di Padova, 148 pp.
- SCACCINI D., VINCENZI S., SALA L., DUSO C., POZZEBON A., 2019 – *Brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Stål) effects on the quality of Prosecco wine*. - Programma del IOBC-WPRS – Integrated Protection in Viticulture, Vila Real, Portogallo, 5-8 Novembre 2019: poster.
- SKILLMAN V.P., WIMAN N.G., LEE J.C., 2018 – *Nutrient declines in overwintering Halyomorpha halys populations*. - Entomol. Exp. Appl., 166(9): 778-789.
- SMITH J.R., HESLER S.R., LOEB G.M., 2014 – *Potential impact of Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) on grape production in the Finger Lakes Region of New York*. - J. Entomol. Sci., 49: 290-303.
- TEULON D.A.J., XU B., 2018 – *Biosecurity risks from stink bugs to New Zealand kiwifruit identified in Chinese language literature*. - N. Z. Plant Protect.-S.E., 71: 140-150.
- VANDERVOET T.F., BELLAMY D.E., ANDERSON D., MACLELLAN R., 2019 – *Trapping for early detection of the brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys, in New Zealand*. - N. Z. Plant Protect.-S.E., 72: 36-43.
- VENUGOPAL P.D., COFFEY P.L., DIVELY G.P., LAMP W.O., 2014 – *Adjacent habitat influence on stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) densities and the associated damage at field corn and soybean edges*. - PLoS One, 9(10): e109917. doi:10.1371/journal.pone.0109917.
- VENUGOPAL P.D., DIVELY G.P., LAMP W.O., 2015a – *Spatiotemporal dynamics of the invasive Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) in and between adjacent corn and soybean fields*. - J. Econ. Entomol., 108(5): 2231-2241.
- VENUGOPAL P.D., MARTINSON H.M., BERGMANN E.J., SHREWSBURY P.M., RAUPP M.J., 2015b – *Edge effects*

- influence the abundance of the invasive Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) in woody plant nurseries.* - Environ. Entomol., 44: 474-479.
- WERMELINGER B., WYNIGER D., FORSTER B., 2008 – *First records of an invasive bug in Europe: Halyomorpha halys Stål (Heteroptera: Pentatomidae), a new pest on woody ornamentals and fruit trees.* - Mit. Sch. Entomol. Ges., 81: 1-8.
- WIMAN N.G., WALTON V.M., SHEARER P.W., RONDON S.I., LEE J.C., 2015 – *Factors affecting flight capacity of brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae).* - J. Pest Sci., 88(1): 37-47.

STRUMENTI PER MONITORAGGIO E CONTROLLO DI *HALYOMORPHA HALYS* BASATI SU SEMIOCHIMICI E VIBRAZIONI, ED ESPERIENZE DI “CITIZEN SCIENCE”

GIANFRANCO ANFORA^{a, b, *} - CLAUDIO IORIATTI^c - VALERIO MAZZONI^b

^a Centro Agricoltura Alimenti Ambiente (C3A), Università di Trento, via F. Mach 1, 38010, San Michele all'Adige (TN);

* e-mail: gianfranco.anfora@unitn.it

^b Centro Ricerche e Innovazione, Fondazione Edmund Mach (FEM), via F. Mach 1, 38010, San Michele all'Adige (TN)

^c Centro Trasferimento Tecnologico, Fondazione Edmund Mach, via F. Mach 1, 38010, San Michele all'Adige (TN)

Letture tenuta durante la Tavola Rotonda “Cimice asiatica *Halyomorpha halys*: nuove acquisizioni e applicazioni nella difesa”. Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 22 febbraio 2019.

Use of semiochemicals and vibrational signals in monitoring and control of Halyomorpha halys, and experiences of citizen science

During 2016 the first individuals of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*, were found also in the Province of Trento and in the three-year period 2017-2019 the species continued its expansion on the territory, settling also in the main apple growing area of Val di Non, with populations that in 2019 inflicted the first significant damage. Therefore, in order to face this threat, an operational group was created to coordinate the activities of all technicians, researchers and producers involved in this issue in the Province of Trento. In addition to traditional information and monitoring activities, the staff of the Mach Foundation (FEM/C3A) has developed an application for smartphones, BugMap, which has made it possible, on the one hand, to automate the collection and validation of sampling data from technicians and, on the other, to develop a “citizen science” program in which reports made by volunteer citizens are taken into account. With regard to control methods, in addition to insecticides, which have shown only partial effectiveness, a number of alternative methods are being evaluated. In fact, research is underway to implement pheromone traps already on the market with vibrational signals and/or different architectures able to improve capture efficiency.

KEY WORDS: brown marmorated stink bug, monitoring, multimodal trap, citizen science.

INTRODUZIONE

In Trentino, la cimice asiatica, *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera Pentatomidae), è stata segnalata per la prima volta nel 2016 nei dintorni di Trento trasportata all'interno di un camper noleggiato in Veneto. Nel triennio 2017-2019 la specie ha continuato la sua espansione sul territorio insediandosi anche nella principale area melicola della Val di Non, con popolazioni che nel 2019 hanno inferto i primi danni rilevanti (MALEK *et al.*, 2018; MALEK *et al.*, 2019). Per far fronte quindi a questa minaccia è stato creato un gruppo operativo per il coordinamento delle attività di tutti i tecnici, ricercatori e produttori coinvolti su questo tema in Provincia di Trento. Oltre alle attività informative e di monitoraggio tradizionale, il personale della Fondazione Mach (FEM/C3A) ha messo a punto una applicazione per smartphone, BugMap, che ha permesso da un lato di automatizzare la raccolta e validazione dei dati di campionamento dei tecnici e dall'altro di sviluppare un programma di “citizen science” in cui si tiene conto delle segnalazioni effettuate da cittadini volontari. Per quanto riguarda la difesa, oltre ai mezzi chimici, che hanno mostrato una efficacia solo parziale, sono in fase di valutazione una serie di metodi alternativi.

Sono infatti in corso ricerche volte ad implementare le trappole a feromoni già sul mercato con segnali vibrazionali e/o diverse architetture in grado di migliorare l'efficacia di cattura.

MONITORAGGIO DELLA CIMICE ASIATICA

Nei primi anni di insediamento, il monitoraggio, ossia la ricerca dei luoghi in cui è presente la cimice asiatica, è di importanza fondamentale per conoscere le aree di nuova colonizzazione, mentre negli anni successivi, la stessa operazione è indispensabile per valutare la dinamica di sviluppo della popolazione in funzione delle condizioni climatiche diverse di ogni annata. Il monitoraggio può essere riferito a due ambiti:

1. Monitoraggio “territoriale” in senso lato, con il quale ci si prefigge l'obiettivo di rilevare lo sviluppo della cimice asiatica fin dalla sua uscita dai siti di svernamento ed in particolare su quelle piante ospiti spontanee o siepi sulle quali sono presenti i frutti su cui inizia a nutrirsi.
2. Monitoraggio di “campagna”, che ha lo scopo di verificare il momento di entrata del fitofago nel frutteto, per poter impostare la difesa fitosanitaria.

Metodi di monitoraggio

Gli strumenti principali di monitoraggio della cimice sono tre: trappole commerciali innescate con feromone di aggregazione, *frappage* (quando è possibile) e controlli visuali. I primi due sono adatti alle aree esterne ai frutteti e forniscono indicazioni sulla dinamica di popolazione nelle prime fasi di sviluppo (principalmente su siepi e piante di bordo). Nei frutteti e nei campi coltivati, il controllo visuale è il metodo di monitoraggio più indicato. Normalmente i primi siti da monitorare a livello territoriale sono le aree di bordo delle superfici a frutteto, la vegetazione spontanea lungo i corsi d'acqua e le scoline, le siepi, le fasce boscate, ed altre eventuali colture ospiti come orticole e seminativi.

COINVOLGERE I CITTADINI NEL MONITORAGGIO DELLA CIMICE ASIATICA

La *citizen science* o “scienza dei cittadini” permette di creare progetti di scienza partecipativa, dove grazie all'ausilio di strumenti tecnologici, quali gli smartphone ed applicazioni appositamente sviluppate, cittadini e ricercatori possono lavorare insieme per il raggiungimento di uno scopo. Il supporto dei cittadini, istruiti e supportati dai ricercatori, permette di massimizzare la mole di dati raccolti e consente di monitorare estese aree geografiche in un breve lasso temporale. Le iniziative di citizen science esistono per costruire collaborazione, comunità e credibilità e richiedono dedizione, non solo dai non scienziati, ma anche dagli organizzatori, educatori, tecnici e ricercatori. Un'iniziativa può coinvolgere migliaia di persone che collaborano verso un obiettivo comune. Il coinvolgimento del pubblico può includere la raccolta di dati, la segnalazione della presenza di specie animali e vegetali oppure l'osservazione di fenomeni ambientali. I cittadini hanno anche la possibilità di condividere reciprocamente le loro scoperte e discutere i risultati su piattaforme digitali. Nel mondo esistono numerosissimi progetti, come ad esempio *Anecdata*, *Artportalen*, *CrowdWater* ed *iNaturalist* e anche se c'è una significativa eterogeneità tra i diversi progetti, essi sono in gran parte caratterizzati da due importanti caratteristiche: la partecipazione è libera e i risultati intermedi vengono resi disponibili pubblicamente. Le opportunità di partecipare e diventare un “citizen scientist” sono illimitate. La quantità di dati che si può ottenere con la partecipazione pubblica può permettere di superare significativamente la capacità di lavoro dei singoli ricercatori.

A questo proposito, oltre alle attività informative e di monitoraggio tradizionale, il personale FEM/C3A ha messo a punto una applicazione chiamata BugMap. Si tratta di una app per smartphone e iPhone che permette in primo luogo di effettuare segnalazioni in

tempo reale, da parte di cittadini e agricoltori, ai tecnici e ricercatori che la gestiscono. BugMap è parte appunto di un programma di citizen science che ha tra i suoi scopi lo studio della diffusione dettagliata della cimice asiatica sul territorio provinciale. Tale iniziativa affianca ed integra azioni analoghe che sono state intraprese in Italia (MAISTRELLO *et al.*, 2016; MAISTRELLO *et al.*, 2018). Accedendo a BugMap è possibile fornire preziose informazioni agli addetti ai lavori, grazie alle quali è possibile, tra le altre cose, realizzare mappe di diffusione, di rischio e modelli previsionali con cui supportare la gestione della cimice (MALEK *et al.*, 2018; MALEK *et al.*, 2019). BugMap fornisce una mappa di presenza aggiornata in tempo reale e un'identificazione immediata della cimice asiatica, permettendo la sua discriminazione da altre specie autoctone. BugMap ha quindi consentito di potenziare enormemente le azioni di monitoraggio favorendo l'intervento tempestivo laddove si siano verificati episodi di danno alle colture. In particolare, il contatto tra esperti e cittadini ha permesso in molti casi di evitare equivoci, quali lo scambio di identità con specie inoffensive o utili, e quindi di prendere decisioni sbagliate, soprattutto in campo agrario e ambiente domestico. L'esperienza ottenuta con questo tipo di approccio potrà essere utile in caso di invasione o rischio di invasione da parte di altre specie esotiche e potrà essere utilizzata anche per il monitoraggio di specie rare e di alto valore ecologico. L'applicazione è espandibile ad altri organismi ed infatti l'ultima versione permette di segnalare anche la presenza di zanzare tigre invasive, *Aedes albopictus* (Skuse) e *Aedes koreicus* (Edwards).

L'esempio di BugMap dimostra l'efficacia della citizen science per poter effettuare un monitoraggio su ampia scala spaziale. Il regolamento europeo sulle specie aliene EU 1143/2014 fa esplicito riferimento all'importanza del coinvolgimento dei cittadini, al fine di aumentarne la consapevolezza nei confronti dei problemi legati alle introduzioni accidentali e di come tale coinvolgimento possa influenzare le politiche di gestione del territorio, contribuendo all'efficace gestione di queste specie.

I dati raccolti nel triennio 2017-2019 evidenziano una crescente espansione nella distribuzione della cimice asiatica nella Provincia di Trento. Le heat maps o mappe di calore in Fig. 1 permettono di individuare le aree con maggiore concentrazione di segnalazioni e visualizzare l'espansione in corso. Se inizialmente il maggior numero di segnalazioni si era concentrato nei comuni di Trento ed Aldeno, dal 2017 ad oggi i dati raccolti confermano quanto osservato anche nei monitoraggi tradizionali, ovvero il veloce aumento in diverse aree (bassa Val di Non, Piana Rotaliana e Vallagarina) ed una più lenta ma costante espansione in altre (Valsugana ed Alto Garda). La maggior parte

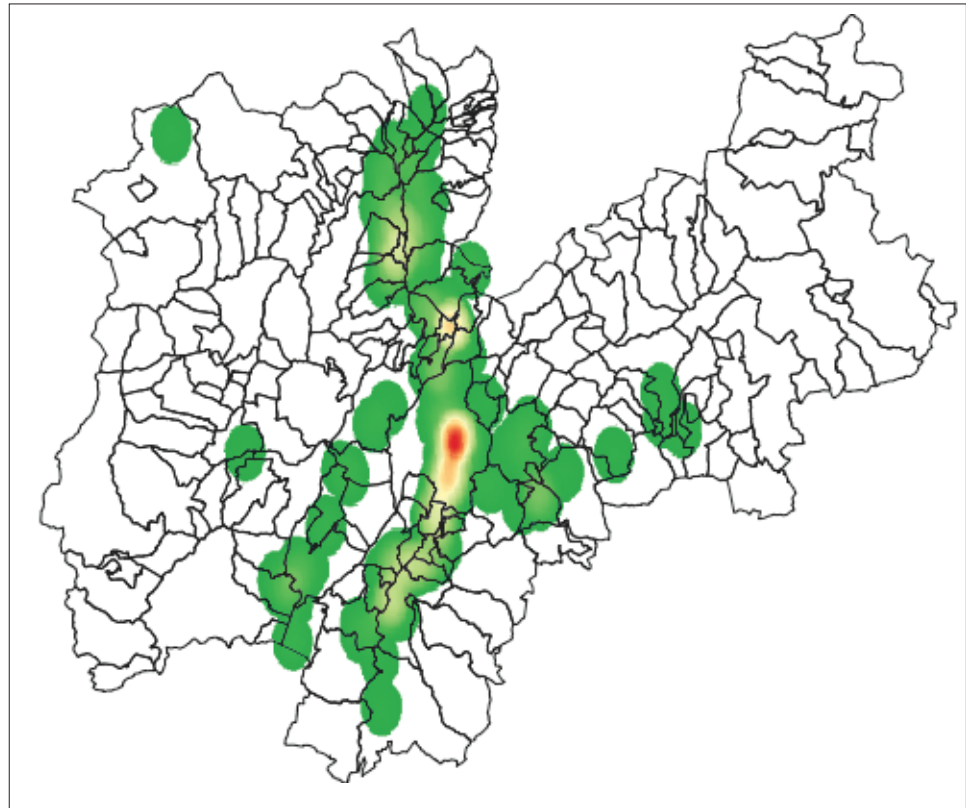


Fig. 1: Diffusione e densità di popolazione della cimice asiatica in Provincia di Trento nel 2019.

delle segnalazioni ricevute sono relative ad osservazioni effettuate all'esterno (30%) ed all'interno (28%) di edifici, evidenziando che al momento attuale l'utilizzo prevalente di BugMap è associato alle abitazioni, dove appunto le cimici si radunano nel periodo di svernamento. Il 20% delle segnalazioni è relativo alle colture agrarie, prevalentemente meleti (63%), seguiti da altri frutteti (13%) e vigneti (10%). I dati ottenuti con BugMap sono stati inoltre spazializzati e correlati con variabili ambientali e ciò sta permettendo con sempre maggior precisione di modellizzare la potenziale diffusione nei nostri territori fino alle aree montane ed individuare le aree ed i fattori di rischio rispetto alle pratiche agricole. Futuri utilizzi di BugMap potranno prevedere il coinvolgimento mirato di operatori agricoli appositamente formati che aiutino i tecnici FEM a monitorare in tempo reale l'ingresso della cimice nei frutteti e quindi ottimizzare tempi e le aree in cui è necessario applicare i metodi di controllo.

TRAPPOLE MULTISTIMOLO: IL BINOMIO FEROMONI E VIBRAZIONI

Come citato precedentemente, il monitoraggio di un insetto dannoso è un elemento chiave nella gestione integrata di una coltura nei confronti di ogni avversità. Avere un'idea chiara e in tempo reale della fenologia e della distribuzione spaziale di una specie è cosa da

cui non si può prescindere se si vuole adottare una strategia efficace. Le domande basilari a cui un agricoltore deve rispondere sono: se, quando e come trattare. Nel caso della cimice asiatica queste informazioni sono particolarmente importanti a causa del complesso ciclo biologico e della sua peculiare ecologia. Esistono diverse tecniche di monitoraggio della cimice asiatica, ma senz'altro l'uso di trappole è quella più diffusa, più semplice da attuare e che richiede meno tempo rispetto ai metodi di raccolta diretta come ad esempio la battitura o "frappage". Lo stimolo attrattivo comunemente usato per la cattura della cimice asiatica è una miscela di due sostanze: l'epoxy-bisabolene-olo, feromone di aggregazione prodotto dai maschi della cimice asiatica, ed il methyl- (E,E,Z)-2,4,6-decatrienoate (o MDT) che di fatto è il feromone di un'altra cimice, la *Plautia stali* (WEBER *et al.*, 2017). Questo blend ha una notevole capacità attrattiva nei confronti di tutti gli individui, maschi, femmine e giovani, i quali si aggregano sulla vegetazione intorno alla trappola. Il problema è che il rapporto tra numero di esemplari attirati e catturati è molto basso, stimato tra il 5-10%. Tale efficacia è legata alla natura ed alla funzione stessa del feromone di aggregazione. È noto però che nei Pentatomidi in generale ed anche per la cimice asiatica la comunicazione sessuale a breve distanza non è mediata da feromoni bensì da vibrazioni (POLAJNAR *et al.*, 2016). Maschi e femmine comunicano attraverso segnali vibrazionali via substrato a bassa frequenza e nella fattispecie il segnale del maschio della cimice

asiatica con i suoi 40 Hz è il segnale a più bassa frequenza tra quelli noti nei Pentatomidi. Durante la sequenza di accoppiamento la femmina chiama, il maschio risponde ed i due iniziano a duettare. Dopodiché, mentre la femmina continua a chiamare, il maschio si muove alla sua ricerca seguendone la traccia vibrazionale. Infine i due si accoppiano. È stato quindi dimostrato che il segnale femminile è un potente attrattivo verso i maschi, non differente per ruolo e potenza dai feromoni sessuali dei Lepidotteri (MAZZONI *et al.*, 2017). Da questa evidenza è nata l'idea di studiare lo sviluppo di trappole a doppio stimolo che siano in grado di integrare l'azione a lungo raggio del feromone di aggregazione con il segnale vibrazionale sessuale attrattivo a corto raggio per i maschi e che siano quindi capaci di catturare un maggior numero di maschi rispetto alle trappole attualmente in commercio. Grazie ad un lavoro multidisciplinare, si è arrivati alla realizzazione di vari prototipi di trappole che in

prove di campo in Trentino e in Emilia hanno evidenziato un aumento di catture (dei maschi) nell'ordine di 2-5 volte rispetto alle trappole commerciali di confronto (Fig. 2). Durante il 2020 sono previste ulteriori sperimentazioni volte ad ottimizzare l'architettura della nuova trappola, garantendo che il segnale vibrazionale trasmesso conservi i tratti distintivi della specie e che copra uno spazio attivo il più ampio possibile. L'altro punto importante è la disponibilità di una sorgente elettrica. Le trappole finora realizzate per poter produrre le vibrazioni sono alimentate a energia solare. Il pannello solare però è pesante e ingombrante e pertanto sono in fase di studio soluzioni tecnologiche diverse, ad esempio attraverso l'uso di minipannelli direttamente posizionati sulla trappola. Il modello che per il momento sembra dare maggiori risultati è una trappola di grandi dimensioni, montata su piramide, alta circa 1,5 m e con una capacità di due litri.

Altri modelli di trappole sono allo studio per valorizzare



Fig. 2 – Prototipi di trappole multistimolo: (a) trappola a piramide con sistema di uccisione elettrico, (b) trappola a piramide con sistema di cattura a imbuto, (c) trappola a caduta, (d) trappola da appendere con sistema di cattura a imbuto.

il flusso di feromone, per migliorare il sistema di cattura e per facilitare la manualità delle operazioni di scarico degli insetti catturati considerando anche la fase di aggregazione che precede la diapausa invernale (SUCKLING *et al.*, 2019a).

TRAPPOLE DI CATTURA MASSALE

Non esistono ad oggi vere e proprie trappole per la cattura massale. Diverse esperienze sono in corso soprattutto per sviluppare il metodo di attrazione. I feromoni di aggregazione attualmente disponibili e impiegati nelle trappole finora sperimentate hanno un raggio di attività limitato a circa 10 metri. Sono in corso delle esperienze finalizzate allo sviluppo di strumenti da utilizzarsi in strategie di controllo di cattura massale (SUCKLING *et al.*, 2019b) e attract-and-kill: queste ultime sono trappole che combinano l'attrattività del feromone e l'effetto letale di una rete insetticida che porta a morte le cimici che si posano su di essa.

BIBLIOGRAFIA

- MAISTRELLO L., DIOLI P., BARISELLI M., MAZZOLI G.L., GIACALONE-FORINI I., 2016 – *Citizen science and early detection of invasive species: phenology of first occurrences of Halyomorpha halys in Southern Europe*. - Biol. Inv., 18: 3109-3116.
- MAISTRELLO L., DIOLI P., DUTTO M., VOLANI S., PASQUALI S., GILIOLI G., 2018 – *Tracking the spread of sneaking aliens by integrating crowdsourcing and spatial modeling: the Italian invasion of Halyomorpha halys*. - BioSci., 68: 979-989.
- MALEK R., ZAPPONI L., ERIKSSON A., CIOILLI M., MAZZONI V., ANFORA G., TATTONI C., 2019 – *Monitoring 2.0: Update on the Halyomorpha halys Invasion of Trentino*. - ISPRS Int. J. Geo-Inf., 8: 564.
- MALEK R., TATTONI C., CIOILLI M., CORRADINI S., ANDREIS D., IBRAHIM A., MAZZONI V., ERIKSSON A., ANFORA G., 2018 – *Coupling traditional monitoring and citizen science to disentangle the invasion of Halyomorpha halys*. - ISPRS Int. J. Geo-Inf., 7: 171.
- MAZZONI V., POLAJNAR J., BALDINI M., ROSSI STACCONI M.V., ANFORA G., GUIDETTI R., MAISTRELLO L., 2017 – *Use of substrate-borne vibrational signals to attract the Brown Marmorated Stink Bug, Halyomorpha halys*. - J. Pest Sci., 90: 1219-1229.
- POLAJNAR J., MAISTRELLO L., BERTARELLA A., MAZZONI V., 2016 – *Vibrational communication of the brown marmorated stink bug (Halyomorpha halys)*. - Physiol. Entomol., 41: 249-259.
- SUCKLING D.M., LEVY M.C., ROSELLI G., MAZZONI V., IORIATTI C., DEROMEDI M., CRISTOFARO M., ANFORA G., 2019a – *Live traps for adult brown marmorated stink bugs*. - Insects, 10: 376.
- SUCKLING D.M., MAZZONI V., ROSELLI G., LEVY M.C., IORIATTI C., STRINGER L.D., ZENI V., DEROMEDI M., ANFORA G., 2019b – *Trapping brown marmorated stink bugs: “the nazgûl” lure and kill nets*. - Insects, 10: 433.
- WEBER D.C., MORRISON W.R., KHRIMIAN A., RICE K.B., LESKEY T.C., RODRIGUEZ-SAONA C., NIELSEN A.L., BLAAUW B.R., 2017 – *Chemical ecology of Halyomorpha halys: discoveries and applications*. - J. Pest Sci., 90: 989-1008.

124 - Pagina bianca

RISPOSTE DIFENSIVE DELLE PIANTE A *HALYOMORPHA HALYS*

ERIC CONTI^{a,b} - VALERIA BERTOLDI^{a,b} - JACQUES BRODEUR^b - GABRIELE RONDONI^{a,b}

^a Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, Università degli Studi di Perugia; e-mail: eric.conti@unipg.it

^b Département de Sciences Biologiques, Institut de Recherche en Biologie Végétale, Université de Montréal, Montréal, QC, Canada

Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Cimice asiatica *Halyomorpha halys*: nuove acquisizioni e applicazioni nella difesa". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 22 febbraio 2019.

Plant's defensive responses to Halyomorpha halys

The brown marmorated stink bug *Halyomorpha halys*, native from eastern Asia, is established in several European and American ecosystems, where it attacks many plant species and causes severe crop losses. Here we report of recent investigations aiming to evaluate plant defence responses against *H. halys* and, in the meantime, egg parasitoid ability in exploiting host-associated cues when searching for this highly invasive pest.

When attacked by herbivorous insects that oviposit (and feed) on them, plants may respond by direct defences against the herbivore (e.g., affecting egg survival or the development of future brood through induction of toxic or anti-digestive molecules) and by indirect defences (e.g., attracting egg parasitoids of the herbivore via induction of plant volatiles).

Direct plant defences were investigated using biological and molecular methods. *Halyomorpha halys* nymphs that developed on oviposition experienced *Vicia faba* plants weighed significantly less and were smaller compared to those that developed either on control plants or on plants solely subjected to *H. halys* feeding. In addition, when oviposition experienced plants were attacked by nymphs, higher and more rapid expression of two jasmonic acid dependent genes was detected compared to control plants. Our results suggest that *V. faba* plants recognize eggs deposited by *H. halys* as a warning signal and pre-activate defence genes against future nymphal herbivory.

Indirect plant defences were investigated through behavioural assays of egg parasitoid responses to *H. halys* induced plant volatiles. Egg parasitoid reactions to volatiles from stink bug adults and eggs were also evaluated. Once an accidentally introduced pest establishes in the invaded area, native natural enemies may adapt to the new host. A decade after the accidental introduction of *H. halys* in Europe, the generalist egg parasitoids *Anastatus bifasciatus* and *Ooencyrtus telenomicida* have been recorded from this invasive agricultural pest in the field. Both parasitoids positively responded to *H. halys* male volatiles and to *H. halys* induced plant volatiles, indicating ability to exploit cues associated with the new host for egg location, whereas non-associated *Trissolcus basalis* only reacted to female volatiles.

The most effective egg parasitoid of *H. halys* in its native area is *Trissolcus japonicus*. Recently, adventive populations of this major biocontrol agent have been detected in North America and Europe. Behavioural assays have been conducted in Canada to evaluate the responses of naïve *T. japonicus* females to volatiles associated with its coevolved host, *H. halys*, and to the non-target host *Podisus maculiventris*. Tomato plants subjected to oviposition and feeding by *H. halys* were preferred by the wasp females compared to clean plants, suggesting a possible activation of an indirect defence mechanism. Furthermore, the parasitoid was attracted by cues from gravid females and mature males of *H. halys* but not from eggs. By contrast, naïve females of *T. japonicus* never responded to cues associated with the non-target *P. maculiventris*, although this species is suitable for complete parasitoid development.

Egg parasitoids, especially *T. japonicus*, show interesting potential as candidate agents for biological control of *H. halys* in the areas where this highly invasive crop pest is established.

KEY WORDS: biological control; egg parasitoid; herbivore-induced plant defence; invasive species; new association.

INTRODUZIONE

Le piante hanno sviluppato elaborate strategie difensive, essenziali per far fronte al gran numero di insetti fitofagi che si alimentano delle parti vegetative e riproduttive. Nei sistemi coevoluti le piante sono quindi in grado di riconoscere il fitofago e rispondere attivando le loro difese (HEIL, 2014), mentre nei sistemi non coevoluti, ad esempio in presenza di una specie esotica, le risposte delle piante sono meno prevedibili (WOODARD *et al.*, 2012, DESURMONT *et al.*, 2014). Il riconoscimento dell'attacco da parte del fitofago può avvenire precocemente, al momento dell'ovideposizione, oppure

quando l'attività trofica di forme giovanili o adulti è in atto. Inoltre l'ovideposizione da parte del fitofago può essere utilizzata dalla pianta come messaggio di avvertimento, che le permette di rispondere tempestivamente attirando i nemici naturali del fitofago stesso (VET e DICKE, 1992, HILKER e MEINERS, 2008, COLAZZA *et al.*, 2010, CONTI e COLAZZA, 2012), oppure di prepararsi e attivare le sue difese più velocemente ed efficacemente (ad esempio tramite un meccanismo di *priming*), non appena le forme giovanili neosgusciate iniziano ad alimentarsi (BEYAERT *et al.*, 2012, GEISELHARDT *et al.*, 2013, PASHALIDOU *et al.*, 2013, BANDOLY *et al.*, 2015, AUSTEL *et al.*, 2016).

Pertanto, le difese delle piante possono essere rivolte direttamente contro il fitofago, uccidendolo o compromettendo lo sviluppo di uova, larve o adulti, o possono colpire il fitofago indirettamente, attraverso l'emissione di sostanze chimiche volatili utilizzate per il reclutamento dei nemici naturali (PETERSON *et al.*, 2016). Nell'ambito di progetti di ricerca condotti recentemente in Italia e in Canada, sono stati studiati i meccanismi delle difese dirette ed indirette indotte in pianta dalla cimice asiatica, *Halyomorpha halys* Stål (Heteroptera: Pentatomidae) (RONDONI *et al.*, 2017, 2018, BERTOLDI *et al.*, 2019) (Fig. 1). Questa specie esotica, introdotta accidentalmente negli Stati Uniti e in Europa, è estremamente polifaga e provoca ingenti danni economici a numerose colture (HAYE *et al.*, 2015). È quindi necessario sviluppare strategie di controllo efficaci ed ecologicamente sicure per gestire *H. halys* nelle aree di invasione.

DIFESE DIRETTE PRE-ATTIVATE
DA FEMMINE OVIDEPONENTI ED EFFICACI
CONTRO LA GENERAZIONE SUCCESSIVA

La capacità delle piante di riconoscere precocemente l'infestazione di *H. halys* e rispondere con meccanismi

di difesa diretta è stata valutata utilizzando *Vicia faba* L. come modello sperimentale. In particolare, è stata analizzata l'abilità di *V. faba* nel rispondere all'ovideposizione della cimice pre-attivando difese dirette che influenzano lo sviluppo (antibiosi) delle future neanidi (RONDONI *et al.*, 2018).

Le piante sono state esposte a femmine gravide di *H. halys* per ottenere ovideposizioni e punture trofiche oppure sole punture trofiche. Pianta non trattate sono state utilizzate come controllo. Dopo 4 giorni (tempo necessario allo sgusciamiento delle neanidi) piante trattate e controllo sono state sfidate con prime età di *H. halys*. Le neanidi sviluppate su piante trattate che presentavano uova e punture di femmine conspecifiche hanno mostrato peso e dimensione (lunghezza della tibia) significativamente inferiori rispetto alle neanidi sviluppate su piante controllo, mentre tali differenze non sono state osservate nel caso di neanidi sviluppate su piante trattate con sole punture trofiche.

I dati biologici, raccolti sul fitofago, appaiono confermati dall'analisi dell'espressione genica eseguita su foglie raccolte in tempi diversi dopo i trattamenti. Infatti, le piante che avevano subito ovideposizione e successiva sfida con le neanidi hanno mostrato, a 24 e 48 ore dopo l'inizio della sfida, un incremento significativo dell'espressione dei geni *CPI* e *NaII*,

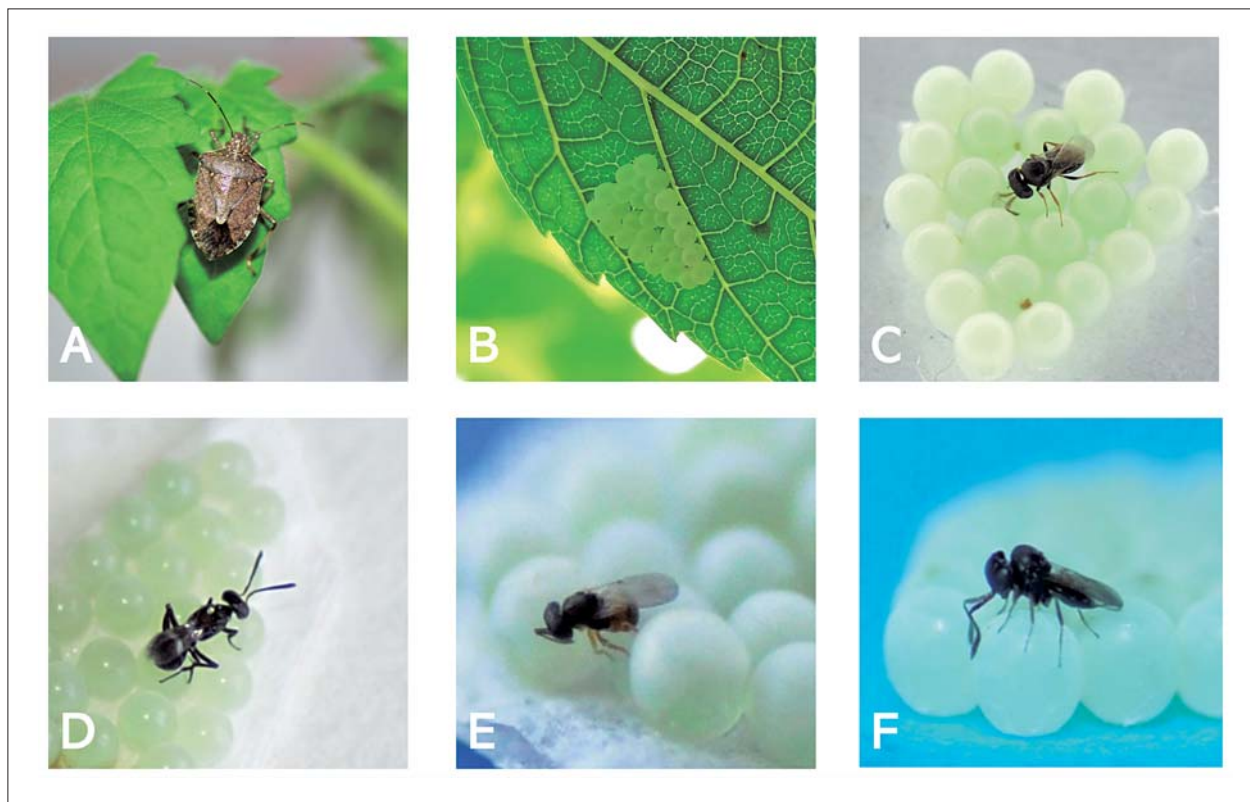


Fig. 1 – Adulto e uova di *Halyomorpha halys* e femmine di ooparassitoidi su ovature della cimice in condizioni di laboratorio. A: femmina su pianta di pomodoro in laboratorio; B: ovatura su pianta di gelso in campo; C: *Trissolcus japonicus*; D: *Anastatus bifasciatus*; E: *Ooencyrtus telenomicida*; F: *Trissolcus basalis*; A, B, D-F: UR Protezione delle Pianta, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi di Perugia; C: Département de Sciences Biologiques, Institut de Recherche en Biologie Végétale, Université de Montréal, Canada.

regolati dall'acido giasmonico. Nelle piante con uova è stata anche rilevata una maggiore espressione del gene *PRI*, associato alla via dell'acido salicilico, sebbene la risposta sia stata ritardata (72h) rispetto ai geni dipendenti da acido giasmonico. Le piante controllo, senza uova e punture trofiche ma sfidate con neanidi hanno mostrato, dopo 24-48 ore, un incremento significativo dell'espressione di *PRI*, mentre non hanno mostrato alcuna variazione nell'espressione di *CPI* e *NAII*.

I nostri risultati suggeriscono che l'ovideposizione determinerebbe in piante di *V. faba* un meccanismo di pre-attivazione delle difese giasmonato-dipendenti, permettendone in tal modo una tempestiva espressione subito dopo lo sgusciamento della futura generazione del fitofago. Questa interpretazione è in accordo con studi precedenti condotti su diversi sistemi pianta-fitofago (BEYAERT *et al.*, 2012, GEISELHARDT *et al.*, 2013, PASHALIDOU *et al.*, 2013, BANDOLY *et al.*, 2015, AUSTEL *et al.*, 2016). Tramite tale meccanismo di pre-attivazione delle difese, le piante rispondono più velocemente e/o più intensamente quando successivamente sfidate, aumentando così la resistenza a stress biotici e abiotici (CONRATH *et al.*, 2011).

DIFESE INDIRETTE CON RICHIAMO DI OOPARASSITOIDI INDIGENI NON COEVOLUTI

Generalmente in seguito all'introduzione accidentale di fitofagi esotici alcuni parassitoidi indigeni possono adattarsi al nuovo ospite. A conferma di ciò, un decennio dopo l'introduzione accidentale di *H. halys* in Europa, due ooparassitoidi polifagi, *Anastatus bifasciatus* Geoffroy (Hymenoptera: Eupelmidae) e *Ooencyrtus telenomicida* (Vassiliev) (Hymenoptera: Encyrtidae) (Fig. 1) sono stati raccolti su questo nuovo ospite in campo (HAYE *et al.*, 2015, ROVERSI *et al.*, 2016, COSTI *et al.*, 2019). Entrambe le specie sono in grado di completare lo sviluppo fino allo stadio adulto all'interno di *H. halys* (HAYE *et al.*, 2015, ROVERSI *et al.*, 2016). Invece, l'ooparassitoide *Trissolcus basalis* (Wollaston) (Hymenoptera: Scelionidae) (Fig. 1), ritrovato su uova sentinella congelate di *H. halys* disposte su piante di soia, non è stato in grado di svilupparsi da uova fresche di questo pentatomide (dati non pubblicati).

La capacità di utilizzare i composti volatili associati alla cimice invasiva favorirebbe quei parassitoidi che sono in grado di completare il loro sviluppo all'interno del nuovo ospite, mentre sarebbe svantaggiosa e potrebbe costituire una trappola evolutiva nel caso di parassitoidi per i quali il nuovo ospite non è idoneo (ABRAM *et al.*, 2014). Pertanto, mediante biosaggi in olfattometro a Y, sono state analizzate le risposte comportamentali dei parassitoidi indigeni a volatili emessi

dagli adulti di *H. halys* e da piante di *V. faba* attaccate dalla cimice (RONDONI *et al.*, 2017).

Anastatus bifasciatus e *O. telenomicida* hanno mostrato attrazione nei confronti di composti volatili emessi dai maschi adulti della cimice e di quelli indotti nelle piante, mentre *T. basalis* ha risposto ai volatili delle femmine ma non ha risposto a quelli delle piante attaccate. Questi risultati sono coerenti con le conoscenze sul livello di polifagia di *A. bifasciatus* e *O. telenomicida*, ooparassitoidi generalisti che presentano una gamma di ospiti molto più ampia rispetto a *T. basalis*, e suggeriscono per i primi la capacità di utilizzare segnali generici associati a potenziali ospiti. I suddetti risultati, inoltre, mostrano una corrispondenza tra l'idoneità dell'uovo ospite per lo sviluppo del parassitoide e la capacità del parassitoide di utilizzare i segnali associati all'ospite per individuarlo.

Per quanto riguarda i volatili emessi dalle piante di *V. faba*, sulla base di precedenti indagini in altri sistemi pianta-pentatomide-parassitoide (COLAZZA *et al.*, 2004a, MORAES *et al.*, 2005, 2008, MICHEREFF *et al.*, 2011), possiamo supporre che la loro induzione sia la conseguenza dell'ovideposizione combinata con l'alimentazione di *H. halys*. In effetti, ovideposizione combinata con alimentazione da parte di cimici inducono in pianta un incremento o un'emissione *de novo* di alcuni terpeni (COLAZZA *et al.*, 2004b, CONTI *et al.*, 2008) e influenzano la fotosintesi (VELIKOVA *et al.*, 2010). Modifiche nelle emissioni dei volatili sono state osservate anche su altre piante come conseguenza a danni di alimentazione di *H. halys*, con diversi effetti (FRAGA *et al.*, 2016, ZHOU *et al.*, 2016). Nel complesso i nostri dati e quelli della letteratura indicano che l'ecologia chimica di *H. halys* condivide diversi meccanismi con quella di altre cimici.

DIFESE INDIRETTE CON RICHIAMO DI OOPARASSITOIDE COEVOLUTO ED EVENTUALE EFFETTO COLLATERALE SU CIMICE PREDATRICE

In Europa e Nord America il tasso di parassitizzazione naturale delle uova di *H. halys*, con completo sviluppo del parassitoide, è insufficiente a controllare efficacemente il fitofago (ABRAM *et al.*, 2017, MORAGLIO *et al.*, 2020). Perciò l'attenzione si è spostata sui parassitoidi coevoluti, provenienti dallo stesso areale d'origine della cimice, e in particolare sull'oofago *Trissolcus japonicus* (Ashmead) (Hymenoptera: Scelionidae) (YANG *et al.*, 2009, TALAMAS *et al.*, 2013) (Fig. 1). Inoltre, l'interesse per questa specie è aumentato in seguito al suo ritrovamento fortuito in America settentrionale (TALAMAS *et al.*, 2015, BUFFINGTON *et al.*, 2018) e in Europa (SABBATINI PEVERIERI *et al.*, 2018, STAHL *et al.*, 2019, MORAGLIO *et al.*, 2020). Tuttavia, prove di specificità condotte in laboratorio indicano

possibili rischi associati a effetti *non-target* su pentatomidi indigeni, incluse specie predatrici (HAYE *et al.*, 2015, DIECKHOFF *et al.*, 2017, HEDSTROM *et al.*, 2017, BOTCH e DELFOSSE, 2018, LARA *et al.*, 2016, HAYE *et al.*, 2019). Infatti, il predatore *Podisus maculiventris* (Say) (Heteroptera: Pentatomidae), importante agente di controllo biologico in Nord America, è risultato in laboratorio idoneo alla parassitizzazione da parte di *T. japonicus* (BOTCH e DELFOSSE, 2018).

Considerando che negli areali invasi da *H. halys* è presente anche *P. maculiventris*, sono state condotte, in Canada, prove in olfattometro a Y finalizzate a verificare la risposta di femmine inesperte di *T. japonicus* a stimoli olfattivi associati all'ospite coevoluto, *H. halys*, e parallelamente a valutare l'eventuale risposta del parassitoide a stimoli associati all'ospite non coevoluto, *P. maculiventris*. Pertanto, utilizzando piante di pomodoro, *Solanum lycopersicum* L., è stata analizzata l'attrazione di *T. japonicus* da parte di volatili indotti da ovideposizione e alimentazione di *H. halys* (induzione di resistenza indiretta) e di *P. maculiventris*. Inoltre, prove in olfattometro sono state condotte anche al fine di valutare la risposta di *T. japonicus* a volatili emessi da adulti e uova di *H. halys* e di *P. maculiventris* (BERTOLDI *et al.*, 2019).

Dai risultati è emerso che le piante di pomodoro sottoposte a ovideposizione e alimentazione di *H. halys* sono attrattive nei confronti di *T. japonicus*, indicando una possibile attivazione di un meccanismo di difesa indiretta. Inoltre, le femmine di *T. japonicus* hanno risposto positivamente a segnali volatili di femmine gravide e maschi maturi di *H. halys*, ma non delle sue uova. Al contrario, le femmine del parassitoide non hanno mai risposto ai segnali associati a *P. maculiventris*. Tale mancanza di risposte a *P. maculiventris* potrebbe ridurre la probabilità che *T. japonicus* localizzi e parassitizzi questo predatore in condizioni di campo.

CONCLUSIONI

Abbiamo visto che le piante riconoscono e rispondono all'ovideposizione e all'alimentazione di *H. halys* mediante l'induzione di sinomoni che attirano sia i parassitoidi indigeni generalisti, *A. bifasciatus* e *O. telenomicida* su fava, sia quello co-evoluto, *T. japonicus* su pomodoro. Gli stessi parassitoidi sono attirati anche dai cairomoni dell'ospite, ma con apparente maggior specializzazione nel caso di *T. japonicus*, che è attirato dalle femmine ovideponenti di *H. halys*. Questo parassitoide non reagisce, invece, quando è esposto ai volatili associati al pentatomide predatore *P. maculiventris*. Possiamo quindi affermare che la capacità delle piante di riconoscere l'ovideposizione di *H. halys* permette un duplice meccanismo difensivo, diretto e indiretto, che pone il fitofago “tra l'incudine

e il martello”. L'emissione di volatili attrattivi per i parassitoidi oofagi permette la soppressione del fitofago prima che possa provocare danno, mentre la pre-attivazione delle difese dirette regolate da acido giasmonico permette alla pianta di prepararsi al futuro attacco da parte della prole del fitofago.

L'abilità dimostrata da *T. japonicus* nell'utilizzare i semiochimici associati al suo ospite coevoluto *H. halys* ne conferma ad oggi il potenziale ruolo primario come candidato per il controllo biologico di questa specie invasiva, eventualmente in combinazione con altri nemici naturali. Inoltre, l'incapacità di *T. japonicus* di utilizzare semiochimici associati a *P. maculiventris* suggerisce che i rischi *non-target* nelle aree di introduzione del parassitoide potrebbero essere inferiori rispetto a quanto temuto. Future ricerche potrebbero essere indirizzate alla definizione di strategie per potenziare l'efficacia dei parassitoidi indigeni ed esotici e le risposte difensive delle piante in un contesto di controllo integrato.

RINGRAZIAMENTI

Ricerche condotte nell'ambito del Progetto H2020-MSCA-RISE-2015 “INVASION” (GA 690952).

BIBLIOGRAFIA

- ABRAM P. K., GARIEPY T. D., BOIVIN G., BRODEUR J., 2014 – *An invasive stink bug as an evolutionary trap for an indigenous egg parasitoid*. - Biol. Invasions, 16: 1387-1395.
- ABRAM P.K., HOELMER K.A., ACEBES-DORIA A., ANDREWS H., BEERS E.H., BERGH J.C., BESSIN R., BIDDINGER D., BOTCH P., BUFFINGTON M.L., CORNELIUS M.L., COSTI E., DELFOSSE E.S., DIECKHOFF C., DOBSON R., DONAIS Z., GRIESHOP M., HAMILTON G., HAYE T., HEDSTROM C., HERLIHY M.V., HODDLE M.S., HOOKS C.R.R., JENTSCH P., JOSHI N.K., KUJAR T.P., LARA J., LEE J.C., LEGRAND A., LESKEY T.C., LOWENSTEIN D., MAISTRELLO L., MATHEWS C.R., MILNES J.M., MORRISON W.R. III, NIELSEN A.L., OGBURN E.C., PICKETT C.H., POLEY K., POTE J., RADL J., SHREWSBURY P.M., TALAMAS E., TAVELLA L., WALGENBACH J.F., WATERWORTH R., WEBER D.C., WELTY C., WIMAN N.G., 2017 – *Indigenous arthropod natural enemies of the invasive brown marmorated stink bug in North America and Europe*. - J. Pest Sci., 90: 1009-1020.
- AUSTEL N., EILERS E.J., MEINERS T., HILKER M., 2016 – *Elm leaves 'warned' by insect egg deposition reduce survival of hatching larvae by a shift in their quantitative leaf metabolite pattern*. - Plant Cell Environ., 39: 366-376.
- BANDOLY M., HILKER M., STEPPUHN A., 2015 – *Oviposition by Spodoptera exigua on Nicotiana attenuata primes induced plant defence against larval herbivory*. - Plant J., 83: 661-672.
- BERTOLDI V., RONDONI G., BRODEUR J., CONTI E., 2019 – *An egg parasitoid efficiently exploits cues from a coevolved host but not those from a novel host*. - Front. Physiol., 10: 746.
- BEYAERT I., KÖPKE D., STILLER J., HAMMERBACHER A.,

- YONEYA K., SCHMIDT A., GERSHENZON J., HILKER M., 2012 – *Can insect egg deposition 'warn' a plant of future feeding damage by herbivorous larvae?* - Proc. R. Soc. Lond. B., 279: 101-108.
- BOTCH P.S., DELFOSSE E.S., 2018 – *Host-acceptance behavior of Trissolcus japonicus (Hymenoptera: Scelionidae) reared on the invasive Halyomorpha halys (Heteroptera: Pentatomidae) and nontarget species.* - Environ. Entomol., 47: 403-411.
- BUFFINGTON M.L., TALAMAS E.J., HOELMER K.A., 2018 – *Team Trissolcus: integrating taxonomy and biological control to combat the brown marmorated stink bug.* - American Entomologist, 64: 224-232.
- COLAZZA S., FUCARINO A., PERI E., SALERNO G., CONTI E., BIN F., 2004a – *Insect oviposition induces volatile emission in herbaceous plants that attracts egg parasitoids.* - J. Exp. Biol., 207: 47-53.
- COLAZZA S., McELFRESH J.S., MILLAR J.G., 2004b – *Identification of volatile synomones, induced by Nezara viridula feeding and oviposition on bean spp., that attract the egg parasitoid Trissolcus basalis.* - J. Chem. Ecol., 30: 945-964.
- COLAZZA S., PERI E., SALERNO G., CONTI E., 2010 – *"Host searching by egg parasitoids: exploitation of host chemical cues" in Egg parasitoids in agroecosystems with emphasis on Trichogramma.* Dordrecht, NL: Springer, 97-147.
- CORNATH U., BECKERS G.J., LANGENBACH C.J., JASKIEWICZ M.R., 2011 – *Priming for enhanced defense.* - Annu. Rev. Phytopathol., 53: 97-119.
- CONTI E., COLAZZA S., 2012 – *Chemical ecology of egg parasitoids associated with true bugs.* - Psyche, 2012: 651015.
- CONTI E., ZADRA C., SALERNO G., LEOMBRUNI B., VOLPE D., FRATI F., MARUCCHINI C. BIN F., 2008 – *Changes in the volatile profile of Brassica oleracea due to feeding and oviposition by Murgantia histrionica (Heteroptera: Pentatomidae).* - Eur. J. Entomol., 105: 839-847.
- COSTI E., HAYE T., MAISTRELLO L., 2019 – *Surveying native egg parasitoids and predators of the invasive Halyomorpha halys in Northern Italy.* - J. App. Entomol., 143: 299-307.
- DESURMONT G.A., HARVEY J., VAN DAM N.M., CRISTESCU S.M., SCHIESTL F.P., COZZOLINO S., ANDERSON P., LARSSON M.C., KINDLMANN P., DANNER H., 2014 – *Alien interference: disruption of infochemical networks by invasive insect herbivores.* - Plant Cell Environ., 37: 1854-1865.
- DIECKHOFF C., TATMAN K.M., HOELMER K.A., 2017 – *Natural biological control of Halyomorpha halys by native egg parasitoids: a multi-year survey in northern Delaware.* - J. Pest. Sci., 90: 1143-1158.
- FRAGA D.F., PARKER J., BUSOLI A.C., HAMILTON G.C., NIELSEN A.L., RODRIGUEZ-SAONA C., 2016 – *Behavioral responses of predaceous minute pirate bugs to tridecane, a volatile emitted by the brown marmorated stink bug.* - J. Pest Sci., 90: 1107-1118.
- GEISELHARDT S., YONEYA K., BLENN B., DRECHSLER N., GERSHENZON J., KUNZE R., HILKER M., 2013 – *Egg laying of cabbage white butterfly (Pieris brassicae) on Arabidopsis thaliana affects subsequent performance of the larvae.* - PLoS ONE, 8: e59661.
- HAYE T., FISCHER S., ZHANG J., GARIEPY T., 2015 – *Can native egg parasitoids adopt the invasive brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Heteroptera: Pentatomidae), in Europe?* - J. Pest Sci., 88: 693-705.
- HAYE T., MORAGLIO S.T., STAHL J., VISENTIN S., GREGORIO T., TAVELLA L., 2019 – *Fundamental host range of Trissolcus japonicus in Europe.* - J. Pest Sci., 93: 171-182.
- HEDSTROM C., LOWENSTEIN D., ANDREWS H., BAI B., WIMAN, N., 2017 – *Pentatomid host suitability and the discovery of introduced populations of Trissolcus japonicus in Oregon.* - J. Pest. Sci., 90: 1169-1179.
- HEIL M., 2014 – *Herbivore-induced plant volatiles: targets, perception and unanswered questions.* - New Phytol., 204: 297-306.
- HILKER M., MEINERS T., 2008 – *Chemoeecology of insect eggs and egg deposition.* Blackwell, Berlin.
- LARA J., PICKETT C., INGELS C., HAVILAND D.R., GRAFTON-CARDWELL E., DOLL D., BETHKE J.A., FABER B., DARA S.K., HODDLE M., 2016 – *Biological control program is being developed for brown marmorated stink bug.* - Calif. Agric., 70: 15-23.
- MICHEREFF M.F.F., LAUMANN R.A., BORGES M., MICHEREFF-FILHO M., DINIZ I.R., NETO A.L.F., MORAES M.C.B., 2011 – *Volatiles mediating a plant - herbivore - plantherbivore - natural enemy interaction in resistant and susceptible Soybean cultivars.* - J. Chem. Ecol., 37: 273-285.
- MORAES M.C.B., LAUMANN R., SUJII E.R., PIRES C., BORGES M., 2005 – *Induced volatiles in soybean and pigeon pea plants artificially infested with the neotropical brown stink bug, Euschistus heros, and their effect on the egg parasitoid, Telenomus podisi.* - Entomol. Exp. Appl., 115: 227-237.
- MORAES M.C.B., PAREJA M., LAUMANN R.A., HOFFMANN-CAMPO C.B., BORGES M., 2008 – *Response of the parasitoid Telenomus podisi to induced volatiles from soybean damaged by stink bug herbivory and oviposition.* - J. Plant Interact., 3: 111-118.
- MORAGLIO S.T., TORTORICI F., PANSA M.G., CASTELLI G., PONTINI M., SCOVERO S., VISENTIN S., TAVELLA L., 2020 – *A 3-year survey on parasitism of Halyomorpha halys by egg parasitoids in northern Italy.* - J. Pest Sci., 93: 183-194.
- PASHALIDOU F.G., LUCAS-BARBOSA D., VAN LOON J.J., DICKE M., FATOUROS N.E., 2013 – *Phenotypic plasticity of plant response to herbivore eggs: effects on resistance to caterpillars and plant development.* - Ecology, 94: 702-713.
- PETERSON J.A., ODE P.J., OLIVEIRA-HOFMAN C., HARWOOD J.D., 2016 – *Integration of plant defense traits with biological control of arthropod pests: challenges and opportunities.* - Front. Plant. Sci., 7: 1794.
- RONDONI G., BERTOLDI V., MALEK R., DJELOUAH K., MORETTI C., BUONAURO R., CONTI E., 2018 – *Vicia faba plants respond to oviposition by invasive Halyomorpha halys activating direct defences against offspring.* - J. Pest Sci., 91: 671-679.
- RONDONI G., BERTOLDI V., MALEK R., FOTI M.C., PERI E., MAISTRELLO L., HAYE T., CONTI E., 2017 – *Native egg parasitoids recorded from the invasive Halyomorpha halys successfully exploit volatiles emitted by the plant-herbivore complex.* - J. Pest Sci., 90: 1087-1095.
- ROVERSI F.P., BINAZZI F., MARIANELLI L., COSTI E., MAISTRELLO L., SABBATINI PEVERIERI G., 2016 – *Searching for native egg-parasitoids of the invasive alien species Halyomorpha halys Stål (Heteroptera Pentatomidae) in Southern Europe.* - Redia, 99: 63-70.
- SABBATINI PEVERIERI G., TALAMAS E., BON M.C., MARIANELLI L., BERNARDINELLI I., MALOSSINI G., BENVENUTO L., ROVERSI P.F., HOELMER K., 2018 - *Two Asian egg parasitoids of Halyomorpha halys (Stål) (Hemiptera, Pentatomidae) emerge in northern Italy: Trissolcus mitsukurii (Ashmead) and Trissolcus japonicus*

- (*Ashmead*) (*Hymenoptera, Scelionidae*). - J. Hymenopt. Res., 67: 37-53.
- STAHL J., TORTORICI F., PONTINI M., BON M.C., HOELMER K., MARAZZI C., TAVELLA L., HAYE T., 2019 – *First discovery of adventive populations of Trissolcus japonicus in Europe*. - J. Pest Sci., 92: 371-379.
- TALAMAS E., BUFFINGTON M., HOELMER K. 2013 – *New synonymy of Trissolcus halyomorphae Yang*. - J. Hymenopt. Res., 33: 113-117.
- TALAMAS E.J., HERLIHY M.V., DIECKHOFF C., HOELMER K.A., BUFFINGTON M., BON, M.C., WEBER D.C., 2015 – *Trissolcus japonicus (Ashmead) (Hymenoptera, Scelionidae) emerges in North America*. - J. Hymenopt. Res., 43: 119-128.
- VELIKOVA V., SALERNO G., FRATI F., PERI E., CONTI E., COLAZZA S., LORETO F., 2010 – *Influence of feeding and oviposition by phytophagous pentatomids on photosynthesis of herbaceous plants*. - J. Chem. Ecol., 36: 629-641.
- VET L.E.M., DICKE M., 1992 – *Ecology of infochemical use by natural enemies in a tritrophic context*. - Annu. Rev. Entomol., 37: 141-172.
- WOODARD A.M., ERVIN G.N., MARSICO T.D., 2012 – *Host plant defense signalling in response to a coevolved herbivore combats introduced herbivore attack*. - Ecol. Evol., 2: 1056-1064.
- YANG Z.Q., YAO Y.X., QIU L.F., LI Z.X., 2009 – *A new species of Trissolcus (Hymenoptera: Scelionidae) parasitizing eggs of Halyomorpha halys (Heteroptera: Pentatomidae) in China with comments on its biology*. - Ann. Entomol. Soc. Am., 102: 39-47.
- ZHOU Y., GIUSTI M.M., PARKER J., SALAMANCA J., RODRIGUEZ-SAONA C., 2016 – *Frugivory by brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) alters blueberry fruit chemistry and preference by conspecifics*. - Environ. Entomol., 45: 1227-1234.

OOPARASSITOIDI ASIATICI DI *HALYOMORPHA HALYS*: POSSIBILITÀ DI BIOCONTROLLO E VALUTAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE

PIO FEDERICO ROVERSI^a - GIUSEPPINO SABBATINI PEVERIERI^a - LEONARDO MARIANELLI^a

^a Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA), Centro di ricerca Difesa e Certificazione, Via Lanciola 12/A, 50125 Firenze (I); e-mail: piofederico.roversi@crea.gov.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Cimice asiatica *Halyomorpha halys*: nuove acquisizioni e applicazioni nella difesa". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 22 febbraio 2019.

Asian Halyomorpha halys eggparasitoids: biocontrol and environmental impact assessment

Halyomorpha halys, also known as the brown marmorated stink bug, is an alien and invasive species, originating from East Asia which was introduced in North America and Europe where severe damages to vegetable crops, fruits and ornamental plants were recorded. Due to the low efficacy of chemicals and problem related to the use of broad-spectrum pesticides, growing attention has been given to the biological control. Since eggparasitoids are the most effective natural enemies of *H. halys* in Asia, the Hymenoptera *Trissolcus japonicus* (Ashmead), a promising candidates as biological control agent, were imported from USA and tested in laboratory trials to verify efficacy. The risk that females of this eggparasitoid could parasitizing non-target species was thoroughly evaluated too.

KEY WORDS: Brown Marmorated Stink Bug, Eggparasitoids, *Trissolcus japonicus*, non-target species.

La Difesa Fitosanitaria delle Pianta Agrarie, Forestali e Ornamentali deve oggi fronteggiare in modo crescente le drammatiche conseguenze per l'agricoltura e l'ambiente, derivanti dall'introduzione accidentale e dalla diffusione epidemica di specie aliene di organismi nocivi, talvolta configurabili come vere e proprie "Invasioni Biologiche".

Halyomorpha halys Stål (Hemiptera Pentatomidae), è un Insetto originario dell'Asia orientale dannoso a piante, frutti e semi, che a metà degli anni '90 del secolo scorso è stata dapprima rinvenuta negli USA e successivamente in Europa e Sud America, oltre ad essere ripetutamente intercettata nei punti di ingresso in varie altre aree geografiche (es. Nuova Zelanda e Australia). Negli areali di nuova introduzione, la specie si è diffusa con rapidità arrecando danni consistenti soprattutto alla frutticoltura e all'orticoltura, danneggiando seriamente anche piante ornamentali e piantagioni di Pioppi (HOEBEKE & CARTER, 2003; BERNON, 2004; WERMELINGER *et al.*, 2008; LEE *et al.*, 2013; MAISTRELLO *et al.*, 2016; HORMSBY, 2018; LESKEY & NIELSEN, 2018).

Gli interventi di lotta su scala globale sono stati inizialmente incentrati sull'utilizzo di prodotti chimici, con impiego di principi attivi a largo spettro che oltre a non permettere un efficace contenimento dei danni del nuovo "pest" hanno determinato in vari casi lo sconvolgimento di consolidati programmi di difesa integrata. A seguito dei limiti evidenziati dalle strategie di controllo diretto, l'attenzione è stata diretta in modo

crescente verso metodi alternativi di lotta. La Cimice asiatica è infatti un insetto polifago che riesce a svilupparsi sia su piante erbacee, annuali e pluriennali, ortive e cereali, e sia su frutteti e piante arboree e arbustive, nutrendosi di frutti maturi e immaturi, di semi, di getti verdi appena formati, di piccioli delle foglie e anche di giovani cortecce. L'Insetto è inoltre un ottimo volatore da adulto e un buon camminatore negli stadi giovanili, compiendo continui spostamenti tra aree coltivate e vegetazione spontanea. Per la lotta sono state sperimentate reti anti-insetto che hanno fornito risultati in frutteti, ma per le quali sono anche state evidenziate varie problematiche gestionali e l'applicabilità solo su alcune colture. L'attenzione richiesta da tali installazioni e la loro gestione durante le ordinarie attività agricole risultano elevate tanto che i sistemi si sono evoluti verso impianti definiti a monoblocco che inglobano più filari di piante. L'impiego di reti trattate con insetticidi in modo da limitare la diffusione di biocidi nell'ambiente in contesti di Difesa integrata, in fase di sperimentazione, ha evidenziato anche in tal caso limiti. Non mancano inoltre studi su sistemi crop trap o trap trees, ma una applicazione generalizzata è risultata tuttavia difficile. Schemi di trattamento chimico a file alterne o solo ai bordi hanno permesso di aumentare il numero di trattamenti rispetto a quanto ammesso nella difesa integrata, indirizzando il trattamento solo ad una parte della coltura e non al suo complesso. Tuttavia, anche questi approcci non sembrano di facile gestione nella pratica in campo e

non risultano in genere risolutivi oltre a implicare pesanti oneri per i produttori.

CONTROLLO BIOLOGICO

In tali ambiti il CREA-DC, Centro di Ricerca Difesa e Certificazione, è stato chiamato dal MIPAAFT e dal Comitato Fitosanitario Nazionale a intensificare il proprio contributo tecnico-scientifico per affrontare le gravi emergenze fitosanitarie determinate dall'introduzione accidentale della Cimice asiatica, con particolare attenzione anche allo studio delle potenzialità degli antagonisti indigeni adattatisi al nuovo ospite e dei rischi connessi all'utilizzo di Antagonisti Naturali in programmi di "Lotta Biologica Classica". In questo ambito sono stati svolti in Italia dal CREA in collaborazione con i Servizi Fitosanitari Regionali indagini in varie regioni che hanno permesso di rilevare come taluni Antagonisti Naturali autoctoni abbiano la capacità di attaccare e svilupparsi nelle uova della Cimice. I dati ottenuti e le osservazioni effettuate, analogamente a quanto riscontrato in altri Paesi, indicano che l'incidenza di questi agenti biologici nel controllo della cimice è da ritenersi non decisiva (ROVERSI *et al.*, 2016). Occasionalmente sono stati osservati per alcuni parassitoidi indigeni anche elevati livelli di parassitizzazione, per singole ovature o gruppi di ovature in limitati contesti ambientali, in particolare sulle uova della seconda generazione della Cimice, ma nel bilancio di un'intera stagione gli effetti sono risultati non determinanti per contenere i danni in modo significativo. A questo riguardo si segnala in particolare la specie *Anastatus bifasciatus* (Geoffroy) (Hymenoptera Eupelmidae) (ROVERSI *et al.*, 2016). Si inoltre provveduto nel corso di tale indagine a testare le potenzialità di *Ooencyrtus telenomicida* (Vassiliev) (Hymenoptera Encyrtidae) data la disponibilità di metodi standardizzati di allevamento di ospiti alternativi (BINAZZI *et al.*, 2015) e la particolare attitudine mostrata in prove preliminari di laboratorio nel parassitizzare e svilupparsi con successo a carico delle uova della cimice. Le prove preliminari svolte in frutteti del Nord Italia hanno però evidenziato i forti limiti di questa specie a svolgere la sua attività in contesti produttivi specializzati.

Decisamente migliori prospettive per la lotta contro questa nuova avversità dell'agricoltura si ritiene possano venire dalla realizzazione di interventi di "Lotta Biologica Classica" da realizzarsi con l'impiego di Parassitoidi esotici provenienti dallo stesso areale di origine della Cimice asiatica, con particolare riferimento a *Trissolcus japonicus* (Ashmead) (Hymenoptera Scelionidae), specie diffusa in Cina, Giappone e Corea, ad oggi la specie antagonista naturale maggiormente accreditata per lo sviluppo di programmi di contenimento

delle popolazioni di Cimice asiatica (YANG *et al.*, 2009; LEE, 2015; ZHANG *et al.*, 2017).

Nel quadro della definizione di un programma di Controllo Biologico di *H. halys*, dopo un primo avvio delle indagini nell'ambito del Progetto "ASPROPI" finanziato dal MIPAAF, le ricerche del Centro CREA Difesa e Certificazione (CREA-DC) sono state portate avanti con un altro Progetto MIPAAF denominato "PROTEZPIANTE", nell'ambito del quale previa acquisizione delle necessarie autorizzazioni internazionali, nazionali e regionali, è stato introdotto nel 2018 in condizioni di quarantena nei laboratori della sede di Firenze un ceppo di *Trissolcus japonicus* (Vespa samurai) dagli USA (USDA-ARS, Beneficial Insects Introduction Research Unit, Delaware), avviando test di Laboratorio per verificarne potenzialità e impatto ambientale (MIPAAFTDG/DISR/DISR05/00013647-19/04/2018). Si evidenzia che in tale contesto sono tutt'ora sottoposti a studi di laboratorio anche esemplari delle due popolazioni di *T. japonicus* e *T. mitsukurii* reperiti in natura in Italia (SABBATINI *et al.*, 2018).

I test di laboratorio condotti con individui ottenuti dalla popolazione di *T. japonicus* introdotta dagli USA hanno permesso di riscontrare una elevata efficacia di questo ooparassitoide con tempi rapidi di sviluppo e una sex ratio a netto favore delle femmine. Nell'ambito di tali studi, il CREA-DC ha avviato indagini di laboratorio anche sull'etologia e la fisiologia di *T. japonicus*, nonché sulla capacità di questo antagonista naturale di parassitizzare specie non-target mediante tests su 15 specie appartenenti alle Famm. Pentatomidae, Coereidae e Reduviidae. I risultati confermano quanto osservato di recente in altri studi condotti in Europa (HAYE *et al.*, 2020), indicando alcune specie autoctone come potenzialmente idonee allo sviluppo di *T. japonicus*, evidenziando nel contempo una preferenza per *H. halys* e in misura minore per alcune altre specie incluse tra i soli Pentatomidi. Altri studi in fase avanzata presso i laboratori CREA riguardano la biologia riproduttiva di *T. japonicus*, necessari per la definizione di programmi di allevamento massale (SABBATINI *et al.*, in preparazione).

In considerazione del reperimento in campo di popolazioni introdotte accidentalmente in Italia di *T. japonicus* e *T. mitsukurii*, è stato ritenuto necessario avviare indagini di campo il più possibile di dettaglio per definirne anche la reale distribuzione sul territorio di tali antagonisti naturali e ottenere quanti più dati sulla loro efficacia nei biocontrollo naturale della Cimice nelle aree di acclimatazione in Nord Italia in differenti contesti agricoli. A tale scopo è stata avviata una attività di collaborazione Coordinata dal "CREA Centro di Ricerca Difesa e Certificazione" con i Servizi Fitosanitari di Friuli Venezia Giulia, Veneto, Lombardia, Trento, Bolzano, Piemonte, Emilia Romagna, Umbria,

che si avvale anche del contributo del Centro CREA Difesa e Certificazione, della Fondazione E. Mach, del Centro di Ricerca di Laimburg e delle Università di Padova, Torino, Udine, Modena-Reggio Emilia, che sta monitorando nel dettaglio la diffusione naturale di questi due ooparassitoidi.

BIBLIOGRAFIA

- BERNON G., 2004 – *Biology of Halyomorpha halys. The brown marmorated stink bug*. – Final Report, United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, Center for Plant Health. Science Technology, T3P01.
- BINAZZI F., SABBATINI PEVERIERI G., SIMONI S., FROSININI R., FABBRICATORE T., ROVERSI P.F., 2015 - *An effective method for Graphosoma lineatum (L.) long-term rearing*. – Redia, 98: 155-160.
- HAYE T., MORAGLIO S.T., STAHL J., VISENTIN S., DE GREGORIO T., TAVELLA L., 2020 – *Fundamental host range of Trissolcus japonicus in Europe*. – Journal of Pest Science, 93: 171-182.
- HOEBEKE E.R., CARTER M.E., 2003 – *Halyomorpha halys (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae): A polyphagous plant pest from Asia newly detected in North America*. – Proceedings of the Entomological Society of Washington, 105: 225-237.
- LEE D.H., SHORT B.D., JOSEPH S.V., BERGH J.C., LESKEY T.C., 2013 - *Review of the biology, ecology, and management of Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) in China, Japan, and the Republic of Korea*. - Environmental Entomology 42: 627–641. <https://doi.org/10.1603/EN13006>.
- LEE D.H., 2015 – *Current status of research progress on the biology and management of Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) as an invasive species*. – Applied Entomology and Zoology, 50: 277-290.
- LESKEY T.C., NIELSEN A.L., 2018 – *Impact of the invasive Brown Marmorated Stink Bug in North America and Europe: History, Biology, Ecology and Management*. – Annual Review of Entomology 63: 599-618.
- MAISTRELLO L., DIOLI P., VACCARI G., NANNINI R., BORTOLOTTI P., CARUSO S., COSTI E., MONTERMINI A., CASOLI L., BARISELLI M., 2014 – *Primi rinvenimenti in Italia della cimice esotica Halyomorpha halys, una nuova minaccia per la frutticoltura*. – Atti Giornate Fitopatologiche, pp. 283-288.
- ORMSBY M.D., 2018 – Technical Review – *Proposed Treatments for BMSB (Halyomorpha halys (Stål); Pentatomidae)*. New Zealand Ministry for Primary Industries: Technical Document, 35 pp.
- ROVERSI P.F., BINAZZI F., MARIANELLI L., COSTI E., MAISTRELLO L., SABBATINI PEVERIERI G., 2016 - *Searching for native egg-parasitoids of the invasive alien species Halyomorpha halys Stål (Heteroptera Pentatomidae) in Southern Europe*. – Redia, 99: 63-70.
- SABBATINI PEVERIERI G., TALAMAS E., BON M.C., MARIANELLI L., BERNARDINELLI I., MALOSSINI G., BENVENUTO L., ROVERSI P.F., HOELMER K., 2018 - *Two Asian egg parasitoids of Halyomorpha halys (Stål) (Hemiptera, Pentatomidae) emerge in northern Italy: Trissolcus mitsukurii (Ashmead) and Trissolcus japonicus (Ashmead) (Hymenoptera, Scelionidae)*. – Journal of Hymenoptera Research, 67: 37-53.
- YANG Z.Q., YAO Y.X., QIU L.F., LI Z.X., 2009 - *A new species of Trissolcus (Hymenoptera: Scelionidae) parasitizing eggs of Halyomorpha halys (Heteroptera: Pentatomidae) in China with comments on its biology*. - Annals of the Entomological Society of America 102: 39–47.
- WERMELINGER B., WYNIGER D., FORSTER B., 2008 – *First records of an invasive bug in Europe: Halyomorpha halys Stål (Heteroptera: Pentatomidae), a new pest on woody ornamental and fruit trees?* – Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft, 81 (1-2): 1.8.
- ZHANG J., ZHANG F., GARIPEY T., MASON P., GILLESPIE D., TALAMAS E.J., HAYE T., 2017 - *Seasonal parasitism and host specificity of Trissolcus japonicus in northern China*. - Journal of Pest Science 90: 1127–1142. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0891-7>

134 - Pagina bianca

‘*CANDIDATUS PANTOEAE CARBEKII*’, SIMBIONTE INTESTINALE DELLA CIMICE ASIATICA: UN BERSAGLIO INDIRETTO PER UNA NUOVA STRATEGIA DI LOTTA

ELENA GONELLA^a - BIANCA ORRÙ^a - ALBERTO ALMA^a

^a Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA), Università degli Studi di Torino, Largo P. Braccini 2, 10095 Grugliasco (TO); e-mail: elena.gonella@unito.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda “Cimice asiatica *Halyomorpha halys*: nuove acquisizioni e applicazioni nella difesa”. Seduta pubblica dell’Accademia - Firenze, 22 febbraio 2019.

‘*Candidatus Pantoea carbekii*’, the gut symbiont of the brown marmorated stink bug: an indirect target for a new control strategy

A promising sustainable strategy for the containment of insect pests is symbiotic control, operated by manipulating symbiotic associations occurring between insects and bacteria. An order notably suitable as a target for symbiotic control approaches is that of Hemiptera. Indeed, these insects specially rely on bacterial symbionts for nutrient provisioning, as they often feed on nutritionally poor diets. Among Hemiptera, pentatomid stink bugs may be particularly exposed to the alteration of their symbioses due to the peculiar transmission route of their symbiotic bacteria, which are transferred via maternal secretions smeared on the egg surface during oviposition and subsequently ingested by neonates. The brown marmorated stink bug *Halyomorpha halys* (Stål) undergoes a strict symbiotic interaction with the gamma-proteobacterial ‘*Candidatus Pantoea carbekii*’ (*P. carbekii*); egg surface sterilization, by preventing its transmission, results in nymphal mortality under laboratory conditions. These scientific evidences were exploited to explore the potential creation of symbiotic control programs against *H. halys*. The suppressive effect of commercial products, available for organic farming, was evaluated on new-born nymphs of *H. halys* via *P. carbekii* elimination, by using application of micronutrient fertilizers showing antibacterial activity. Over 90% nymphal mortality was reached following exposure to zinc, copper and citric acid biocomplexes under laboratory conditions. A specific molecular diagnostic protocol confirmed that nymph death was related to the absence of *P. carbekii* live cells in the juveniles’ gut. Preliminary tests in semi-field and field conditions supported the significant reduction of living *H. halys* nymphs after application of integrated fertilizers; moreover, an initial study of the treatment effect on egg parasitoid activity showed no interference with parasitization. Taken together, the results of these investigations provide the first demonstration of the potential application of symbiotic control strategies against *H. halys* using micronutrient biocomplexes. Exploiting the accessory effect of these fertilizers for the containment of stink bug populations would allow designing a new, eco-friendly approach for pest control.

KEY WORDS: *Halyomorpha halys*, *Pantoea carbekii*, symbiosis, micronutrient biocomplexes.

INTRODUZIONE

I batteri simbiotici possono svolgere ruoli fondamentali nella fisiologia, ecologia, nutrizione e riproduzione dei loro insetti ospiti; queste strette relazioni possono condurre a elevati livelli di co-evoluzione tali da rendere la simbiosi obbligata (PROVOROV e ONISHCHUK, 2018). Un esempio è quello dei simbiotici primari, batteri che svolgono ruoli indispensabili per la vita dell’ospite, principalmente legati al rifornimento o al metabolismo di nutrienti essenziali. Questi simbiotici sono tipicamente associati ad artropodi che si nutrono su diete sbilanciate, e che quindi necessitano di apporti nutrizionali aggiuntivi forniti dai microrganismi (ALMA e GONELLA, 2013). Uno degli ordini più fortemente caratterizzati dalle relazioni con simbiotici primari è quello degli emitteri, che per la maggior parte si nutrono su substrati nutrizionalmente poveri, come la linfa delle piante. Considerata l’importanza in agricoltura degli emitteri, che rappresentano una

delle principali minacce per diverse colture, le conoscenze in merito alle simbiosi batteriche in insetti dannosi possono essere sfruttate per la creazione di approcci alternativi di lotta. Il controllo simbiotico (CS) è una strategia a basso impatto ambientale basata sulla manipolazione delle interazioni ospite-simbionte per il controllo di insetti dannosi o patogeni trasmessi da insetti (ALMA e GONELLA, 2013).

CONTROLLO SIMBIOTICO DI *HALYOMORPHA HALYS*

La cimice asiatica *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae) rappresenta un bersaglio ottimale per la creazione di protocolli di lotta basati sul controllo simbiotico, in ragione della sua elevata importanza economica in Europa e in particolar modo in Italia, a cui si accompagna un ciclo biologico, comune ai pentatomidi, caratterizzato da una peculiarità che espone l’insetto all’alterazione dei rapporti sim-

biotici in conseguenza ad interventi esogeni. I pentatomidi, infatti, dipendono per la propria sopravvivenza da simbionti primari intestinali, che risiedono nell'ultima regione dell'intestino medio, detta regione V4, e che forniscono all'ospite i nutrienti essenziali mancanti nella sua dieta (Fig. 1) (PRADO *et al.*, 2006). Tali simbionti sono trasmessi alla progenie tramite secrezioni rilasciate dalla madre sulla superficie dell'uovo durante l'ovideposizione, di cui le neanidi neonate si nutrono nelle prime ore successive alla schiusura (BANSAL *et al.*, 2014). Impedire la trasmissione dei simbionti comporta un significativo decremento della fitness, espresso come ridotta sopravvivenza delle cimici emerse e lo sviluppo di esemplari di dimensioni inferiori (OTERO-BRAVO e SABREE, 2015). Il simbionte primario di *H. halys* è il gamma-proteobatterio della famiglia delle Enterobacteriaceae '*Candidatus Pantoea carbekii*' (*P. carbekii*) (BANSAL *et al.*, 2014). È stato dimostrato come *P. carbekii* svolga un fondamentale ruolo nutrizionale, fornendo all'ospite amminoacidi, vitamine e cofattori (KENYON *et al.*, 2015). Il blocco della trasmissione verticale di *P. carbekii*, mediante sterilizzazione della superficie delle uova con candeggina, compromette la sopravvivenza delle neanidi di prima generazione e della loro progenie (TAYLOR *et al.*, 2014).

Le conoscenze a disposizione in merito all'associazione simbiotica tra *H. halys* e *P. carbekii* possono essere sfruttate per la definizione di strategie di CS basate sull'interruzione del processo di trasmissione verticale del simbionte. Prove sperimentali di applicazione di sostanze ad attività antimicrobica su ovature di *H. halys* hanno mostrato in alcuni casi un effetto soppressivo

nei confronti delle neanidi emerse da ovature trattate (MATHEWS e BARRY, 2014; TAYLOR *et al.*, 2017). La creazione di protocolli di CS sulla base di queste evidenze scientifiche richiede la valutazione dell'effetto su neanidi di *H. halys*, esercitato tramite l'eliminazione di *P. carbekii*, da parte di prodotti disponibili in commercio, la cui azione non è mai stata verificata in precedenza in relazione all'eliminazione di batteri simbionti di insetti dannosi. Il primo studio condotto in Italia, utilizzando principi attivi ammessi in agricoltura biologica in Europa, ha dimostrato un'elevata mortalità indotta nelle neanidi nate da ovature trattate con fertilizzanti integrati a base di microelementi, con comprovata attività battericida, attualmente presenti in commercio o in fase sperimentale (GONELLA *et al.*, 2019). In condizioni di laboratorio, infatti, il trattamento di ovature deposte nell'arco temporale di 24 ore e 5 giorni con fertilizzanti a base di biocomplessi contenenti miscele di microelementi come zinco, rame e manganese ha provocato una mortalità compresa tra l'80% e oltre il 90% delle neanidi prima del raggiungimento della II età, risultata significativamente superiore a quella registrata per neanidi provenienti da ovature non trattate (GONELLA *et al.*, 2019). La conferma della relazione tra la morte dei giovani e l'eliminazione di *P. carbekii* è stata fornita dalla diagnosi molecolare condotta tramite RT-PCR Real Time sull'RNA estratto dagli esemplari trattati e non, che ha evidenziato l'assenza del simbionte negli individui trattati e la sua presenza in quelli di controllo (GONELLA *et al.*, 2019). Indagini preliminari sono state effettuate in condizioni di semi-campo (su rami di nocciolo isolati in presenza di ovature di *H. halys*) e di campo (in

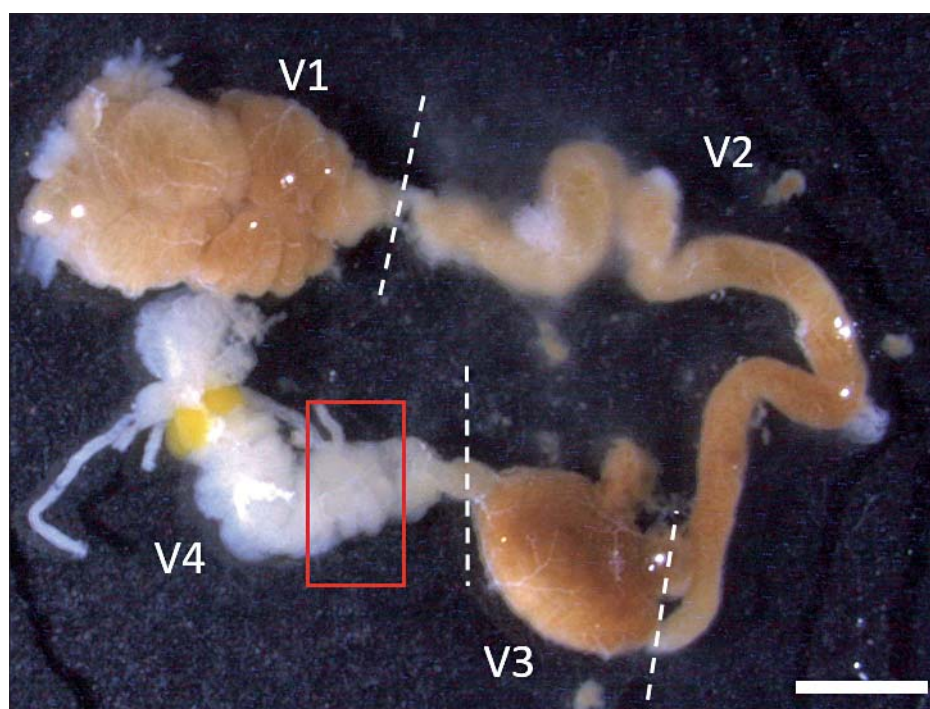


Fig. 1 – Intestino medio di pentatomide. Le diverse regioni intestinali sono indicate come V1-V4. I simbionti primari sono localizzati in cripte visibili all'interno della regione V4, mostrate nel riquadro. Barra = 2 mm.

corileti a conduzione convenzionale in zone con elevata presenza di cimice). I primi risultati disponibili suggeriscono una significativa riduzione della presenza di neanidi vitali in seguito al trattamento con biocomplessi a base di rame e zinco, sottolineando la potenziale efficacia di strategie basate sull'impiego di fertilizzanti integrati contro *H. halys*.

Un aspetto fondamentale da tenere in considerazione per introdurre il CS, tramite l'applicazione di fertilizzanti a base di microelementi come parte integrante delle strategie di lotta alla cimice asiatica, è l'impatto di questo approccio sull'agroecosistema, in particolare in riferimento alla sua integrazione con un altro importante strumento di gestione sostenibile, vale a dire la lotta biologica aumentativa mediante l'azione di parassitoidi oofagi indigeni ed esotici. Prove preliminari, condotte in condizioni di laboratorio, volte a verificare l'effetto del trattamento con fertilizzanti integrati sull'attività di specie autoctone di parassitoidi, hanno evidenziato tassi di parassitizzazione non dissimili da quelli ottenuti nelle medesime condizioni da ovature non trattate, suggerendo che i fertilizzanti integrati non hanno attività insetticida non interferendo con l'attività dei parassitoidi, pur mantenendo l'attività soppressiva nei confronti delle neanidi della cimice.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La rapida diffusione di *H. halys* in Europa ha reso necessaria la rimodulazione degli interventi di difesa in molte colture, specialmente frutticole, a causa degli ingenti danni causati da questo insetto nelle aree di nuovo insediamento. La lotta chimica, basata principalmente sull'utilizzo di insetticidi ad ampio spettro, non sempre risulta vantaggiosa (LESKEY e NIELSEN, 2018). Inoltre, presenta numerose limitazioni dovute al forte impatto sugli agroecosistemi, sulla lotta biologica e sull'entomofauna utile presente nelle zone sottoposte ai trattamenti (STAHL *et al.*, 2019). L'effetto negativo, unito alla continua riduzione di disponibilità di sostanze attive autorizzate dall'Unione Europea, richiedono una completa riconsiderazione della difesa, mediata dalla creazione di programmi di gestione colturale capaci di limitare l'impiego di insetticidi chimici.

In questo contesto, le prime osservazioni sull'efficacia dei trattamenti con fertilizzanti integrati a base di microelementi nel contenimento della cimice asiatica indicano che il CS può rappresentare una valida strategia per la gestione sostenibile di *H. halys*. Un valore aggiunto di questa strategia è dato dal fatto che le sostanze che possono essere impiegate per l'eliminazione del simbionte *P. carbekii* non sono molecole insetticide. Al contrario, questa strategia trae vantaggio dall'effetto accessorio esercitato da prodotti ideati e commercializzati come fertilizzanti, che sono stati

dimostrati anche essere in grado di limitare fortemente le popolazioni della cimice, non interferendo in alcun modo con organismi non bersaglio, compresi i parassitoidi oofagi. Ulteriori sperimentazioni in condizioni di campo sono necessarie per la definizione di protocolli di lotta, al fine di chiarire le condizioni dei trattamenti, come dosi e tempi, oltre al numero totale di applicazioni, che deve tenere in considerazione il periodo di ovideposizione di *H. halys*, che può essere compreso tra la seconda decade di giugno e la seconda decade di settembre, in alcuni casi coprendo l'intera stagione produttiva.

BIBLIOGRAFIA

- ALMA A., GONELLA E., 2013 – *I microrganismi simbiotici: una risorsa per il controllo di agenti patogeni e insetti dannosi*. - Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia. Anno LX, 2012: 159-172.
- BANSAL R., MICHEL A.P., SABREE Z.L., 2014 – *The crypt-dwelling primary bacterial symbiont of the polyphagous pentatomid pest Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae)*. - Environ. Entomol., 43: 617-625.
- GONELLA E., ORRÙ B., ALMA A., 2019 – *Egg masses treatment with micronutrient fertilizers has a suppressive effect on newly-emerged nymphs of the brown marmorated stink bug Halyomorpha halys*. - Entomol. Gen., 39: 231-238.
- KENYON L.J., MEULIA T., SABREE Z.L., 2015 – *Habitat visualization and genomic analysis of "Candidatus Pantoea carbekii," the primary symbiont of the brown marmorated stink bug*. - Genome Biol. Evol., 7: 620-635.
- LESKEY T.C., NIELSEN A.N., 2018 – *Impact of the brown marmorated stink bug in North America and Europe: history, biology, ecology, and management*. - Annu. Rev. Entomol., 63: 599-618.
- MATHEWS C.R., BARRY S., 2014 – *Compost tea reduces egg hatch and early-stage nymphal development of Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae)*. - Fla Entomol., 97: 1726-1732.
- OTERO-BRAVO A., SABREE Z.L., 2015 – *Inside or out? Possible genomic consequences of extracellular transmission of crypt-dwelling stinkbug mutualists*. - Front. Ecol. Evol., 3: 64.
- PRADO S.S., RUBINOFF D., ALMEIDA R.P.P., 2006 – *Vertical transmission of a pentatomid caeca-associated symbiont*. - Ann. Entomol. Soc. Am., 99: 577-585.
- PROVOROV N.A., ONISHCHUK O.P., 2018 – *Microbial Symbionts of Insects: Genetic Organization, Adaptive Role, and Evolution*. - Microbiol., 87: 151-163.
- STAHL J.M., GARIEPY T.D., BEUKEBOOM L.W., HAYE T., 2019 – *A molecular tool to identify Anastatus parasitoids of the brown marmorated stink bug*. - Entomol. Exp. Appl., 167: 692-700.
- TAYLOR C.M., COFFEY P.L., DELAY B.D., DIVELY G., 2014 – *The importance of gut symbionts in the development of the brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Stål)*. - PLOS ONE, 9: 335 e90312.
- TAYLOR C.M., JOHNSON V., DIVELY G., 2017 – *Assessing the use of antimicrobials to sterilize brown marmorated stink bug egg masses and prevent symbiont acquisition*. - J. Pest Sci., 90: 1287-1294.

138 - Pagina bianca