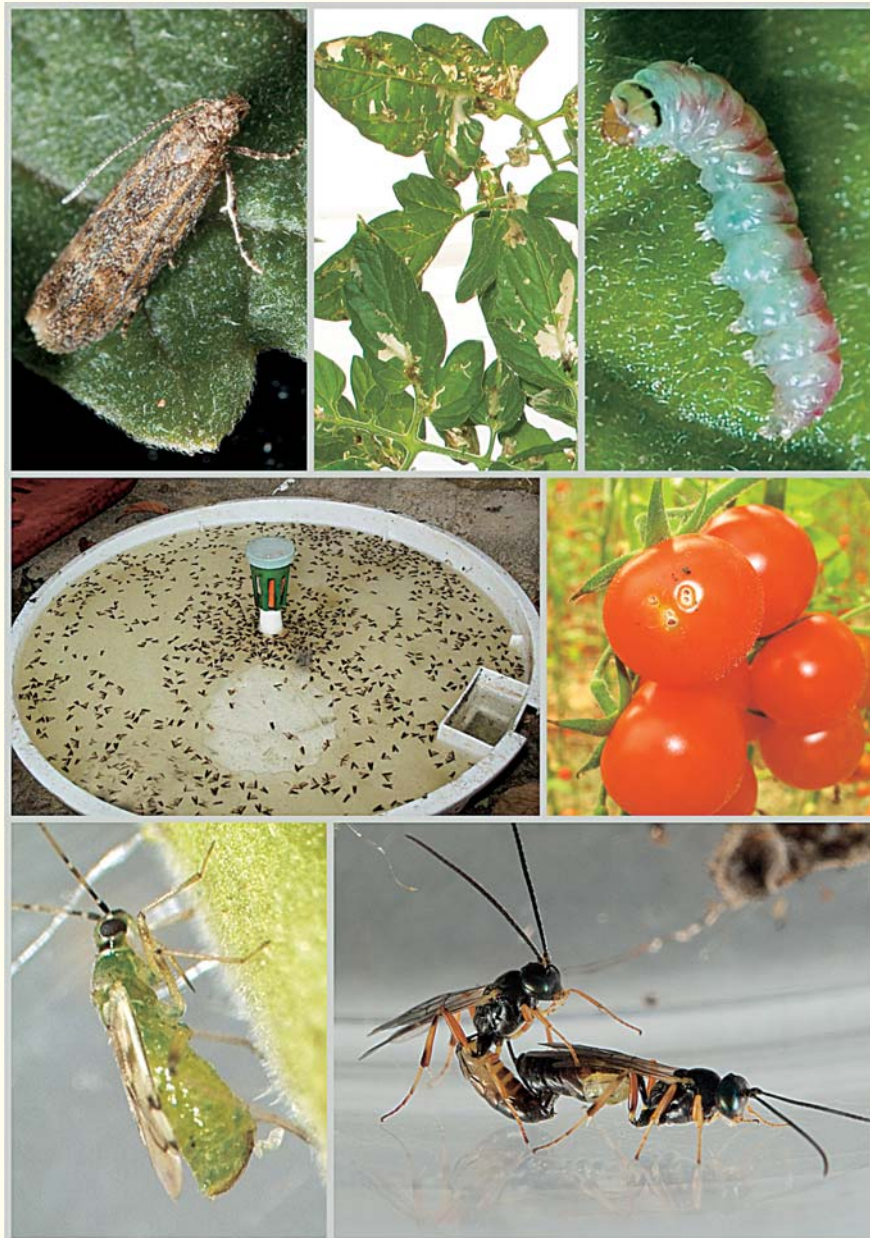




Tavole Rotonde sui maggiori problemi
riguardanti l'Entomologia Agraria in Italia
Sotto gli auspici del MIPAAF

XXII.

IL CONTRIBUTO DELLA RICERCA NEL CONTROLLO DELLA TIGNOLA DEL POMODORO *TUTA ABSOLUTA* (MEYRICK)



ISBN 978-88-96493-05-2

Estratto da:
ATTI DELLA
ACCADEMIA NAZIONALE
ITALIANA DI ENTOMOLOGIA
Rendiconti Anno LX - 2012



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

XXII.

**IL CONTRIBUTO DELLA RICERCA
NEL CONTROLLO DELLA TIGNOLA DEL POMODORO
TUTA ABSOLUTA (MEYRICK)**

Estratto da:
ATTI DELLA
ACCADEMIA NAZIONALE
ITALIANA DI ENTOMOLOGIA
Rendiconti Anno LX - 2012

© 2013 Accademia Nazionale Italiana di Entomologia
50125 Firenze - Via Lanciola 12/a

ISBN 978-88-96493-05-2

PRESENTAZIONE

La giornata scientifica che l'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia ha organizzato è dedicata all'attuale stato delle conoscenze sulla Tignola del pomodoro, Tuta absoluta (Meyrick). L'interesse per questo fitofago è conseguente alla crescente diffusione del parassita, che da specie aliena introdotta accidentalmente, sta invadendo le colture del nostro Paese, provocando danni a diverse parti della pianta, riducendo notevolmente il prodotto, con perdite economiche significative.

Gli interventi previsti hanno messo in evidenza l'origine e la diffusione della Tignola del pomodoro ed

il suo stato tassonomico. Sono stati altresì individuati i possibili parassitoidi da diffondere per limitare l'espansione del fitofago, e le prospettive ed i limiti dell'impiego dei feromoni sessuali per il controllo del parassita. Infine, sono stati indicati gli orientamenti per una lotta integrata efficace per contrastare la diffusione della Tignola.

Tutti questi dati offrono agli addetti del settore un utile aggiornamento per operare correttamente nel controllo di questo parassita.

ROMANO DALLAI

Presidente Accademia Nazionale Italiana di Entomologia

INDICE

LA TIGNOLA DEL POMODORO, *TUTA ABSOLUTA* (MEYRICK)

CARMELO RAPISARDA, GAETANO SISCARO, GIOVANNA TROPEA GARZIA, LUCIA ZAPPALÀ – <i>Origine, diffusione e valenza fitosanitaria della Tignola del pomodoro, Tuta absoluta (Meyrick)</i>	Pag. 61
LUIGI SANNINO – <i>Inquadramento sistematico e aspetti morfo-biologici di Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera, Gelechiidae)</i>	» 67
MASSIMO GIORGINI, UMBERTO BERNARDO, PAOLO ALFONSO PEDATA – <i>Il complesso dei parassitoidi di Tuta absoluta (Meyrick) in Italia</i>	» 77
LUCIA ZAPPALÀ, ANTONIO BIONDI, GAETANO SISCARO, GIOVANNA TROPEA GARZIA, KEES VAN ACHTERBERG, NICOLAS DESNEUX – <i>Adattamento di limitatori indigeni di Tuta absoluta in Italia: il parassitoide Bracon nigricans</i>	» 85
LUCIANA TAVELLA, CHIARA FERRACINI, BARBARA LETIZIA INGEGNO, MARCO MOSTI, PAOLO NAVONE, ALBERTO ALMA – <i>Adattamento di limitatori indigeni: i parassitoidi del genere Necremnus e il predatore Dicyphus errans</i>	» 95
GAVINO DELRIO, ARTURO COCCO, SALVATORE DELIPERI – <i>Prospettive e limiti dell'impiego di feromoni sessuali per la lotta contro la Tignola del pomodoro</i>	» 103
GAETANO SISCARO, ANTONIO BIONDI, KHALID HADDI, CARMELO RAPISARDA, GIOVANNA TROPEA GARZIA, LUCIA ZAPPALÀ – <i>Orientamenti di lotta integrata per il contenimento di Tuta absoluta (Meyrick) in Italia</i>	» 111
LUIGI PONTI, ANDREW PAUL GUTIERREZ, MIGUEL A. ALTIERI – <i>Holistic management of invasive species: the case study of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera, Gelechiidae)</i>	» 125
MIGUEL A. ALTIERI – <i>Insect pest Management in the agroecosystems of the future</i>	» 137

SEDUTA PUBBLICA, FIRENZE 17 FEBBRAIO 2012

Tavola Rotonda su:

LA TIGNOLA DEL POMODORO,
TUTA ABSOLUTA (MERICK)

Coordinatore:

CARMELO RAPISARDA, Accademico

ORIGINE, DIFFUSIONE E VALENZA FITOSANITARIA DELLA TIGNOLA DEL POMODORO, *TUTA ABSOLUTA* (MEYRICK)

CARMELO RAPISARDA (*) - GAETANO SISCARO (*) - GIOVANNA TROPEA GARZIA (*)
LUCIA ZAPPALÀ (*)

(*) Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agroalimentari e Ambientali (DiGeSA), Sezione Entomologia applicata, Università degli Studi di Catania, Via Santa Sofia, 100 - 95123 Catania; e-mail: rapicar@unict.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La Tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick)". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 17 febbraio 2012.

Origin, diffusion and economic importance of the Tomato leafminer, Tuta absoluta (Meyrick)

In the context of alien species which are invading Europe and the Mediterranean basin with increasingly higher frequency, the Tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick), takes on major importance for its harmfulness to the aerial organs of plants, resulting in substantial reductions of the product and leading to significant economic losses. The insect, of South American origin, appeared for the first time in the Mediterranean Region in 2006 and in a period of about five years it has spread very rapidly in all coastal areas of the basin as well as in Europe, in North Africa and the Middle East, probably facilitated by passive transports mainly caused by the trading of infested tomato fruits. Its invasiveness and the speed with which this insect is able to expand its presence in new territories leave now to predict its forthcoming spread to other major tomato-producing countries, with serious economic consequences.

KEY WORDS: South American tomato pinworm, diffusion, phytosanitary importance.

INTRODUZIONE

In un ambiente già ecologicamente stabile, l'introduzione di insetti fitofagi esotici che, inizialmente in assenza di fattori di contenimento, cercano di conquistare un proprio spazio vitale a scapito dell'equilibrio preesistente, produce quasi sempre interferenze di notevole rilievo. Nel tempo si sono verificati casi di simili invasioni e alcuni di essi hanno assunto rilevanza storico-economica. Basti pensare al dilagare in Europa della Fillossera della vite [*Daktulosphaira vitifoliae* (Fitch)] sul finire dell'Ottocento o della Dorifora della patata (*Leptinotarsa decemlineata* Say) durante la seconda guerra mondiale. Tuttavia, negli ultimi decenni, nonostante la crescente organizzazione dei controlli fitosanitari alle frontiere, le introduzioni accidentali di insetti e vari altri artropodi sono divenute sempre più frequenti, a causa dell'intensificarsi degli scambi commerciali tra i vari paesi e, più in generale, della incrementata capacità di movimento di merci e persone in ogni parte del nostro pianeta. Il riscaldamento globale, inoltre, sta facilitando l'aumento di specie invasive di nuova introduzione, consentendo possibilità di adattamento e sviluppo a insetti fitofagi di origine tropicale o subtropicale per i quali condizioni climatiche più continentali sarebbero state un tempo proibitive.

Con specifico riferimento all'Italia, in una significativa anche se non completa rassegna delle specie di insetti segnalate dal 1970, EÖRDEGH *et al.* (2009) riportano ben 322 entità. Suddividendo tali rinvenimenti per classi di dieci anni, tenendo esclusivamente conto della prima individuazione in Italia e non dell'anno di effettiva pubblicazione della segnalazione, si nota come negli anni '70 siano state intercettate 25 specie, negli anni '80 tale numero è stato di 42 specie, quindi, durante i decenni successivi, sono state riscontrate 177 specie negli anni '90 e 78 specie nel primo decennio del 2000 (non ancora concluso alla data di pubblicazione della rassegna).

Chiaramente, il rilevante numero complessivo di tali segnalazioni è anche la conseguenza dell'intensificazione delle ricerche, strettamente correlato alla crescita numerica degli studiosi di entomologia cui nei decenni scorsi si è assistito in varie istituzioni di ricerca e università italiane, che ha determinato una migliore conoscenza faunistica del nostro territorio, con intercettazione di specie mai prima segnalate anche se probabilmente da tempo presenti. In ogni caso, esso rivela in buona misura anche il progressivo aumento delle nuove introduzioni di specie "aliene" di insetti.

Non a tutte le specie entomatiche introdotte nel nostro paese negli ultimi decenni può attribuirsi l'appellativo di "invasive" e non tutte costituiscono, for-

tunatamente, una seria minaccia per le piante di interesse agrario, forestale e ornamentale. Alcune di esse, tuttavia, assumono particolare rilievo fitosanitario ed economico e la loro diffusione in Italia ha determinato una modificazione spesso profonda nelle strategie applicate per la difesa delle piante e delle colture da esse infestate. Basti ricordare, tra quelli più recenti, i casi delle introduzioni di *Anoplophora* spp. [*chinensis* Förster e *glabripennis* (Motschulsky)] (COLOMBO & LIMONTA, 2001; MASPERO *et al.*, 2007), *Cacysus marshalli* Butler (TREMATERRA *et al.*, 1997), *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte (FURLAN *et al.*, 1998), *Drosophila suzukii* Matsumura (GRASSI *et al.*, 2009), *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (MELIKA *et al.*, 2002), *Paysandisia archon* (Burmeister) (ESPINOSA *et al.*, 2003), *Phyllocnistis citrella* Stainton (ORTU & DELRIO, 1994), *Rhyncophorus ferrugineus* Olivier (SACCHETTI *et al.*, 2005), che hanno generato una grande mole di studi e di ricerche e per molte delle quali l'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia si è interessata in varie occasioni culturali.

Relativamente recente è la comparsa di *Tuta absoluta* (Meyrick) nel panorama entomologico italiano, con sue prime segnalazioni che risalgono al 2008 (TROPEA GARZIA *et al.*, 2009; VIGGIANI *et al.*, 2009) e successiva rapida diffusione, a partire dal 2009, in pressoché tutte le aree di coltivazione del pomodoro, sia per consumo fresco che da industria. La rilevante dannosità di questa specie e la sua forte capacità di adattamento alle condizioni ambientali e colturali del nostro paese hanno determinato la tempestiva sensibilizzazione di numerosi studiosi e l'avvio d'indagini volte sia ad approfondire vari aspetti della sua biologia negli ambienti di nuova colonizzazione, sia a mettere a punto idonee strategie per il contenimento delle sue infestazioni.

ORIGINE E DIFFUSIONE

Tuta absoluta è specie di origine neotropica, e al Sud America la sua diffusione è rimasta limitata fino alla metà dello scorso decennio. Descritta sulla base di un singolo esemplare di sesso maschile rinvenuto sulle Ande peruviane (MEYRICK, 1917), essa è stata successivamente segnalata in numerosi altri paesi sudamericani (Argentina, Bolivia, Brasile, Cile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Uruguay, Venezuela) (DESNEUX *et al.*, 2010), in molti dei quali viene riportata quale fitofago di primario interesse a partire dagli anni '80 (BARRIENTOS *et al.*, 1998).

La prima indicazione della sua presenza al di fuori del continente di origine risale alla fine del 2006,

allorquando *T. absoluta* è stata segnalata in Spagna orientale, nella provincia di Castellón de la Plana (URBANEJA *et al.*, 2007). Da quel momento, la specie ha iniziato una rapida colonizzazione di tutto il bacino del Mediterraneo (Albania, Algeria, Bosnia, Bulgaria, Cipro, Croazia, Egitto, Erzegovina, Francia, Grecia, Israele, Italia, Kosovo, Libia, Malta, Marocco, Montenegro, Portogallo, Romania, Serbia, Spagna, Tunisia), altresì rivelando forte capacità di invasione di pressoché tutto il continente europeo (Danimarca, Germania, Gran Bretagna, Lituania, Paesi Bassi, Russia, Svizzera, Ungheria, con possibile presenza anche in Austria, Belgio, Estonia, Finlandia, Irlanda, Lettonia, Lussemburgo, Polonia, Repubblica Ceca, Slovacchia, Slovenia, Svezia), dell'Africa sub-mediterranea (Sudan) e del Medio Oriente (Arabia Saudita, Bahrain, Giordania, Iraq, Iran, Kuwait, Libano, Siria, Turchia), dove il lepidottero risulta oggi diffuso (BANIAMERI, 2011; BECH, 2011; DESNEUX *et al.*, 2011; TROPEA GARZIA *et al.*, 2012).

Diversi studi sono stati avviati al fine di individuare le possibili vie di colonizzazione seguite dall'insetto. In particolare, analisi comparative fra popolazioni mediterranee e sudamericane condotte da CIFUENTES *et al.* (2011), non soltanto hanno rivelato omogeneità genetica fra popolazioni presenti negli ambienti di nuova diffusione, ma hanno anche dimostrato analoga variabilità genetica nelle popolazioni mediterranee e in quelle del continente ritenuto d'origine, ipotizzando di conseguenza come il recente processo di invasione del bacino del Mediterraneo e delle regioni limitrofe sia verosimilmente avvenuto a partire da un'unica introduzione dal Sud America. Tale ipotesi, tuttavia, è il risultato di uno studio ancora non completo, basato esclusivamente sulla valutazione di pochi marcatori molecolari (ITS1, ITS2, COI); l'estensione di tali ricerche e l'applicazione di ulteriori marcatori genetici (quali soprattutto i microsatelliti) potranno verosimilmente aprire nuove prospettive alle conoscenze su tale aspetto.

Nelle aree di nuova colonizzazione, il gelechide ha rivelato grande capacità di adattamento a diverse condizioni agro-ecologiche, con elevato potenziale riproduttivo e rilevante dannosità economica, così manifestando, tanto quanto già fatto nel corso degli ultimi decenni in Sud America, il suo carattere di specie invasiva.

L'INVASIONE DEL BACINO MEDITERRANEO: CAUSE E DINAMICHE

Per l'interesse fitosanitario assunto in Sud America, le sue caratteristiche biologiche e l'elevato rischio

d'introduzione in Europa e nel bacino del Mediterraneo, da parte dell'European and Mediterranean Plant Protection Organisation (EPPO) *T. absoluta* era stata già nel 2004 annoverata tra gli insetti da quarantena e inserita nella lista A1 (EPPO, 2005), cioè quella relativa agli organismi nocivi a rischio d'introduzione ma non ancora segnalati nei paesi membri dell'EPPO. A ciò, tuttavia, non è seguito l'inserimento ufficiale della specie negli aggiornamenti degli allegati alla Direttiva 2000/29/EC, concernente le misure di protezione contro l'introduzione e la diffusione nell'Unione Europea di organismi nocivi ai vegetali o ai prodotti vegetali; e questo ha, di conseguenza, impedito la messa in atto di tempestive misure di controllo alle frontiere da parte dei servizi fitosanitari dei diversi paesi, favorendo quindi l'ingresso e la diffusione dell'insetto nella regione mediterranea.

Tuttavia, la rapidità della sua diffusione in Europa e nel bacino del Mediterraneo soltanto in poco più di un quinquennio non può trovare spiegazione solo nella fragilità delle barriere fitosanitarie ma in una serie di cause biotiche e abiotiche che ne hanno consentito l'efficace insediamento. Il lepidottero, infatti, può compiere solo modesti spostamenti attivi, dovuti esclusivamente alla capacità di volo degli adulti, e deve, invece, la gran parte della sua diffusione a spostamenti passivi, operati sia da cause naturali, quali il vento, ma soprattutto antropiche, quali il commercio di frutti di pomodoro infestati. In ogni caso, tale prevalente componente passiva della diffusione di *T. absoluta* non può da sola spiegare lo stabile insediamento verificatosi in Europa anche in aree caratterizzate da valori degli indici eco-climatici di distribuzione lontani dai parametri tipici dell'insetto (DESNEUX *et al.*, 2010). Ciò può lasciare pensare a varie possibili cause del fenomeno, tra le quali, oltre al generico riferimento ai mutamenti climatici in corso, trovano spazio i possibili mutamenti evolutivi nelle caratteristiche biologiche intrinseche della specie, l'assenza negli ambienti di nuova introduzione di nemici naturali co-evoluti con la specie introdotta, o la presenza, negli stessi ambienti, di sistemi intensivi di coltivazione del pomodoro che incrementano le capacità trofiche e riproduttive del nuovo arrivato.

La mancanza di efficaci nemici naturali nelle aree di nuova colonizzazione, congiuntamente alle iniziali difficoltà di applicazione di adeguate misure fitosanitarie, rappresentano senza dubbio cause di primaria importanza nel conferire a *T. absoluta* un carattere di forte competizione alla sua prima comparsa in una determinata regione. Ne è esempio l'attuale dinamica di diffusione dell'insetto nella regione Mediterranea, che ha seguito una direttiva “ovest-

est”, con comparsa iniziale nella Penisola Iberica e successiva progressiva invasione, nell'arco di 2-4 anni, della rimanente parte del bacino, fino al Medio Oriente. Allo stato attuale, *T. absoluta* mostra elevata pressione demografica e ingenti livelli d'infestazione nei paesi del Mediterraneo orientale (di più recente colonizzazione), mentre manifesta già livelli di popolazione più contenuti nel Mediterraneo occidentale, dove vari nemici naturali indigeni hanno instaurato relazioni simbiotiche con il nuovo ospite (URBANEJA *et al.*, 2012; ZAPPALÀ *et al.*, 2012) e dove, soprattutto, sono state messe a punto iniziali idonee strategie di contenimento delle sue popolazioni.

INTERESSE FITOSANITARIO

L'attacco di *T. absoluta* agli organi epigei (foglie, steli, frutti) delle piante infestate si traduce in rilevanti riduzioni delle rese in prodotto commerciabile, in qualsiasi tipologia di coltivazione del pomodoro (sia in pieno campo che in serra) e per qualsiasi destinazione d'impiego (vivaistico, consumo diretto o trasformazione). A tale dannosità diretta deve essere aggiunta anche quella, non meno importante, derivante dall'incremento dei costi per la difesa fitosanitaria che si è prontamente registrato nelle aree mediterranee invase dal fitofago. Con riferimento a tale aspetto, è assai importante ricordare anche l'impatto negativo che l'infestazione del gelechide presenta sulla possibilità di applicare strategie produttive basate sull'adozione di consolidati metodi biologici e integrati di controllo dei fitofagi del pomodoro, che, in presenza del nuovo insetto, vengono spesso accantonati a vantaggio della lotta chimica, con gravi ripercussioni di ordine tecnico (comparsa di popolazioni resistenti agli insetticidi) e ambientale ma anche con sensibili riduzioni di pregio commerciale delle produzioni.

A livello globale, il problema deve essere, ovviamente, esaminato in maniera prospettica, considerando che le più elevate produzioni di pomodoro vengono proprio realizzate in aree geografiche (Cina, Stati Uniti d'America, India) non ancora interessate dalla presenza di *T. absoluta* ma che potrebbero essere invase in tempi relativamente brevi. Risulta, quindi, estremamente allarmante l'ipotesi formulata da DESNEUX *et al.* (2011) che, attraverso l'ulteriore diffusione del gelechide anche in tali paesi, la superficie mondiale coltivata a pomodoro e colpita dalla dannosa presenza del fitofago possa passare dagli attuali 0,95 milioni di ettari (21,5% della superficie mondiale coltivata a pomodoro e che include anche l'ampliamento geonemico di *T. absoluta* verificatosi nel quinquennio 2006-2011) a

3,73 milioni di ettari (84,9% della superficie mondiale coltivata a pomodoro, che conseguirebbe all'ulteriore invasione potenziale di 2,78 milioni di ettari). In termini economici, secondo gli stessi autori, ciò si tradurrebbe in un incremento globale di prodotto "infestato" dagli attuali 41 milioni di tonnellate (27,2% della produzione mondiale di pomodoro) a 133,7 milioni di tonnellate (87,4% della produzione mondiale).

Da quanto riportato, traspare chiaramente l'importanza fitosanitaria di questo fitofago e l'interesse che ad esso viene rivolto da parte della comunità scientifica internazionale, che si riflette, oltre che nel varo di specifici progetti di ricerca finanziati a vario livello sia nazionale che internazionale, anche nell'organizzazione di svariati incontri di studio; in tale contesto, oltre a consentire la raccolta e il raffronto reciproco dei risultati sperimentali che, su numerosi aspetti riguardanti il lepidottero, vengono ottenuti in diverse realtà geografiche e produttive, si persegue l'obiettivo di creare o consolidare le opportune e necessarie sinergie tra gruppi di ricerca che a vario livello operano sull'argomento, nell'intento di pervenire a una migliore conoscenza delle caratteristiche biologiche di *T. absoluta* e alla possibilità di un controllo sostenibile della sua diffusione e delle sue infestazioni.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato realizzato con il supporto finanziario del progetto PRIN "Biologia e controllo integrato di *Tuta absoluta* (Meyrick) in Italia".

RIASSUNTO

Nel contesto delle specie esotiche che, con frequenza sempre più elevata, stanno invadendo l'Europa e il bacino del Mediterraneo, la Tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick), assume importanza di rilievo per la sua notevole dannosità a carico di tutti gli organi epigei delle piante, che determina ingenti decurtazioni di prodotto e conseguenti ingenti perdite economiche. L'insetto, di origine sud-americana, è apparso per la prima volta nella Regione Mediterranea nel 2006 e nell'arco di circa un quinquennio si è diffuso con estrema rapidità in tutte le aree costiere di tale bacino nonché in Europa, in Africa settentrionale e in Medio Oriente, in ciò probabilmente facilitato dagli involontari scambi commerciali di frutti di pomodoro infestati. La sua invasività e la rapidità con cui riesce in breve tempo a espandere la sua presenza in nuovi territori lasciano, adesso, prevedere una sua prossima diffusione verso altri importanti paesi produttori di pomodoro, con gravi ripercussioni per l'economia mondiale.

BIBLIOGRAFIA

- BANIAMERI V., 2011 – *First report of Tuta absoluta in Iran and initial control strategies*. - EPPO/IOBC/FAO/NEPPO Joint International Symposium on management of *Tuta absoluta*, Agadir (Marocco), 16-18/11/2011: 21.
- BARRIENTOS Z.R., APABLAZA H.J., NORERO S.A., ESTAY P.P., 1998 – *Temperatura base y constante térmica de desarrollo de la polilla del tomate*, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). - Ciencia e Investigación Agraria, 25: 133-137.
- BECH R.A., 2011 – *Federal import quarantine order for host materials of tomato leafminer*, *Tuta absoluta* (Meyrick). - Plant Protection and Quarantine, USDA-APHIS.
- CIFUENTES D., CHYNOWETH R., BIELZA P., 2011 – *Genetic study of Mediterranean and South American populations of tomato leafminer Tuta absoluta* (Povolny, 1994) (Lepidoptera: Gelechiidae) using ribosomal and mitochondrial markers. - Pest Manag. Sci., 67: 1155-1166.
- COLOMBO M., LIMONTA L., 2001 – *Anoplophora malasiaca Thomson* (Coleoptera Cerambycidae Lamiinae Lamiini) in Europe. - Boll.Zool.agr.Bachic., 33 (1): 65-68.
- DESNEUX N., LUNA M.G., GUILLEMAUD T., URBANEJA A., 2011 – *The invasive South American tomato pinworm, Tuta absoluta, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond: the new threat to tomato world production*. - J. Pest Sci., 84: 403-408.
- DESNEUX N., WAJNBERG E., WYCKHUYS K.A.G., BURGIO G., ARPAIA S., NARVÁEZ-VÁSQUEZ C.A., GONZÁLEZ-CABRERA J., RUESCAS D.C., TABONE E., FRANDON J., PIZZOL J., PONCET C., CABELLO T., URBANEJA A., 2010 – *Biological invasion of European tomato crops by Tuta absoluta: ecology, geographic expansion and prospects for biological control*. - J. Pest Sci., 83: 197-215.
- EÖRDEGH F.R., VALENTINI M., JUCKER C., 2009 – *Anagrafe delle specie segnalate dal 1970 [323-404]*. - In: Jucker C., Barbagallo S., Roversi P.F., Colombo M. (Eds.), *Insetti esotici e tutela ambientale – Morfologia, biologia, controllo e gestione*, Arti Grafiche Maspero Fontana, Cernentate (CO): 416 pp.
- EPPO, 2005 – *Data sheets on quarantine pests: Tuta absoluta*. - OEPP/EPPO Bull., 35: 434-435.
- ESPINOSA B., DI MUCCIO P., RUSSO G., 2003 – *Paysandisia archon, una minaccia per le nostre palme*. - L'Informatore Agrario, 59 (7): 61.
- FURLAN L., VETTORAZZO M., ORTEZ A., FRAUSIN C., 1998 – *Diabrotica virgifera virgifera è già arrivata in Italia*. - Inf.tore fitopatol., 48 (12): 43-44.
- GRASSI A., PALMIERI L., GIONGO L., 2009 – *Nuovo fitofago per i piccoli frutti in Trentino*. - Terra Trentina, 55 (10): 19-23.
- MASPERO M., JUCKER C., COLOMBO M., 2007 – *First record of Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) (Coleoptera Cerambycidae Lamiinae Lamiini) in Italy. - Boll.Zool.agr.Bachic., 39 (2): 161-164.
- MELIKA G., BRUSSINO G., BOSIO G., CSOKA G., 2002 – *Chestnut gall wasp* (Dryocosmus kuriphilus Yasumatzu), *a new pest of chestnut in Europe*. - Novenyvedelem, 39 (2): 59-63.
- MEYRICK E., 1917 – *Descriptions of South American Micro-Lepidoptera*. - Trans. R. entom. Soc. London, 65 (1): 1-52.
- ORTU S., DELRIO G., 1994 – *La minatrice serpentina degli agrumi in Italia: Phyllocnistis citrella Stainton* (Lep.: Gracillariidae: Phyllocnistinae). - Inf.tore fitopatol., 45 (3): 38-41.

- SACCHETTI P., CAMERA A., GRANCHIETTI A., ROSI M.C., MARZIALETTI P., 2005 – *Prima segnalazione in Italia del curculionide delle palme, Rhynchophorus ferrugineus*. - <http://www.cespevi.it/art/rhynco.htm>.
- TREMATERRA P., ZILLI A., VALENTINI V., MAZZEI P., 1997 – *Cacyreus marshalli, un lepidottero sudafricano dannoso ai gerani in Italia*. - *Inf.tore fitopatol.*, 47 (7-8): 2-6.
- TROPEA GARZIA G., SISCARO G., COLOMBO A., CAMPO G., 2009 - *Rinvenuta in Sicilia Tuta absoluta*. - *L'Informatore Agrario*, 65 (4): 71.
- TROPEA GARZIA G., SISCARO G., BIONDI A., ZAPPALÀ L., 2012 – *Tuta absoluta, a South American pest of tomato now in the EPPO region: biology, distribution and damage*. - *EPPO Bulletin*, 42 (2): 205-210.
- URBANEJA A., GONZÁLEZ-CABRERA J., ARNÓ J., GABARRA R., 2012 – *Prospects for the biological control of Tuta absoluta in tomatoes of the Mediterranean basin*. - *Pest Manag. Sci.*, 68: 1215-1222.
- URBANEJA A., VERCHER R., NAVARRO V., GARCÍA MARÍ F., PORCUNA J.L., 2007 – *La polilla del tomate, Tuta absoluta*. - *Phytoma España*, 194: 16-23.
- VIGGIANI G., FILELLA F., DELRIO G., RAMASSINI W., FOXI C., 2009 – *Tuta absoluta, nuovo lepidottero segnalato anche in Italia*. - *L'Informatore Agrario*, 65 (2): 66-68.
- ZAPPALÀ L., BERNARDO U., BIONDI A., COCCO A., DELIPERI S., DELRIO G., GIORGINI M., PEDATA P.A., RAPISARDA C., TROPEA GARZIA G., SISCARO G., 2012 – *Recruitment of native parasitoids by the exotic pest Tuta absoluta (Meyrick) in Southern Italy*. - *Bull. Insectol.*, 65: 51-61.

INQUADRAMENTO SISTEMATICO E ASPETTI MORFO-BIOLOGICI DI *TUTA ABSOLUTA* (MEYRICK) (LEPIDOPTERA, GELECHIIDAE)

LUIGI SANNINO (*)

(*) *Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura - CAT, Unità di ricerca per le colture alternative al tabacco, via P. Vitiello 108, 84018 Scafati (SA), luigi.sannino@entecra.it*
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La Tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick)". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 17 febbraio 2012.

Notes on taxonomy, morphology and biology of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera, Gelechiidae)

Tuta absoluta was described for the first time in 1917 as *Phthorimaea*; afterwards, in 1962, it was included in *Gnorimoschema* and then in *Scrobipalpula* and, since 1993, in *Tuta*. The adult is 5-6 mm long with wingspan from 10-13 mm. Grey with beige shades, it has fringed wings with a series of dark stripes arranged like rays in the apical half of the forewings. The egg, 0.35-0.38 mm long and 0.22-0.25 mm wide, is bright white or barely yellowish when laid, tending to brown as it matures. The larva is up to 7-8 mm long; its body ground color is yellowish or greenish and a variable intensity of pink is often present on the back; the head is yellowish, while the prothoracic shield is light with the only latero-posterior edge brown or blackish. The pupa is 3.8-4.5 mm long and 1.3-1.5 mm wide, with the cremaster consisting of a very short, stocky spine arranged in the apico-dorsal position and in a series of 10-11 pairs of rigid and hooked bristles located both on the dorsal and the ventral side. The number of eggs laid per female varies from a few tens to a few hundreds. The incubation period is completed in 5-6 days from April to October and in 8-10 days during the rest of the year. The duration of the larval stage, which normally includes four instars, ranges on average from 13 to 37 days. Pupation, which takes place in the soil or on the plant, varies between 8-12 days in the generations through the year and about 65 days in the hibernation period. In Scafati (province of Salerno, South Italy), where the insect showed a number of yearly generations ranging from 6 to 9, the total length of life cycle varied from 40 days, in the 1st and 8th generations, to 28 days, in the 6th generation, until 60 days in the latest one. Adult moth activity is almost continuous throughout the year, peaking from August to October and sharply decreasing in November-December. A nonlinear relationship was found between adult catches by trap and the temperature: catches increase when the average daily temperature rises to 23-26 °C, then they show a steady trend or decrease in the hottest period.

KEY WORDS: *Tuta absoluta*, morphology of various stages, life cycle, adult monitoring.

INTRODUZIONE

La tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera Gelechiidae), è stata causa di ingenti danni alle colture sin dalla sua prima comparsa in Europa (URBANEJA *et al.*, 2007; GUENAOUI, 2008; ARNÓ *et al.*, 2009; GERMAIN *et al.*, 2009; POTTING, 2009; SANNINO & ESPINOSA, 2009; TROPEA GARZIA *et al.*, 2009; VIGGIANI *et al.*, 2009). In Italia si è diffusa a partire dal 2008 in tutte le principali aree di coltivazione, ma è soprattutto nel Meridione, e in particolare lungo le fasce costiere, che ha trovato il suo habitat preferito, grazie al clima mite e all'abbondanza delle colture protette. Qui, anche a causa dell'iniziale scarsa conoscenza del fitofago, le infestazioni sono state particolarmente intense ed estese nel biennio 2008-2009, provocando perdite stimate fino al 60-70% del prodotto potenziale. Con i suoi attacchi in campo e in serra, dal trapianto fino alla raccolta, la nuova tignola ha ridotto significativamente la resa produttiva delle colture, sia compromettendo lo sviluppo vegetativo della pianta minando le foglie, sia danneggiando direttamente i frutti.

Nel triennio 2010-2012, nonostante una generale riduzione dei danni (grazie all'impiego di reti protettive per le colture in serra e alle applicazioni preventive di insetticidi) la presenza dell'insetto è stata comunque consistente nei periodi più caldi dell'anno e ha richiesto ripetuti interventi di lotta per contenere le popolazioni a bassi livelli.

In questi anni numerose ricerche sono state condotte in vari paesi per migliorare le conoscenze sul gelechide (MIRANDA *et al.*, 1998; GIUSTOLIN *et al.*, 2001; CABELLO, 2009; BELDA *et al.*, 2010; BIELZA, 2010; CALVO *et al.*, 2010; DESNEUX *et al.*, 2010; GABARRA & ARNÓ, 2010; GARCIA & VERCHER, 2010; GUENAOUI *et al.*, 2010; MARTÍ MARTÍ *et al.*, 2010). In Italia, oltre all'ampia sperimentazione per individuare metodi e mezzi di lotta efficaci (FINOCCHIARO & SBRISCA FIORETTI, 2010; BIONDI *et al.*, 2011; COCCO *et al.*, 2011; SANNINO *et al.*, 2012a, 2012b, 2012c), sono stati realizzati studi per definire il profilo bio-etologico dell'insetto nelle regioni meridionali (ESPINOSA & SANNINO, 2009a, 2009b; CAPONERO, 2010; SANNINO & ESPINOSA, 2010a; TROPEA GARZIA *et al.*, 2011) e in Sardegna (FOIS *et al.*, 2011). Di seguito, oltre a notizie generali sull'in-

setto, si riassumono i risultati di osservazioni biologiche svolte nell'area costiera salernitana.

INQUADRAMENTO SISTEMATICO

Con quasi 5.000 specie descritte i Gelechiidae sono indubbiamente una delle famiglie più numerose dell'ordine Lepidoptera e, al tempo stesso, una delle meno studiate, sia per le piccole dimensioni, sia per l'uniformità di aspetto dei suoi rappresentanti: si stima che gli esemplari tuttora giacenti presso gli specialisti e non ancora determinati ammonterebbero a svariate migliaia. La maggior parte dei Gelechidi è propria dell'Asia e delle Americhe mentre solo una minoranza (ca 700 specie) è presente in Europa. La fauna italiana, con ca 360 entità accertate, è comunque la più ricca del continente (BALDIZZONE *et al.*, 1995).

Tra le diverse sottofamiglie in cui vengono suddivisi i Gelechiidae (cfr. anche BLAND *et al.*, 2002), due spiccano per consistenza numerica e importanza economica, Gelechiinae e Chelariinae; in particolare all'interno della prima è compresa la tribù degli Gnorimoschemini, che raggruppa le specie dannose alle colture ortive. Una vasta e completa revisione degli Gnorimoschemini europei è stata recentemente pubblicata da HUEMER & KARSHOLT (2010).

Il regime dietetico delle larve di Gelechidi è molto vario: la maggioranza di esse vive su piante verdi, alimentandosi dei vari organi (foglie, steli, radici, frutti e semi), ma alcune sono tipiche dei vegetali secchi immagazzinati, come ad esempio la cosmopolita *Sitotroga cerealella* (Olivier), vera tignola del grano, che attacca i cereali più svariati e in particolare le cariossidi di grano, mais e orzo, svuotandole. Le specie nocive alle coltivazioni sono relativamente poche (30-35), ma molto pericolose (SANNINO & ESPINOSA, 2010b); tra queste *Phthorimaea operculella* (Zeller) (tignola della patata), *Anarsia lineatella* Zeller (tignola del pesco), *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (bruco rosa del cotone) e *Scrobipalpa ocellatella* (Boyd) (tignola della bietola) rivestono grande interesse agrario nelle aree temperate e calde della terra. Alla lista delle specie europee ultimamente si è aggiunta anche *Tuta absoluta*, tignola originaria del Sud America, la cui presenza in Europa è stata rilevata inizialmente in Spagna nel 2006. Descritta per la prima volta nel 1917 dall'entomologo inglese E. Meyrick, questa specie fu inclusa prima nel genere *Phthorimaea* e poi, nel 1962, da Clarke, in *Gnorimoschema* (CLARKE, 1962); due anni dopo lo specialista cecoslovacco Povolný istituiva, nell'ambito della sottofamiglia Gelechiinae, la tribù degli Gnorimoschemini, ascrivendo la predetta specie al

genere *Scrobipalpa* e successivamente a *Scrobipalpuloides*. È solo nel 1993 che lo stesso autore recupera il vecchio genere *Tuta* (istituito da Strand nel 1911) e vi include, tra le altre specie, anche *absoluta* (POVOLNÝ, 1967a, 1967b, 1975, 1993, 1994).

NOTIZIE MORFOLOGICHE

Adulto - Grigio con sfumature beige, è caratterizzato, come è abbastanza tipico nei Gelechidi, da ali lungamente frangiate: quelle anteriori sono strette e lanceolate, mentre le posteriori, vagamente subtrapezoidali, presentano l'angolo apicale prominente e digitiforme. Nell'area apicale dell'ala anteriore si osservano, negli individui freschi, una serie di strie scure disposte a raggiera su fondo giallo-ocraceo, strie dovute a squame grigie inserite lungo i rami terminali delle nervature alari; nella metà basale vi è un numero variabile di macule scure, più o meno sfumate e distinte. Come nella gran parte dei Gelechidi, i palpi labiali sono composti da tre articoli, col penultimo rivestito da squame grosse e spesso irte, e l'ultimo affusolato e ricurvo verso l'alto, giungente all'altezza del margine superiore degli occhi. I palpi mascellari, di quattro segmenti, sono ridottissimi. Le antenne sono semplici ed hanno anellature bianche e nere alternate, ben nette. Tibie e tarsi sono superiormente nerastri con sottili anellature bianche. Gli organi genitali maschili presentano valve di aspetto claviforme appena ricurve, setolose nella parte superiore, con un grosso dente sul lato interno a metà della loro lunghezza. I due sessi possono distinguersi esteriormente, oltre che per la diversa conformazione dei frenuli (composti da un'unica grossa setola nei maschi e da un fascetto di tre setole sottili nelle femmine), per il diverso rivestimento del lato inferiore dell'addome, che si presenta nei maschi bianco sporco con diffuse squamule grigie sui lati, nelle femmine bianco candido con quattro serie sublaterali ben nette di linee oblique nere (SANNINO & ESPINOSA, 2010b). L'adulto, che ad ali chiuse si presenta di aspetto bastoncellare, è lungo 5-6 mm e ha un'apertura alare di 10-13 mm.

Uovo - Ellittico-subcilindrico, con le estremità polari alquanto smussate. Lungo 0,35-0,38 mm e largo 0,22-0,25 mm è di colore bianco brillante o appena giallognolo alla deposizione per tendere al brunastro verso la maturità. Il corion evidenzia a forte ingrandimento una microscultura a maglie reticolari.

Larva - Di dimensioni non superiori ai 7-8 mm, la larva di *T. absoluta* presenta colore di fondo gialliccio o verdognolo per quasi tutto lo sviluppo,

evidenziando verso la maturità una sfumatura dorsale di tonalità rosata più o meno intensa (solitamente frammentata in macule o in bande trasversali). Il capo, almeno a partire dalla 3^a età, si presenta giallo, annerito sui lati e posteriormente. La placca protoracica, assai caratteristica, è chiara con il solo bordo latero-posteriore castano o nericcio. La placca sopranale è incospicua e pressoché concolore col fondo.

Sullo sclerite prespiracolare (ai lati del protorace), di forma subtriangolare, sono impiantate tre setole laterali (*L1*, *L2*, *L3*). Gli uncini delle pseudozampe ventrali (sul III, IV, V e VI urite) sono disposti in serie circolare, con elementi (15-20) di grandezza variabile; a partire dalla 2^a età, le corone di uncini tendono ad aprirsi sul lato esterno, tanto che nelle larve di sviluppo avanzato risultano aperte per almeno ¼ della circonferenza. Gli uncini delle pseudozampe anali (sul X e ultimo segmento), sono invece disposti in serie arcuata, in numero di 10-12.

Crisalide - Affusolata, lunga 3,8-4,5 mm e larga 1,3-1,5 mm; verdognola appena formata ma subito tendente al nocciola sempre più intenso, poi castana a maturità. Il cremaster, dispositivo atto a facilitare l'aggancio al substrato (soprattutto nella fase dello sfarfallamento), è osservabile sul X segmento addominale; è costituito da una brevissima e tozza spinetta disposta in posizione apico-dorsale e da una serie di 10-11 coppie di setole rigide e uncinatate situate sia sul lato dorsale, in prossimità della spinetta (4 coppie), che sul lato ventrale, ai lati dell'incisione anale (6-7 coppie).

COMPORTAMENTO BIO-ECOLOGICO

T. absoluta è specie essenzialmente legata alle solanacee, in primo luogo al pomodoro e solo saltuariamente a melanzana, patata, peperone e alchechengi (*Physalis peruviana*). Sono stati segnalati, comunque, occasionali attacchi anche a piante di altre famiglie botaniche, tra le quali fagiolo e cavolo (SPERANZA, 2009).

Come molti altri gelechidi, l'adulto di *T. absoluta* ha abitudini crepuscolari e notturne, restando di giorno nascosto tra la vegetazione o al suolo, con le ali disposte aderenti al corpo e le antenne poggiate sopra; se disturbato spicca brevi voli, zigzaganti e bassi. La temperatura e l'alimentazione influiscono notevolmente sulla longevità dell'adulto, che vive fino a sei settimane a 15 °C e solo pochi giorni (4-5) a 35 °C.

Gli adulti di *T. absoluta* sono in grado di riprodursi già dopo 24 ore dallo sfarfallamento. La

fecondità della femmina si aggira mediamente intorno a 100-150 uova, con un minimo di 40 e un massimo di 260 circa. Il periodo di ovideposizione può prolungarsi per una settimana, con un picco tra il terzo e il quinto giorno.

Le uova sono deposte sulle parti epigee della pianta, isolatamente o in gruppi disordinati di 2-5 elementi. Sulle piante piccole vengono preferiti i palchi apicali, mentre sui frutti le ovideposizioni hanno luogo preferibilmente su quelli ancora verdi e in particolare sul calice.

La durata dello sviluppo embrionale oscilla da un minimo di 4-5 giorni a 30 °C a un massimo di 10-11 giorni a 15 °C. Il limite termico inferiore è di 12 °C, quello superiore è di 35 °C, ma un tasso di mortalità elevato si verifica in corrispondenza dei valori estremi (BENTANCOURT *et al.*, 1996). IMENES *et al.* (1990) registrarono per il completamento dello stadio di uovo una durata di 5-6 giorni. A Scafati (prov. Salerno), dove abbiamo allevato l'insetto all'aperto su piante di pomodoro nel biennio 2009-2010, l'incubazione si è completata in 5-6 giorni nel periodo da aprile a ottobre e in 8-10 giorni nella rimanente parte dell'anno (Tabella 1).

La larva neonata, prima di iniziare lo scavo di una mina, esplora il substrato per diversi minuti (fino a ca 30) per trovare il punto idoneo alla penetrazione. Sulle foglie pratica un foro di 0,15-0,20 mm di diametro e, nutrendosi del solo parenchima, scava una mina lineare e sottilissima, che in seguito si slarga diventando di aspetto vescicoso. Le gallerie prodotte sui frutti, di calibro non superiore a 1-1,5 mm, raramente penetrano oltre il centimetro e mezzo di profondità. I fori d'ingresso, se disposti intorno al calice, sono inizialmente poco evidenti, perché coperti dai sepal, ma diventano in pochi giorni manifesti in quanto l'area interessata invaia precocemente, evidenziando anche un accumulo di escrementi. Gli attacchi alle foglie risultano economicamente dannosi solo in presenza di un elevato numero di larve. Le rosure sulle bacche sono più gravi, perché portano quasi sempre allo scarto del prodotto. Il danno è quantificabile calcolando non solo la percentuale di frutti colpiti alla raccolta, ma anche quelli caduti a terra a causa dell'indebolimento dovuto alla presenza della tignola. In conseguenza dell'attacco foglie, frutti e apici vegetativi sono facilmente colpiti da muffe e marciumi.

Durante l'accrescimento le larve possono abbandonare la prima mina (per sovraffollamento o presenza di marciumi) e vagare per un certo tempo sulla pianta alla ricerca di nuovi siti ove completare lo sviluppo. La fase larvale, che comprende normalmente quattro età, ha una durata, variabile soprattutto in rapporto alla temperatura

Tabella 1 – Durata (giorni) degli stadi di *T. absoluta* osservati a Scafati (SA) nel 2009-2010, in pien'aria su pomodoro.

Stadio	I generazione		II generazione		III generazione		IV generazione	
	N	Media $\pm$ e.s.	N	Media $\pm$ e.s.	N	Media $\pm$ e.s.	N	Media $\pm$ e.s.
Uovo	22	8,3 $\pm$ 0,34	20	6,4 $\pm$ 0,24	18	5,3 $\pm$ 0,13	19	5,1 $\pm$ 0,13
Larva	21	18,5 $\pm$ 0,53	21	17,5 $\pm$ 0,46	19	16,4 $\pm$ 0,40	18	15,1 $\pm$ 0,24
Crisalide	21	12,3 $\pm$ 0,34	19	9,4 $\pm$ 0,26	18	8,9 $\pm$ 0,21	19	8,3 $\pm$ 0,17
	V generazione		VI generazione		VII generazione		VIII generazione	
	N	Media $\pm$ e.s.	N	Media $\pm$ e.s.	N	Media $\pm$ e.s.	N	Media $\pm$ e.s.
Uovo	20	5,0 $\pm$ 0,14	20	4,7 $\pm$ 0,10	18	5,4 $\pm$ 0,14	17	6,2 $\pm$ 0,15
Larva	19	14,3 $\pm$ 0,24	16	13,1 $\pm$ 0,17	18	16,1 $\pm$ 0,23	18	20,5 $\pm$ 0,34
Crisalide	17	8,0 $\pm$ 0,17	17	7,9 $\pm$ 0,14	18	11,1 $\pm$ 0,26	19	13,0 $\pm$ 0,19
	IX generazione. Individui sfarfallati nell'anno				IX generazione. Individui svernanti			
	N	Media $\pm$ e.s.			N	Media $\pm$ e.s.		
Uovo	20	8,4 $\pm$ 0,24			17	10,1 $\pm$ 0,29		
Larva	15	32,4 $\pm$ 0,75			15	36,9 $\pm$ 0,66		
Crisalide	13	17,9 $\pm$ 0,41			20	65,1 $\pm$ 1,16		
N = Numero osservazioni								

e alla qualità del cibo, oscillante in media da 13 a 37 giorni, con una soglia termica inferiore di sviluppo intorno a 6 °C (Tabella 1). L'elevata densità di popolazione, rallentando la crescita della larva, può allungare di alcuni giorni la durata di questo stadio.

L'incrisalidamento ha luogo al suolo, in un bozzolo sericeo ricoperto esternamente di particelle terrose; meno frequentemente la larva incrisalida sulla pianta stessa, nella zona del calice o all'interno di una mina. La durata della ninfa rilevata a Scafati è variata da un minimo di 8-12 giorni, nelle generazioni che si susseguono durante l'anno, a un massimo di due mesi, nella generazione svernante. IMENES *et al.* (1990), per il completamento di questo stadio, ottennero in laboratorio valori compresi tra 9 e 10 giorni.

Come altre specie della stessa famiglia, *T. absoluta* non presenta diapausa e le condizioni ambientali influiscono notevolmente sulla sua biologia. Le basse temperature allungano sensibilmente i tempi di sviluppo e riducono il numero di cicli annui. In Sud America sono segnalate fino a una dozzina di generazioni l'anno. Lungo il litorale salernitano ne sono state riscontrate da sei a nove che, a parte la prima, risultano ampiamente sovrapposte (SANNINO & ESPINOSA, 2010c). In questo ambiente è stata trovata una relazione inversa tra la lunghezza del ciclo e il termoperiodo nel corso dell'anno: la durata totale e quella delle tre fasi di uovo, larva e crisalide è diminuita con l'aumento della temperatura media del periodo corrispondente a un tasso

decescente all'innalzamento della temperatura, con riduzioni più marcate tra le generazioni estreme della stagione più fredda e più attenuate tra quelle intermedie della stagione calda (Figura 1). La durata totale del ciclo è variata dai circa 40 giorni della I e VIII generazione ai 28 giorni della VI generazione, fino a 60 gg per la generazione più tardiva (IX) e a 110 gg per quella svernante. GUENAOUI *et al.* (2010) riportano minimi e massimi di durata del ciclo di 29,5 giorni e 18 giorni per temperature medie di 22 e 31 °C, rispettivamente. BARRIENTOS *et al.* (1998) trovarono, invece, per il completamento del ciclo di sviluppo, una durata media di 76 giorni a 14 °C, 49 giorni a 20 °C e 24 giorni a 27 °C.

INDAGINI SULLA DINAMICA DI VOLO

La presenza degli adulti di *T. absoluta* è stata rilevata mediante catture con trappole a feromone installate in otto aziende produttrici di pomodoro ubicate in quattro comuni rappresentativi della piana del Sele (Battipaglia, Capaccio, Eboli, Pontecagnano), in provincia di Salerno, negli anni 2010-2012. L'insetto ha mostrato un'attività di volo pressoché continua nel corso dell'anno, con incrementi notevoli delle presenze nei mesi da agosto ad ottobre e con una drastica riduzione dei voli in novembre-dicembre (figure 2 e 3). In particolare, dalle osservazioni condotte nell'ultimo biennio è emerso quanto segue:

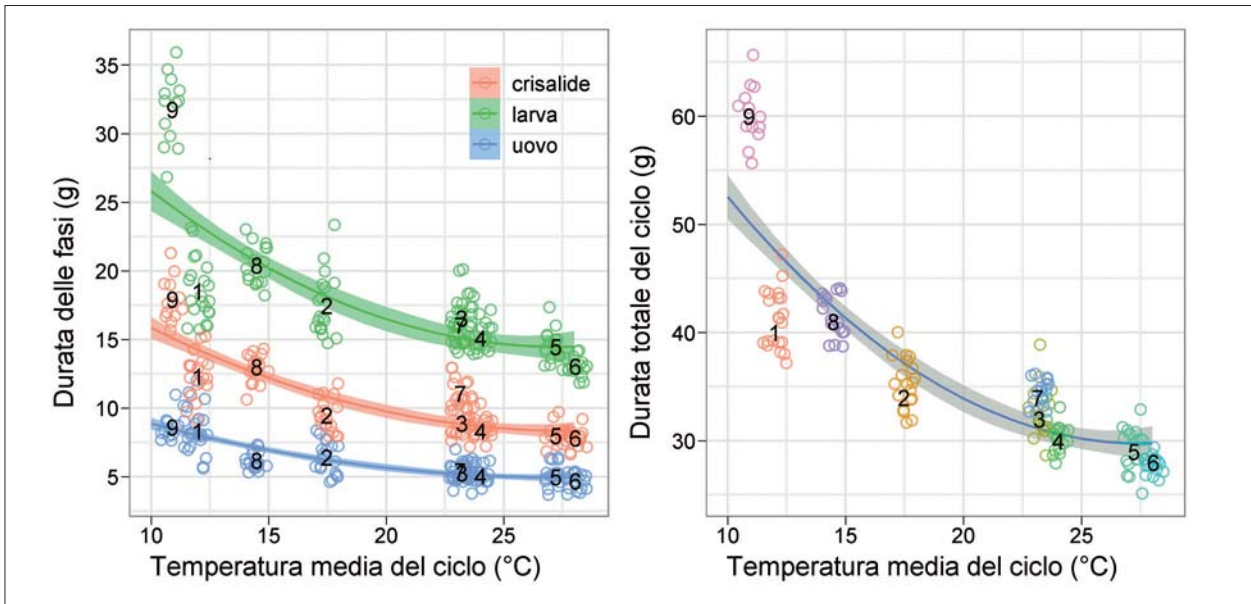


Figura 1

Durata delle fasi di sviluppo e del ciclo totale di *Tuta absoluta* in funzione della temperatura e della generazione. I numeri all'interno del grafico indicano le generazioni consecutive rilevate nel corso di un anno solare (2009). Valori osservati (simboli) e interpolazione media con banda di confidenza al 95%.

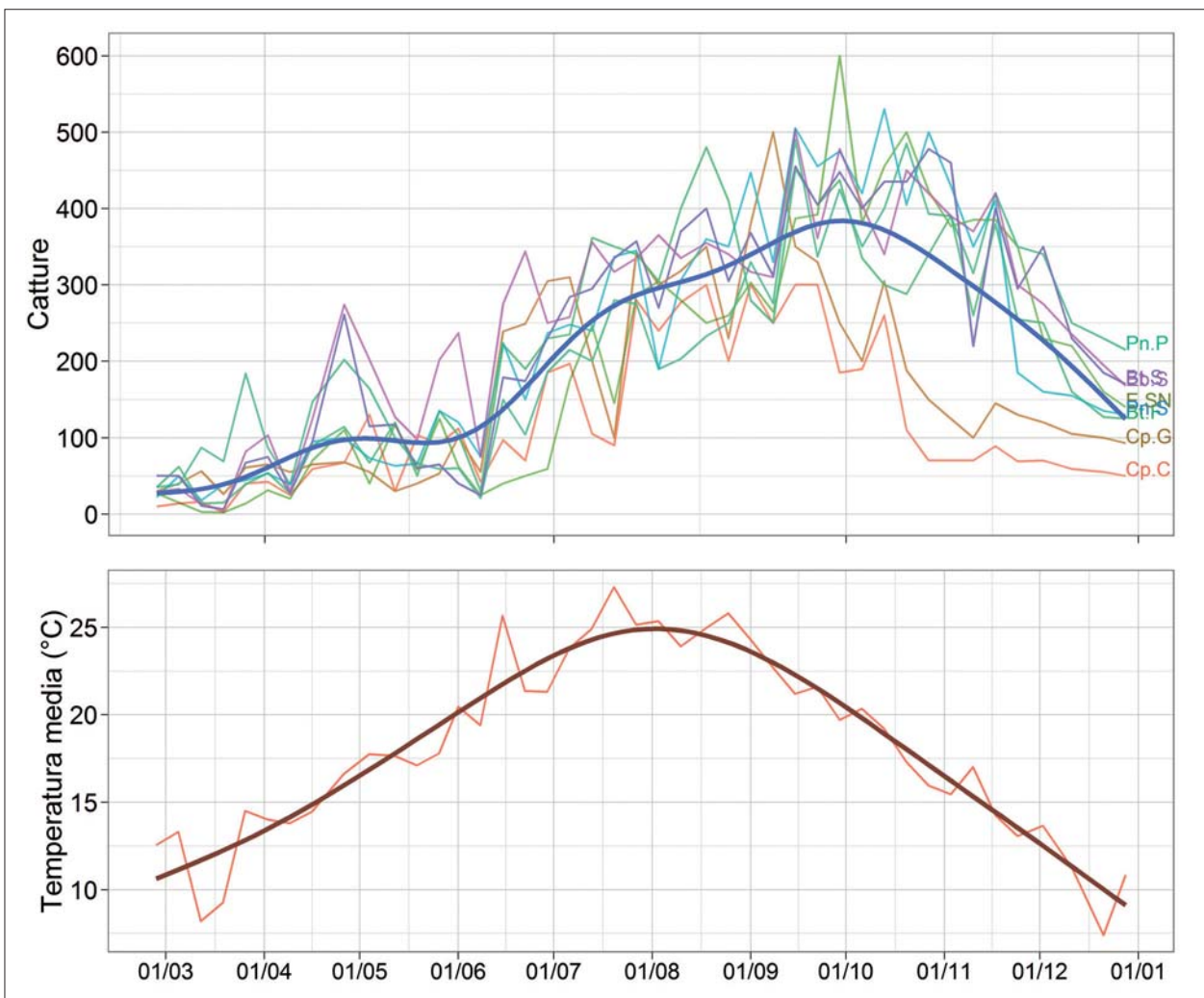


Figura 2

Profilo delle catture di adulti di *Tuta absoluta* in otto stazioni della piana del Sele (prov. Salerno) da fine febbraio a fine dicembre 2010, con interpolazione (linea blu) e profilo termico.

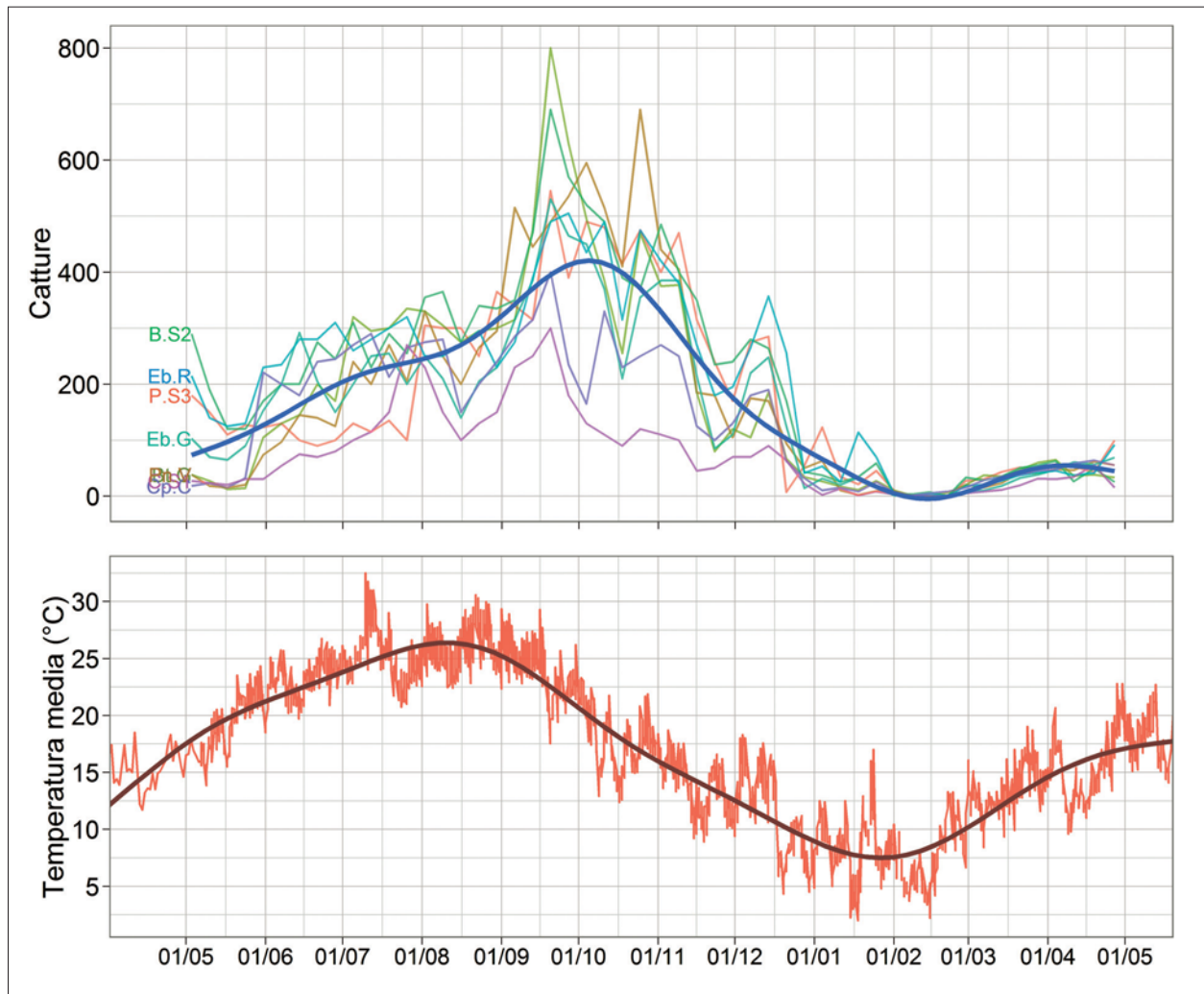


Figura 3

Profilo delle catture di adulti di *Tuta absoluta* in otto stazioni della piana del Sele (prov. Salerno) da maggio 2011 a maggio 2012, con interpolazione (linea blu) e profilo termico.

- gli adulti sono comparsi in gennaio e nel mese di febbraio si è avuta una netta flessione delle catture;
- i voli sono ripresi nella prima quindicina di marzo (in media 20-40 adulti trappola/settimana), sono aumentati progressivamente fino a giugno (160-180 adulti trappola/settimana), raggiungendo la massima frequenza a cavallo fra luglio e agosto (220-260 adulti trappola/settimana);
- dopo una leggera flessione registrata nella seconda metà di agosto, la curva di cattura ha mostrato una vera e propria impennata in settembre (in media ca 400 adulti trappola/settimana), seguita da bruschi declini alternati a nuovi incrementi fino a metà dicembre, prima di scendere a livelli trascurabili nella rimanente parte dell'anno;
- da agosto a ottobre è stato raccolto oltre il 50% del totale degli adulti catturati e in settembre si

sono avuti i valori più alti, corrispondenti al 21% e al 19% delle catture globali, rispettivamente nel 2010 e nel 2011-12.

Nelle figure 4 e 5 le catture settimanali sono messe in relazione con le temperature medie delle settimane corrispondenti. Il culmine della presenza degli adulti di *T. absoluta* in settembre-ottobre indica una relazione non lineare con la temperatura: le catture aumentano con l'innalzamento della temperatura media giornaliera fino a 23-26 °C, ma mostrano poi un andamento stazionario o si riducono nel periodo più caldo.

RIASSUNTO

Tuta absoluta è stata descritta per la prima volta nel 1917 come *Phthorimaea*; successivamente, nel 1962, è stata inclusa in *Gnorimoschema*, poi in *Scrobipalpula* e, dal 1993, nel genere *Tuta*. L'adulto è lungo 5-6 mm con apertura alare di 10-13 mm. Grigio con sfumature beige, è

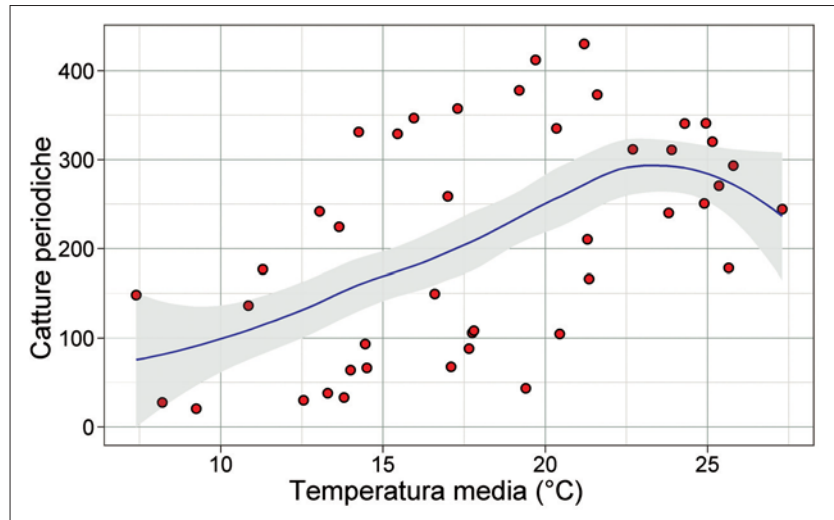


Figura 4
Catture settimanali di adulti di *Tuta absoluta* in funzione della temperatura in otto stazioni nella piana del Sele (prov. Salerno) nel 2009. Valori osservati (simboli) e interpolazione media (linea blu) con banda di confidenza al 95%.

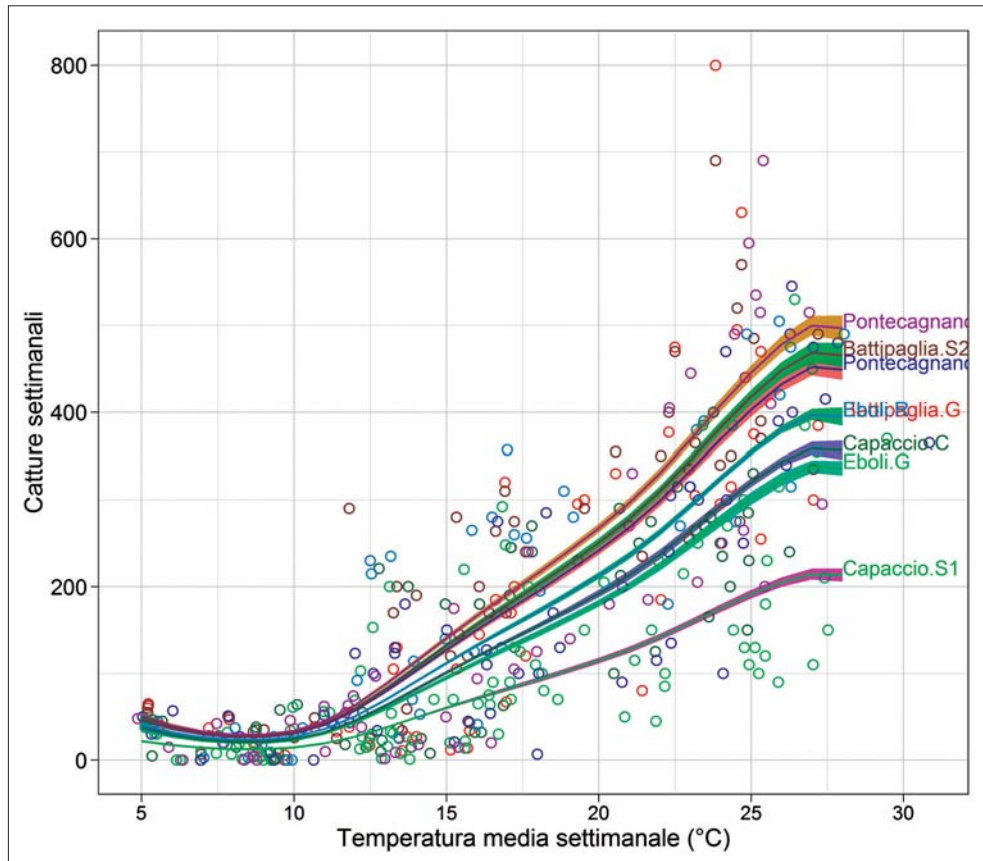


Figura 5
Catture settimanali di adulti di *Tuta absoluta* in funzione della temperatura in otto stazioni nella piana del Sele (prov. Salerno) nel biennio 2011-2012. Valori osservati (simboli) e interpolazioni (linee) con banda di confidenza al 95%.

caratterizzato da ali frangiate, con una serie di strie scure disposte a raggiera nella metà apicale dell'ala anteriore. L'uovo, lungo 0,35-0,38 mm e largo 0,22-0,25 mm, è bianco brillante o appena giallognolo quando deposto, bruno a maturità. La larva è lunga fino a 7-8 mm; sul colore di fondo gialliccio o verdognolo, si evidenzia spesso una

sfumatura dorsale di tonalità rosata più o meno intensa. Il capo è giallo, annerito sui lati e posteriormente, mentre la placca protoracica è chiara con il solo bordo latero-posteriore castano o nericcio. La crisalide, lunga 3,8-4,5 mm e larga 1,3-1,5 mm, ha il cremaster costituito da una brevissima e tozza spinetta disposta in posizione apico-dorsale e

da una serie di 10-11 coppie di setole rigide e uncinate situate sia sul lato dorsale che sul lato ventrale. Il numero di uova deposto per femmina varia da alcune decine a un paio di centinaia. L'incubazione viene completata in 5-6 giorni nel periodo da aprile a ottobre e in 8-10 giorni nella rimanente parte dell'anno. La durata della fase larvale, che comprende di norma quattro età, oscilla in media da 13 a 37 giorni. L'incrisalidamento ha luogo nel suolo o sulla pianta stessa e la sua durata oscilla da un minimo di 8-12 giorni a un massimo di due mesi nella generazione svernante. Nel Salernitano (Scafati), dove sono state riscontrate da 6 a 9 generazioni annue, la durata totale del ciclo è variata dai circa 40 giorni della I e VIII generazione a 28 giorni della VI generazione, fino a 60 giorni per la generazione più tardiva (IX). L'insetto ha un'attività di volo pressoché continua nel corso dell'anno, con incrementi notevoli nei mesi da agosto a ottobre e riduzioni drastiche in novembre-dicembre. Una relazione non lineare è stata trovata tra le catture di adulti alle trappole sessuali e la temperatura: le catture aumentano con l'innalzamento della temperatura media giornaliera fino a 23-26 °C, ma mostrano poi un andamento stazionario o si riducono nel periodo più caldo.

BIBLIOGRAFIA

- ARNÓ J., MUSSOLL A., GABARRA R., SORRIBAS R., PRAT M., GARRETA A., GÓMEZ A., MATAS M., POZO C., RODRÍGUEZ D., 2009 – Tuta absoluta una nueva plaga en los cultivos de tomate. Estrategias de manejo. - Phytoma España, 211: 16-22.
- BALDIZZONE G., GOZMÁNY L., HUEMER P., KARSHOLT O., LVOVSKY A., PARENTI U., PASSERIN D'ENTRÈVES P., RIEDL T., VARALDA P.G., ZANGHERI S., 1995 – *Lepidoptera Gelechioidea*. In: Minelli A., Ruffo S. & La Posta S. (eds.), Checklist delle specie della fauna italiana, 83. Calderini, Bologna.
- BARRIENTOS Z.R., APABLAZA H.J., NORERO S.A., ESTAY P.P., 1998 – *Temperatura base y constante térmica de desarrollo de la polilla del tomate*, Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae). - Ciencia e Investigación Agraria, 25: 133-137.
- BELDA J.E., CALVO F.J., GIMÉNEZ A., 2010 – Estrategia para el control biológico de Tuta absoluta en tomate mediante sueltas de Nesidiocoris tenuis en pre-trasplante. - Phytoma España, 217: 48-52.
- BENTANCOURT C.M., SCATONI I.B., RODRÍGUEZ J.J., 1996 – Influencia de la temperatura sobre la reproducción y el desarrollo de Scrobipalpus absoluta (Meyrick) (Lepidoptera, Gelechiidae). - Revista Brasileira de Biologia, 56 (4): 661-670.
- BIELZA P., 2010 – La resistencia a insecticidas en Tuta absoluta (Meyrick). - Phytoma España, 217: 103-106.
- BIONDI A., BUONOCORE E., HADDI K., RAPISARDA C., SISCARO G., TROPEA GARZIA G., ZAPPALÀ L., 2011 – Esperienze di lotta integrata a Tuta absoluta in Sicilia. XXIII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Genova 13-16 giugno 2011, Sessione VI, Entomologia agraria, Presentazioni Posters, pag. 205.
- BLAND K.P., CORLEY M.F.V., EMMET A.M., HECKFORD R.J., HUEMER P., LANGMAID J.R., PALMER S.M., PARSONS M.S., PITKIN L.M., SATTLER K., SIMPSON A.N.B., 2002 – Gelechiinae. In: A. M. Emmet, J. R. Langmaid 'The Moths and Butterflies of Great Britain and Ireland' Volume 4, Part 2, Gelechiidae. Harley Books, cfr. 118-204.
- CABELLO T., 2009 – Control biológico de la polilla del tomate, Tuta absoluta, en cultivos en invernaderos de España. - Phytoma España, 214: 22-27.
- CALVO F.J., BELDA J.E., GIMÉNEZ A., 2010 – Una estrategia para el control, biológico de mosca blanca y Tuta absoluta en tomate. - Phytoma España, 216: 46-52.
- CAPONERO A., 2010 – La Tuta del pomodoro. - Colture Protette, 4: 78-79.
- CLARKE J.F., 1962 – New species of microlepidoptera from Japan. - Entomological News, 73 (4): 91-102.
- COCO A., DELIPERI S., DELRIO G., 2011 – Prove di confusione sessuale contro Tuta absoluta su pomodoro in coltura protetta. XXIII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Genova 13-16 giugno 2011, Sessione VI, Entomologia agraria, Presentazioni Posters, pag. 214.
- DESNEUX N., WAJNBERG E., WYCKHUIS K.A. G., BURGIO G., ARPAIA S., NARVÁEZ-VASQUEZ C.A., GONZÁLEZ-CABRERA J., CATALÁN RUESCAS D., TABONE E., FRANDON J., PIZZOL J., PONCET C., CABELLO T., URBANEJA A., 2010 – Biological invasion of European tomato crops by Tuta absoluta: ecology, history of invasion and prospects for biological control. - Journal of Pest Science, 83: 197-215.
- ESPINOSA B., SANNINO L., 2009a – Tuta, Keiferia e Phthorimaea, tignole da tenere sotto controllo. - L'Informatore Agrario, 65 (29): 56-58.
- ESPINOSA B., SANNINO L., 2009b – Confronto fra gli stadi larvali di Phthorimaea operculella, Tuta absoluta e Keiferia lycopersicella. XXII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Proceedings, Ancona 15-18 Giugno 2009, pag. 47.
- FINOCCHIARO E., SBRISCIA FIORETTI C., 2010 – Esperienze di lotta su pomodoro contro Tuta absoluta, lepidottero gelechide di recente introduzione in Italia. - Atti Giornate Fitopatologiche, 2010, 1: 261-266.
- FOIS F., PORCU M., SAU S., CARRUSCI P., DEIANA A.M., NANNINI M., 2011 – Osservazioni sulla dinamica di popolazione della tignola del pomodoro Tuta absoluta (Lepidoptera, Gelechiidae) in coltura protetta. XXIII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Genova 13-16 giugno 2011, Sessione VI, Entomologia agraria, Presentazioni Posters, pag. 221.
- GABARRA R., ARNÓ J., 2010 – Resultados de las experiencias de control biológico de la polilla del tomate en cultivo de invernadero y aire libre en Cataluña. - Phytoma España, 217: 66-68.
- GARCIA M.F., VERCHER R., 2010 – Descripción, origen y expansión de Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae). - Phytoma España, 217: 16-20.
- GERMAIN J.F., LACORDAIRE A.L., COCQUEMPOT C., RAMEL J.M., OUDARD E., 2009 – Un nouveau ravageur de la tomate en France: Tuta absoluta. - PHM-Revue Horticole, 512: 37-41.
- GIUSTOLIN T.A., VENDRAMIM J.D., ALVES S.B., VIEIRA S.A., PEREIRA R.M., 2001 – Susceptibility of Tuta absoluta (Meyrick) (Lep.: Gelechiidae) reared on two species of Lycopersicon to Bacillus thuringiensis var. kurstaki. - Journal of Applied Entomology, 125: 551-556.
- GUENAOUI Y., 2008 – Nouveau ravageur de la tomate en Algérie. - Phytoma – La Défense des Végétaux, 617: 18-19.
- GUENAOUI Y., BENSAD F., OUEZZANI K., 2010 – First experiences in managing tomato leaf miner Tuta absoluta Meyrick (Lep.: Gelechiidae) in the Northwest area of the country. Preliminary studies in biological control by use of indigenous natural enemies. - Phytoma España, 217: 112-113.

- HUEMER P., KARSHOLT O., 2010 – *Microlepidoptera of Europe, volume 6, Gelechiidae II (Gelechiinae: Gnorimoschemini)*. Apollo Books, Stenstrup, 586 pp. (cfr. 204-206).
- IMENES S.D.L., FERNANDES M.A.U., DE CAMPOS T.B., TAKEMATSU A.P., 1990 – *Aspectos biológicos e comportamentais da traça do tomateiro* *Scrobipalpa absoluta* (Meyrick, 1917), (Lepidoptera-Gelechiidae). - Arquivos do Instituto Biológico, 57 (1/2): 63-68.
- MARTÍ MARTÍ S., MUÑOZ CELDRÁN, CASAGRANDE E., 2010 – *El uso de feromonas para el control de Tuta absoluta: primeras experiencias en campo*. - Phytoma España, 217: 35-40.
- MIRANDA M.M.M., PICANÇO M., ZANUNCIO J.C., GUEDES R.N.C., 1998 – *Ecological life table of Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). - Biocontrol Science and Technology, 8 (4): 597-606.
- POTTING R., 2009 – *Pest risk analysis, Tuta absoluta, tomato leaf miner moth*. Plant protection service of the Netherlands, 24 pp, www.minlnv.nl
- POVOLNÝ D., 1967a – *Genitalia of some nearctic and neotropical members of the tribe Gnorimoschemini (Lepidoptera, Gelechiidae)*. - Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae, 37: 83-127.
- POVOLNÝ D., 1967b – *Die stammesgeschichtlichen Beziehungen der Tribus Gnorimoschemini im Weltraum (Lepidoptera, Gelechiidae)*. Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae, 37: 161-232.
- POVOLNÝ D., 1975 – *On three neotropical species of the tribe Gnorimoschemini (Lepidoptera, Gelechiidae) mining Solanaceae*. Acta Univ. Agric. (Brno), 23: 379-393.
- POVOLNÝ D., 1993 – *Zur Taxonomie und Nomenklatur der amerikanischen gnorimoschemoiden Gattungen Tuta Strand, Tecia Strand, Scrobipalpa Povolný und Keiferia Busck (Insecta: Lepidoptera: Gelechiidae)*. Reichenbachia, 30 (14): 85-98.
- POVOLNÝ D., 1994 – *Gnorimoschemini of southern South America VI: identification keys, checklist of Neotropical taxa and general considerations (Insecta, Lepidoptera, Gelechiidae)*. Steenstrupia, Zoological Museum University of Copenhagen, 20 (1): 1-42.
- SANNINO L., ESPINOSA B., 2009 – *Keiferia lycopersicella, una nuova tignola su pomodoro*. L'Informatore Agrario, 65 (4): 69-70.
- SANNINO L., ESPINOSA B., 2010a – *Incidenza di Tuta absoluta sulla produzione di pomodoro*. L'Informatore Agrario, 66 (10): 37-40.
- SANNINO L., ESPINOSA B., 2010b – *Caratteristiche morfologiche di Tuta absoluta*. In: Tuta absoluta. Guida alla conoscenza e recenti acquisizioni per una corretta difesa (Sannino L. & Espinosa B. eds.), L'Informatore Agrario, 46/2010, Suppl. 1: 17-32.
- SANNINO L., ESPINOSA B., 2010c – *Piante ospiti e biologia della tignola del pomodoro*. In: Tuta absoluta. Guida alla conoscenza e recenti acquisizioni per una corretta difesa (Sannino L. & Espinosa B. eds.), L'Informatore Agrario, 46/2010, Suppl. 1, 33-50.
- SANNINO L., PIRO F., ESPINOSA B., 2012a – *Difesa integrata per il controllo di Tuta absoluta*. L'Informatore Agrario, 68 (1): 47-49.
- SANNINO L., PIRO F., ESPINOSA B., 2012b – *Insetticidi efficaci contro la Tuta*. L'Informatore Agrario, 68 (1): 49-59.
- SANNINO L., PIRO F., ESPINOSA B., 2012c – *Lotta alla tignola del pomodoro con Rynaxypyr*. Atti Giornate Fitopatologiche, 2012, 1: 275-280.
- SPERANZA S., 2009 – *Prime segnalazioni di Tuta absoluta su fagiolino nel Lazio*. Terra e Vita, 46: 14-15.
- TROPEA GARZIA G., SISCARO G., BIONDI A., ZAPPALÀ L., 2011 – *Biology, distribution and damage of Tuta absoluta, an exotic invasive pest from South America*. Proceedings EPPO/IOBC/NEPPPO Joint International Symposium on management of Tuta absoluta (tomato borer). Agadir, Morocco, November 16-18, 2011, pag. 12.
- TROPEA GARZIA G., SISCARO G., COLOMBO A., CAMPO G., 2009 – *Rinvenuta in Sicilia Tuta absoluta*. L'Informatore Agrario, 65 (4): 71.
- URBANEJA A., VERCHER R., NAVARRO V., GARCIA MARI F., PORCUNA J.L., 2007 – *La polilla del tomate, Tuta absoluta*. Phytoma España, 194: 16-23.
- VIGGIANI G., FILELLA F., DELRIO G., RAMASSINI W., FOXI C., 2009 – *Tuta absoluta, nuovo lepidottero segnalato anche in Italia*. L'Informatore Agrario, 1: 2-4.

IL COMPLESSO DEI PARASSITOIDI DI *TUTA ABSOLUTA* (MEYRICK) IN ITALIA

MASSIMO GIORGINI (*) - UMBERTO BERNARDO (*) - PAOLO ALFONSO PEDATA (*)

(*) Istituto per la Protezione delle Piante (IPP), CNR - UOS di Portici, Via Università n. 133, Portici (NA); e-mail: pedata@ipp.cnr.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La Tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick)". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 17 febbraio 2012.

The parasitoid complex of Tuta absoluta (Meyrick) in Italy

After its arrival into Europe from South America, the tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick) caused severe yield losses to tomato crops both in open field and in protected greenhouses. In Italy, various research groups started to monitor the complex of natural antagonists which moved to develop on this invasive species, by sampling on attacked tomato (both for fresh and processing use) as well as on secondary hosts, both cultivated (eggplants, potato) and spontaneous (*Solanum nigrum*). Several native parasitoids have been found to parasitize *T. absoluta*, following the typical pattern of colonization on exotic pests. The recovered species were, in fact, mainly generalist idiobionts, which cause low levels of parasitism in open field. The species found belong to 13 genera and 6 families (Ichneumonidae, Braconidae, Eulophidae, Elasmidae, Pteromalidae and Trichogrammatidae). In particular, the 16 identified species were: *Diadegma ledicola* Horstmann, *Diadegma pulchripes* (Kokujev), *Agathis fuscipennis* (Zetterstedt), *Bracon hebetor* (Say), *Bracon osculator* (Nees), *Bracon* (*Habrobracon*) *nigricans* Szepilgeti, *Chrysocharis pentheus* (Walker), *Diglyphus crassinervis* Erdős, *Necremnus artynes* (Walker), *Necremnus* sp. near *artynes* (Walker), *Necremnus* sp. near *tidius* (Walker), *Neochrysocharis formosa* (Westwood), *Pnigalio soemius* s.l. (Walker), *Pnigalio cristatus* (Ratzeburg), *Pnigalio incompletus* (Boucek) and *Halticoptera aenea* (Walker). For 13 species, the findings represent the first host-parasitoid association report on *T. absoluta*. This survey suggests that indigenous natural enemies may have a potential role in reducing population of *T. absoluta*, and habitat management techniques should be considered in the development of integrated management strategy of the tomato borer in the Mediterranean area.

KEY WORDS: Parasitoid community, tomato borer, natural enemies, new host-parasitoid associations, habitat management.

INTRODUZIONE

Eventi di invasione biologica di specie non native rappresentano un fenomeno in crescente espansione e di notevole rilevanza quale componente del cambiamento globale (VITOUSEK *et al.*, 1996). Tali eventi hanno notevoli ripercussioni sia da un punto di vista economico che ecologico, fino a causare una riduzione della biodiversità locale, limitando, di fatto, i servizi forniti dagli ecosistemi (GUREVITCH & PADILLA, 2004; HOOPEY *et al.*, 2005).

Gli studi sugli eventi di invasione biologica sono rivolti a indagare sulle cause che rendono alcuni ecosistemi più facilmente invadibili di altri o sul perché alcune specie siano potenzialmente più invasive di altre (MACISAAC *et al.*, 2001; KEANE & CRAWLEY, 2002).

Un'interpretazione intuitiva suggerisce che un organismo esotico possa facilmente stabilirsi e riprodursi se nel nuovo ambiente l'azione di controllo degli antagonisti naturali risulti scarsa o assente (Enemy release hypothesis o ERH) (KEANE & CRAWLEY, 2002; TORCHIN *et al.*, 2002, 2003; MITCHELL & POWER, 2003). Normalmente

si tende a distinguere l'effetto della riduzione apparente degli antagonisti (Apparent enemy reduction), in cui il numero di specie nel nuovo areale di diffusione risulta ridotto, dall'insufficiente impatto che gli antagonisti esercitano sulla specie esotica (Realized enemy release) (TORCHIN *et al.*, 2003; MITCHELL & POWER, 2003; COLAUTTI *et al.*, 2004).

In relazione alle nuove associazioni fra insetti fitofagi invasivi e parassitoidi nativi rispetto alle comunità indigene, CORNELL & HAWKINS (1993) segnalano comunemente un numero più basso di antagonisti naturali caratterizzati da una minore attività di parassitizzazione. Le nuove associazioni coinvolgono più frequentemente parassitoidi idiobionti piuttosto che koinobionti. Le specie appartenenti al primo gruppo richiedono uno scarso o nullo adattamento specifico alla fisiologia dell'ospite, che viene ucciso o paralizzato irreversibilmente prima di essere consumato. Per tali specie, più frequentemente ectoparassitoidi con ampia gamma di ospiti, il passaggio a nuovi ospiti dovrebbe poter avvenire più facilmente. I koinobionti, per contro, sono più spesso endoparassitoidi che devono confrontarsi più intimamente

con la fisiologia dell'ospite. Sono dunque caratterizzati da uno spettro di ospiti più ristretti e minore capacità di adattarsi a nuovi ospiti. CORNELL & HAWKINS (1993) hanno inoltre individuato una significativa, seppur debole, correlazione fra l'abbondanza di specie di parassitoidi e il tempo di residenza di una specie invasiva, proponendo due spiegazioni alternative: 1) "Ipotesi dell'aggiustamento" (adjustment-hypothesis), secondo la quale un parassitoide richiede un certo lasso di tempo per adattarsi da un punto di vista comportamentale, fenologico o biologico a una nuova specie ospite; 2) "Ipotesi della diffusione geografica" (geographic spread-hypothesis), secondo la quale nella progressiva colonizzazione di nuove aree a carico della specie invasiva sia reclutato un numero crescente di specie di parassitoidi. L'arco temporale richiesto perché la comunità di parassitoidi su di una specie invasiva risulti equivalente a quella di specie native è stato grossolanamente indicato poter variare tra i 150 e i 10.000 anni.

La minatrice del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera Gelechiidae), è un dannoso fitofago particolarmente vincolato al pomodoro e secondariamente ad altre solanacee sia coltivate che spontanee, che dalla sua area di origine, il Sud America, ha rapidamente invaso a partire dal 2006 l'Europa, il Nord Africa e il Medio Oriente (URBANEJA *et al.*, 2007; DESNEUX *et al.*, 2010, 2011). Dal 2008 in Italia il fitofago ha colonizzato rapidamente tutte le più importanti regioni produttrici di pomodoro, sia per il consumo fresco che da industria (TROPEA GARZIA *et al.*, 2009; VIGGIANI *et al.*, 2009). Il controllo chimico di *T. absoluta*, che anche nel suo areale di origine risulta essere il fitofago chiave della coltura, presenta notevoli difficoltà per la facilità con cui vengono selezionati ceppi resistenti e per il comportamento endofitico delle larve (SIQUEIRA *et al.*, 2000; LIETTI *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2011), nonché per il notevole impatto ecologico degli insetticidi sulle comunità di antagonisti naturali (DESNEUX *et al.*, 2007; BIONDI *et al.*, 2012). Quest'ultima conseguenza può ovviamente pregiudicare strategie di controllo integrato già consolidate nei confronti di altre specie fitofaghe. Un controllo eco-sostenibile del fitofago, con lo sviluppo di una metodologia di controllo integrato, richiede una valutazione preliminare delle specie antagoniste indigene che sono state capaci di adattarsi a *T. absoluta* e del loro impatto sulle sue popolazioni.

In numerose aree geografiche del Bacino del Mediterraneo diversi nemici naturali indigeni, sia parassitoidi che predatori, si sono adattati a svilupparsi a carico di *T. absoluta* (DESNEUX *et al.*, 2010; GABARRA & ARNÓ, 2010; MOLLÁ *et al.*, 2010). A

partire dal 2009 diversi gruppi di lavoro hanno iniziato a campionare in diverse regioni italiane al fine di individuare il complesso dei parassitoidi adattatisi sul nuovo ospite, a valutarne in via preliminare il loro impatto ecologico e la fenologia, nell'ottica di poter sviluppare strategie di controllo biologico di tipo conservativo, uno degli obiettivi delle recenti linee guida europee per il controllo integrato (IPM). In questa nota si riassumono i risultati ottenuti.

CAMPIONAMENTO DEI PARASSITOIDI

I campionamenti sono stati condotti con modalità differenti in diverse regioni italiane, raccogliendo materiale infestato di pomodoro (in coltura di pieno campo e sotto serra) e altri potenziali ospiti, sia coltivati (patata, melanzana) che spontanei (*Solanum nigrum*) in diverse condizioni agroeconomiche ed ecologiche.

In dettaglio i campionamenti sono stati condotti secondo le seguenti modalità.

ZAPPALÀ *et al.* (2012) hanno condotto campionamenti in diverse località siciliane, campane e sarde. In particolare i campionamenti a cadenza settimanale hanno riguardato il pomodoro in coltura protetta da agosto 2009 a febbraio 2010 in 6 siti siciliani (province di Catania, Siracusa e Ragusa) e da maggio a ottobre 2010 in 2 siti campani (Province di Caserta e Salerno). In ulteriori 7 siti campani (provincia di Napoli) sono stati effettuati campionamenti sporadici sia su pomodoro da industria che per il consumo fresco nei mesi di settembre e ottobre 2010. In diversi ambienti siciliani e campani sono state inoltre esposte in campo piante di pomodoro sentinella con un elevato numero di stadi pre-immaginali di *T. absoluta*. In Sardegna, in 2 siti in provincia di Cagliari sono stati condotti rispettivamente un campionamento nel periodo di giugno-luglio 2010 e un campionamento con cadenza settimanale da novembre 2010 a maggio 2011, entrambi su pomodoro in coltura protetta. In un altro sito in provincia di Cagliari, i campionamenti condotti da marzo ad aprile 2011 hanno previsto la raccolta specifica di pupe di *T. absoluta* da foglie o bacche infestate di pomodoro coltivato in serra, con lo scopo di valutare l'emergenza di parassitoidi pupali. Infine, in un sito in provincia di Sassari è stata monitorata con cadenza bisettimanale una coltura di pieno campo di patata da novembre 2010 a maggio 2011. Sono stati inoltre previsti campionamenti occasionali di *S. nigrum*.

RIZZO *et al.* (2011) hanno condotto dei campionamenti in serre del palermitano (agricoltura bio-

logica) su colture di pomodoro, da gennaio a giugno 2010, e di melanzana da fine marzo a giugno 2010. Anche in questo caso sono stati previsti campionamenti contestuali di *S. nigrum*.

LONI *et al.* (2011) hanno condotto i campionamenti in provincia di Lucca (Toscana) raccogliendo materiale infestato di *S. nigrum* in corrispondenza di serre di pomodoro durante il periodo di settembre-ottobre 2009 e 2010.

FERRACINI *et al.* (2012) hanno effettuato campionamenti in Liguria, Sicilia e Sardegna.

In tutti i casi il materiale vegetale è stato conservato in gabbie areate fino all'emergenza dei parassitoidi.

In alcuni casi è stata calcolata la percentuale di parassitizzazione come: larve parassitizzate di *T. absoluta* / larve morte di *T. absoluta* + larve vive di *T. absoluta* + larve parassitizzate di *T. absoluta* (ZAPPALÀ *et al.*, 2012), o come adulti di parassitoidi / adulti di *T. absoluta* + adulti di parassitoidi (LONI *et al.*, 2011; RIZZO *et al.*, 2011).

RISULTATI

Durante i campionamenti dei quattro studi sono state ottenute 30 specie di parassitoidi inquadrabili in 13 generi appartenenti a 6 famiglie diverse (Ichneumonidae, Braconidae, Eulophidae, Elasmidae, Pteromalidae e Trichogrammatidae). Di queste sono state identificate 16 specie (Tab. 1).

La maggiore biodiversità è stata rinvenuta nei siti caratterizzati dalla presenza di una vegetazione spontanea varia e abbondante.

In dettaglio le specie di parassitoidi identificate nei vari studi sono state le seguenti:

- *Agathis fuscipennis* (Zetterstedt), endoparassitoide polifago riportato a carico di numerose famiglie di Lepidoptera per l'Europa (SIMBOLLOTTI & VAN ACHTERBERG, 1999; YU & VAN ACHTERBERG, 2010).
- *Bracon hebetor* (Say), ad ampia distribuzione Palearctica, è un ectoparassitoide idiobionte altamente polifago (YU & VAN ACHTERBERG, 2010).
- *Bracon osculator* (Nees), ad ampia distribuzione Palearctica, è un ectoparassitoide idiobionte gregario altamente polifago (YU & VAN ACHTERBERG, 2010), segnalato per l'Italia su *Elachista bisulcella* (Duponchel) ed *E. utonella* (Frey) (Lepidoptera Elachistidae) (PARENTI *et al.*, 1995).
- *Bracon* (*Habrobracon*) *nigricans* Szepilgeti [= *concolorans* Marshall; *concolor* Thomson; *mongolicus* (Telenga)], ad ampia distribuzione Palearctica, è un ectoparassitoide generalista a

carico di stadi larvali di Lepidoptera e Coleoptera. In Italia è già stato segnalato su *Phthorimea operculella* (Zeller) (Lepidoptera Gelechiidae) in Sardegna (ORTU & FLORIS, 1989).

- *Chrysocharis pentheus* (Walker) è un parassitoide ad ampia distribuzione Palearctica segnalato su diversi fillominatori, prevalentemente Diptera Agromyzidae, ma anche su diversi Lepidotteri e Coleotteri (HANSSON, 1985).
- *Diadegma ledicola* Horstmann (Hymenoptera Ichneumonidae) è un endoparassitoide a distribuzione europea, finora segnalato a carico di Lepidoptera Psychidae e Tineidae.
- *Diadegma pulchripes* (Kokujev) (= *turcator* Aubert) (Hymenoptera Ichneumonidae) è un endoparassitoide finora segnalato in relazione a *P. operculella* da Cipro, Creta, Turchia Israele, India e Cina (PUCCI *et al.*, 2003; YU & VAN ACHTERBERG, 2010), con livelli di parassitizzazione anche elevati (ORTU & FLORIS, 1989).
- *Diglyphus crassinervis* è un parassitoide ad ampia distribuzione Palearctica associato a fillominatori (Diptera Agromyzidae) (NOYES, 2003).
- *Necremnus* sp. near *tidius* (Walker) (Hymenoptera Eulophidae) è un ectofago solitario polifago di Lepidoptera fillominatori (BERNARDO & VIGGIANI, 2002).
- *Necremnus artynes* (Walker) (Hymenoptera Eulophidae). Biologia simile alla specie precedente. *N. artynes* è stato recentemente segnalato per la Spagna (DESNEUX *et al.*, 2010). RIZZO *et al.* (2011) hanno riportato questa specie anche per la Sicilia. Tuttavia, nel corso dei campionamenti, ZAPPALÀ *et al.* (2011) e FERRACINI *et al.* (2012) hanno ottenuto esclusivamente individui che si differenziano morfologicamente da *N. artynes* e che sono stati trattati come *N. sp. near artynes*. *N. sp. near artynes* è la specie a più ampia distribuzione sul territorio italiano essendo stata rinvenuta in tutte le regioni monitorate, con l'esclusione della Toscana.
- *Neochrysocharis formosa* (Westwood) [= *Closterocherus formosus* (Westwood)] (Hymenoptera Eulophidae) è un endoparassitoide cosmopolita (BURKS *et al.*, 2011) attivo su numerose specie ospiti (Coleoptera, Diptera e Lepidoptera) (NOYES, 2003). Già segnalato in Italia su *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera Gracillariidae) (MASSA *et al.*, 2001) e *Holocacista rivillei* Stainton (Lepidoptera Heliozelidae) (ALMA, 1995). Ha un buon potenziale di controllo, avendo inflitto percentuali di mortalità di circa il 5% in Argentina (LUNA *et al.*, 2011).
- *Pnigalio soemius* s.l. (Walker) (Hymenoptera Eulophidae) è un ectoparassitoide molto comu-

Tabella 1 – Taxa dei parassitoidi ottenuti da *Tuta absoluta* in Italia (2009-2011).

Specie	Stadio attaccato	Tipo sviluppo	Regione	Composizione % comunità ⁽¹⁾	Composizione % comunità ⁽²⁾
Fam. Ichneumonidae					
<i>Diadegma pulchripes</i>	Larva	Endofago	Si ⁽¹⁾	6,1	–
<i>Diadegma ledicola</i>	Larva	Endofago	L ⁽²⁾	–	22,0
<i>Diadegma</i> sp.	Larva	Endofago	C ⁽¹⁾	0,4	–
<i>Cryptinae</i> gen. sp.	Larva	Endofago	S ⁽¹⁾	1,7	–
Fam. Braconidae					
<i>Agathis</i> sp.	Larva	Endofago	Si ⁽²⁾	–	2,6
<i>Agathis fuscipennis</i>	Larva	Endofago	T ⁽³⁾	–	–
<i>Bracon osculator</i>	Larva	Ectofago	Si ⁽¹⁾ , L ⁽²⁾	0,9	5,3
<i>Bracon nigricans</i>	Larva	Ectofago	Si ⁽¹⁾	10,8	–
<i>Bracon hebetor</i>	Larva	Ectofago	Sa ⁽²⁾	–	1,8
Family Eulophidae					
<i>Chrysoschalis</i> sp.	Larva	Endofago	Si ⁽¹⁾ , C ⁽¹⁾	2,2	–
<i>Chrysoschalis pentheus</i>	Larva	Endofago	Si ⁽⁴⁾	–	–
<i>Diglyphus crassinervis</i>	Larva	Ectofago	Si ⁽⁴⁾	–	–
<i>Elachertus</i> sp.	Larva	Ectofago	Si ⁽¹⁾	0,4	–
<i>Elachertus inunctus</i> sp. gr.	Larva	Ectofago	C ⁽¹⁾	8,2	–
<i>Necremnus</i> sp.	Larva	Ectofago	C ⁽¹⁾ , Si ⁽¹⁾	1,3	–
<i>Necremnus artynes</i>	Larva	Ectofago	Si ⁽⁴⁾	–	–
<i>Necremnus</i> sp. near <i>artynes</i>	Larva	Ectofago	Si ⁽¹⁾⁽²⁾ , Sa ⁽¹⁾⁽²⁾ , C ⁽¹⁾	38,5	32,3
<i>Necremnus</i> sp. near <i>tidius</i>	Larva	Ectofago	C ⁽¹⁾ , Sa ⁽¹⁾ , L ⁽²⁾	3,5	26,3
<i>Neochrysoschalis formosa</i>	Larva	Endofago	C ⁽¹⁾ , Si ⁽¹⁾ , L ⁽²⁾	12,1	3,5
<i>Pnigalio</i> sp. a gr. <i>soemius</i>	Larva	Ectofago	Si ⁽¹⁾	2,6	–
<i>Pnigalio</i> sp. b gr. <i>soemius</i>	Larva	Ectofago	C ⁽¹⁾	0,4	–
<i>Pnigalio</i> sp. c gr. <i>soemius</i>	Larva	Ectofago	L ⁽²⁾	–	2,6
<i>Pnigalio cristatus</i>	Larva	Ectofago	Si ⁽¹⁾ , L ⁽²⁾	0,9	2,6
<i>Pnigalio incompletus</i>	Larva	Ectofago	C ⁽¹⁾	0,4	–
<i>Sympiesis</i> sp.	Larva	Ectofago	Si ⁽¹⁾	1,7	–
Fam. Elasmidae					
<i>Elasmus</i> sp.	Larva	Ectofago	Si ⁽¹⁾	1,7	–
Fam. Pteromalidae					
<i>Halticoptera aenea</i>	Larva	Endofago	Si ⁽¹⁾	0,4	–
Fam. Trichogrammatidae					
<i>Trichogramma</i> sp. a	Uovo	Endofago	C ⁽¹⁾	1,7	–
<i>Trichogramma</i> sp. b	Uovo	Endofago	C ⁽¹⁾	1,7	–
<i>Trichogramma</i> sp. c	Uovo	Endofago	Si ⁽¹⁾	1,7	–
<i>Trichogramma</i> sp. d	Uovo	Endofago	Sa ⁽¹⁾	0,4	–

C=Campania; Si =Sicilia; Sa=Sardegna, L= Liguria; T=Toscana

⁽¹⁾ ZAPPALÀ *et al.* (2012); ⁽²⁾ FERRACINI *et al.* (2012); ⁽³⁾ LONI *et al.* (2011); ⁽⁴⁾ RIZZO *et al.* (2011).

ne, a distribuzione paleartica, segnalato in rapporto a oltre 130 specie di fillominatori e galligeni, anche di notevole importanza economica, degli ordini Coleoptera, Diptera, Lepidoptera ed Hymenoptera (NOYES, 2003; BERNARDO *et al.*, 2008). Tuttavia va considerato che allo stato attuale il “concetto tassonomico” di *P. soemius* include un insieme di specie criptiche, alcune polifaghe altre stenofaghe (GEBIOLA *et al.*, 2012). I reperti ottenuti indicano che gli individui ottenuti da *T. absoluta* appartengono almeno a tre differenti specie criptiche. Le specie

riferibili a *P. soemius* s.l. mostrano un’elevata attività di predazione sia allo stadio larvale (host killing) sia allo stadio di adulto (host feeding) e sono quindi dei limitatori di specie fitofaghe potenzialmente molto efficaci (BERNARDO *et al.*, 2006).

- *Pnigalio cristatus* (= *Ratzeburgiola cristata*) (Ratzeburg) (Hymenoptera Eulophidae) è una specie europea segnalata a carico di numerosi fillominatori (Coleoptera, Diptera e Lepidoptera) (MASSA *et al.*, 2001; NOYES, 2003; VERCHER *et al.*, 2005).

- *Pnigalio incompletus* (= *Ratzeburgiola incompleta*) (Boucek) (Hymenoptera Eulophidae) segnalato in rapporto a numerosi ospiti fillominatori (Diptera, Lepidoptera e Coleoptera), ma anch'esso probabilmente rappresentato da varie specie criptiche a regime alimentare stenofago (GEBIOLA *et al.*, 2010).
- *Halticoptera aenea* (Walker) (Hymenoptera Pteromalidae) è un endoparassitoide cosmopolita polifago, prevalentemente associato a ditteri fillominatori (Agromyzidae) (NOYES, 2003).

Per tutte le suddette specie, a eccezione di *N. formosa* e *N. artynes*, le segnalazioni rappresentano una nuova associazione con *T. absoluta*.

DISCUSSIONI

I risultati di questi studi pongono in evidenza come, in un arco di tempo relativamente breve, numerose specie di parassitoidi nativi si siano adattati a riprodursi su di una specie invasiva. Infatti, in un'indagine preliminare condotta poco dopo l'arrivo di *T. absoluta* nel bacino Mediterraneo, erano state segnalate solo 4 specie di parassitoidi (due larvali e due oofaghe) (DESNEUX *et al.*, 2010). Confrontando i risultati dei lavori presentati con la composizione dei parassitoidi in Sud America, emerge un quadro con un numero di specie molto più basso (28 contro 48) (LUNA *et al.*, 2007; DESNEUX *et al.*, 2010), sebbene in termini di composizione relativa di famiglie e di specializzazione trofica le similitudini siano maggiori.

Le dinamiche di adattamento alla specie invasiva ricalcano quanto riscontrato in altri casi studio, con un livello di parassitizzazione relativamente basso, espletato perlopiù da generalisti idiobionti (CORNELL & HAWKINS, 1993). Va comunque sottolineato che frequentemente anche le comunità di parassitoidi vincolate alle specie di fillominatori indigeni, in Europa sono dominate da idiobionti (ASKEW & SHAW, 1974; HAWKINS & LAWTON, 1987; CORNELL & HAWKINS, 1993; HELLRIGL, 2001; NOYES, 2003).

Delle 6 famiglie a cui i parassitoidi ottenuti sono stati attribuiti, la più numerosa in termini di specie è stata quella degli Eulophidae. Nello studio condotto da ZAPPALÀ *et al.* (2012) i parassitoidi più abbondanti sono stati *Necremnus* sp. near *artynes*, *Bracon nigricans* e *Neochrysocharis formosa*, che hanno rappresentato circa il 70% degli individui raccolti, mentre nello studio di FERRACINI *et al.* (2012) *Necremnus* sp. near *artynes* e *Diadegma ledicola* hanno rappresentato oltre l'80% degli individui raccolti. *Necremnus artynes* ha rappresentato oltre il 90% delle catture nei campiona-

menti condotti da RIZZO *et al.* (2011), mentre LONI *et al.* (2011) hanno riferito esclusivamente di catture di *Agathis fuscipennis*.

Delle specie riportate in questi studi, *N. formosa* è l'unica specie presente anche in Sud America, dove è riportata come potenziale agente di controllo biologico (LUNA *et al.*, 2011). *Necremnus* sp. near *artynes*, è la specie che ha presentato la maggiore diffusione, essendo stata ottenuta in molte località monitorate lungo un arco temporale ampio (da maggio a ottobre). La notevole attività di questo parassitoide potrebbe essere messa in relazione all'abbondanza dei suoi ospiti primari, in particolare *Cosmopterix pulchrimella* Chambers su *Parietaria diffusa* (RIZZO, 1999). Il rapido utilizzo di *T. absoluta* sin dall'esordio della colonizzazione del bacino Mediterraneo, da parte di *Necremnus* sp. near *artynes* rappresenta un interessante esempio di flessibilità nella scelta dell'ospite, che potrebbe pertanto ricadere nella "geographic spread-hypothesis", mentre le numerose nuove associazioni riscontrate negli studi lungo un più ampio intervallo temporale, potrebbero far propendere per la necessità, delle specie coinvolte, di adattarsi gradualmente al nuovo ospite ed essere pertanto inquadrabili come esempi di "adjustment hypothesis" (CORNELL & HAWKINS, 1993). Tuttavia indagini di questo tipo richiederebbero in maniera preliminare un corretto inquadramento sistematico delle specie, con l'ausilio della caratterizzazione molecolare e studi comportamentali allo scopo di accertare in maniera precisa la reale gamma di ospiti. Infatti molti parassitoidi ritenuti polifagi in realtà possono rappresentare un complesso di specie criptiche con esigenze alimentari più ristrette di quanto precedentemente ritenuto (BERNARDO *et al.*, 2008; CHESTERS *et al.*, 2012; GEBIOLA *et al.*, 2012).

Nello studio di ZAPPALÀ *et al.* (2012) sono stati registrati livelli di parassitizzazione di *N. sp.* near *artynes* oscillanti dal 5 al 14%. Su *S. nigrum* LONI *et al.* (2011) hanno registrato un livello di parassitizzazione esercitato da *A. fuscipennis* di circa il 20%. L'indagine di RIZZO *et al.* (2011) è la sola a riportare livelli di parassitizzazione considerevoli (oltre l'80%) su melanzana in coltura protetta. Tuttavia gli studi di RIZZO *et al.* (2011) e LONI *et al.* (2011), avendo escluso dal calcolo della percentuale di parassitizzazione il numero delle larve, hanno ottenuto valori più alti e non immediatamente comparabili con i dati forniti da ZAPPALÀ *et al.* (2012).

È, inoltre, da evidenziare che, dato il peculiare comportamento di alcuni dei parassitoidi ritrovati che praticano sia l'*host feeding* distruttivo sia l'*host killing*, il calcolo della parassitizzazione

potrebbe portare a una sottostima della reale azione di controllo esercitata dal parassitoide (BERNARDO *et al.*, 2006).

I dati raccolti suggeriscono che l'abbondanza delle specie di parassitoidi è fortemente influenzata dalla ricchezza della flora spontanea. L'ingegnerizzazione ambientale attraverso un'opportuna gestione della flora spontanea, a livello aziendale e colturale, appare un'efficace tecnica per incrementare l'abbondanza dei nemici naturali e il loro impatto sulle popolazioni dei fitofagi (GARDINER *et al.*, 2009).

La conoscenza della bio-ecologia dei parassitoidi ritrovati rappresenterà un prerequisito per la messa a punto di strategie di controllo biologico di tipo conservativo, anche attraverso tecniche di aumento della variabilità nella coltura (LANDIS *et al.*, 2000).

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato supportato dal progetto PRIN “Biologia e controllo integrato di *Tuta absoluta* (Meyrick) in Italia” e in parte dal progetto SOS-Pom (CISIA) “Sviluppo di strategie di difesa ecocompatibili per migliorare la sostenibilità della produzione di pomodoro in zone ad alta vocazione del Sud Italia (SOS-POM)”.

RIASSUNTO

La minatrice del pomodoro *Tuta absoluta* (Meyrick), a partire dal suo arrivo in Europa dal Sud America, ha determinato consistenti perdite di produzione alle colture di pomodoro sia in pieno campo che in coltura protetta. In Italia diversi gruppi di lavoro hanno incominciato ad indagare sul complesso dei nemici naturali adattatisi a questa specie invasiva già a partire dal 2009, campionando colture di pomodoro (sia per il consumo fresco che per l'industria) ed ospiti secondari, sia coltivati (melanzana, patata) che spontanei (*Solanum nigrum*). Diverse specie di parassitoidi nativi si sono rivelate capaci di parassitizzare *T. absoluta*, seguendo un tipico processo di colonizzazione di una specie esotica. Infatti, la maggioranza delle specie rilevate ricade nel gruppo dei generalisti idiobionti, capaci di esercitare in pieno campo livelli di parassitizzazione non elevati. Le specie ritrovate appartengono a 13 generi e 6 famiglie (Ichneumonidae, Braconidae, Eulophidae, Elasmidae, Pteromalidae and Trichogrammatidae). In particolare le 16 specie identificate sono state: *Diadegma ledicola* Horstmann, *Diadegma pulchripes* (Kokujev), *Agathis fuscipennis* (Zetterstedt), *Bracon hebetor* (Say), *Bracon osculator* (Nees), *Bracon (Habrobracon) nigricans* Szeleny, *Chrysoschelis pentheus* (Walker), *Diglyphus crassinervis* Erdős, *Necremnus artynes* (Walker), *Necremnus* sp. near *artynes* (Walker), *Necremnus* sp. near *tidius* (Walker), *Neochrysochelis formosa* (Westwood), *Pnigalio soemius* s.l. (Walker), *Pnigalio cristatus* (Ratzeburg), *Pnigalio incompletus* (Boucek) and *Halticoptera aenea* (Walker). Per 13

specie tali reperti hanno rappresentato una nuova segnalazione di associazione ospite-*T. absoluta*. Queste indagini suggeriscono un potenziale ruolo dei parassitoidi indigeni nel limitare le popolazioni di *T. absoluta*, che potrebbero essere esaltate inserendo nello sviluppo di programmi di controllo integrato della minatrice del pomodoro nel Bacino Mediterraneo con opportune tecniche di ingegneria ambientale.

BIBLIOGRAFIA

- ALMA A., 1995 – *Ricerche bio-etologiche ed epidemiologiche su Holocacista rivillei Stainton (Lepidoptera Heliozelidae)*. - Redia, 78: 373-378.
- ASKEW R.R., SHAW M.R., 1974 – *An account of the Chalcidoidea parasitising leaf mining insects of deciduous trees in Britain*. - Biol. J. Linn. Soc., 6: 289-335.
- BERNARDO U., VIGGIANI G., 2002 – *Note biologiche sul Necremnus tidius (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae), ectoparassitoide di Cosmopterix pulchrimella Chambers (Lepidoptera: Cosmopterigidae)*. - Bollettino del Laboratorio di Entomologia agraria Filippo Silvestri, 58: 87-92.
- BERNARDO U., PEDATA P.A., VIGGIANI G., 2006 – *Life history of Pnigalio soemius (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae) and its impact on a leafminer host through parasitization, destructive host-feeding and host-stinging behavior*. - Biol. Control, 37: 98-107.
- BERNARDO U., MONTI M. M., NAPPO A. G., GEBIOLA M., RUSSO A., PEDATA P., VIGGIANI G., 2008 – *Species status of two populations of Pnigalio soemius (Hymenoptera: Eulophidae) reared from two different hosts: an integrative approach*. - Biol. Control, 46: 393-403.
- BIONDI A., DESNEUX N., SISCARO G., ZAPPALÀ L., 2012 – *Using organic-certified rather than synthetic pesticides may not be safer for biological control agents: selectivity and side effects of 14 pesticides on the predator Orius laevigatus*. - Chemosphere, 87: 803-812.
- BURKS R.A., HERATY J.M., GEBIOLA M., HANSSON C., 2011 – *Combined molecular and morphological phylogeny of Eulophidae (Hymenoptera: Chalcidoidea), with focus on the subfamily Entedoninae*. - Cladistics, 27: 1-25.
- COLAUTTI R.I., RICCIARDI A., GRIGOROVICH I.A., MACISAAC H.J., 2004 – *Is invasion success explained by the enemy release hypothesis?* - Ecol. Lett., 7: 721-733.
- CORNELL H.V., HAWKINS B.A., 1993 – *Accumulation of native parasitoid species on introduced herbivores: a comparison of hosts as natives and hosts as invaders*. - Am. Nat., 141: 847-865.
- CHESTERS D., WANG Y., YU F., BAI M., ZHANG T.-X., HU H.-Y., ZHU C.-D., LI C.-D., ZHANG Y.-Z., 2012 – *The integrative taxonomic approach reveals host specific species in an Encyrtid parasitoid species complex*. - (M.A. Smith, Ed.) PLoS ONE, 7: e37655. doi:10.1371/journal.pone.0037655.t002
- DESNEUX N., DECOURTYE A., DELPUECH J.M., 2007 – *The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods*. - Annual Review of Entomology, 52: 81-106.
- DESNEUX N., WAJNBERG E., WYCKHUYS K.A.G., BURGIO G., ARPAIA S., NARVAEZ-VASQUEZ C.A., GONZALEZ-CABRERA J., CATALAN RUESCAS D., TABONE E., FRANDON J., PIZZOL J., PONCET C., CABELLO T., URBANEJA A., 2010 – *Biological invasion of European tomato crops by Tuta absoluta: ecology, geographic expansion and prospects for biological control*. - Journal of Pest Science, 83: 197-215.

- DESNEUX N., LUNA M.G., GUILLEMAUD T., URBANEJA A., 2011 – *The invasive South American tomato pinworm, Tuta absoluta, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond: the new threat to tomato world production.* - Journal of Pest Science, 84: 403-408.
- FERRACINI C., INGEGNO B.L., NAVONE P., FERRARI E., MOSTI M., TAVELLA L., ALMA A., 2012 – *Adaptation of indigenous larval parasitoids to Tuta absoluta in Italy.* - J. Econ. Ent., 105:1311-1319.
- GABARRA R., ARNÒ J., 2010 – *Resultados de las experiencias de control biológico de la polilla del tomate en cultivo de invernadero y aire libre en Cataluña.* - Phytoma España, 217: 66-68.
- GARDINER M.M., LANDIS D.A., GRATTON C., DIFONZO C.D., O'NEAL M., CHACON J.M., WAYO M.T., SCHMIDT N.P., MUELLER E.E., HEIMPEL G.E., 2009 – *Landscape diversity enhances biological control of an introduced crop pest in the north-central USA.* - Ecological Applications, 19: 143-154.
- GEBIOLA M., GÓMEZ-ZURITA J., MONTI M.M., NAVONE P., BERNARDO U., 2012 – *Integration of molecular, ecological, morphological and endosymbiont data for species delimitation within the Pnigalio soemius complex (Hymenoptera: Eulophidae).* - Mol. Ecol., 21: 1190-1208.
- GEBIOLA M., BERNARDO U., BURKS R., 2010 – *A reevaluation of the generic limits of Pnigalio Schrank (Hymenoptera: Eulophidae) based on molecular and morphological evidence.* - Zootaxa, 2484: 35-44.
- GUREVITCH J., PADILLA D.K., 2004 – *Are invasive species a major cause of extinctions?* - Trends Ecol. Evol., 19: 470-474.
- HANSSON C., 1985 – *Taxonomy and biology of the Palearctic species of Chrysocharis Förster, 1856 (Hymenoptera: Eulophidae).* - Entomologia Scandinavica, supplement, 26: 1-130.
- HAWKINS B.A., LAWTON J.H., 1987 – *Species richness for parasitoids of British phytophagous insects.* - Nature, 326: 788-790.
- HELLRIGL K., 2001 – *Neue Erkenntnisse und Untersuchungen über die Roßkastanien-Miniermotte Cameraria ohridella Deschka & Dimic, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae).* - Gredleriana, 1: 9-81.
- HOOPER D.U., CHAPIN F.S., EWEL J.J., HECTOR A., INCHAUSTI P., LAVOREL S., LAWTON J.H., LODGE D.M., LOREAU M., NAEEM S., SCHMID B., SETALA H., SYMSTAD A.J., VANDERMEER J., WARDLE D.A., 2005 – *Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge.* - Ecol. Monogr., 75: 3-35.
- KEANE R.M., CRAWLEY M.J., 2002 – *Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis.* - Trends Ecol. Evol., 17: 164-170.
- LANDIS D.A., WRATTEN S.D., GURR G.M., 2000 – *Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture.* - Annual Review of Entomology, 45: 175-201.
- LIETTI M.M., BOTTO E., ALZOGARAY R.A., 2005 – *Insecticide resistance in argentine populations of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae).* - Neotropical Entomology, 34: 113-119.
- LONI A., ROSSI E., VAN ACHTERBERG K., 2011 – *First report of Agathis fuscipennis in Europe as parasitoid of the tomato leafminer Tuta absoluta.* - Bulletin of Insectology, 64: 115-117.
- LUNA M.G., SÁNCHEZ N.E., PEREYRA P.C., 2007 – *Parasitism of Tuta absoluta (Lepidoptera, Gelechiidae) by Pseudapanteles dignus (Hymenoptera, Braconidae) under laboratory conditions.* - Environmental Entomology, 36: 887-893.
- LUNA M.G., WADA V.I., LA SALLE J., SÁNCHEZ N.E., 2011 – *Neochrysocharis formosa (Westwood) (Hymenoptera: Eulophidae), a newly recorded parasitoid of the Tomato moth, Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), in Argentina.* - Neotropical Entomology, 40: 412-414.
- MACISAAC H.J., GRIGOROVICH I.A., RICCIARDI A., 2001 – *Reassessment of species invasion concepts: the Great Lakes basin as a model.* - Biol. Inv., 3: 405-416.
- MASSA B., RIZZO M.C., CALECA V., 2001 – *Natural alternative hosts of Eulophidae (Hymenoptera: Chalcidoidea) parasitoids of the Citrus leafminer Phyllocnistis citrella Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) in the Mediterranean Basin.* - Journal of Hymenoptera Research, 10: 91-100.
- MITCHELL C.E., POWER A.G., 2003 – *Release of invasive plants from fungal and viral pathogens.* - Nature, 421: 625-627.
- MOLLÁ O., ALONSO M., MONTON H., BEITIA F., VERDÚ M.J., GONZÁLEZ-CABRERA J., URBANEJA A., 2010 – *Control biológico de Tuta absoluta: catalogación de enemigos naturales y potencial de los miridos depredadores como agentes de control.* - Phytoma España, 217: 42-47.
- NOYES J.S., 2003 – *Universal Chalcidoidea Database.- World Wide Web electronic publication.* [online] URL: <http://www.nhm.ac.uk/entomology/chalcids/index.html>.
- ORTU S., FLORIS I., 1989 – *Indagine preliminari per il controllo di Phthorimaea operculella su coltivazioni di patata in Sardegna.* - La Difesa delle Piante, 12: 81-88.
- PARENTI U., BERGAMASCO P., SCARAMOZZINO P. L., VARALDA P. G., 1995 – *Limitatori naturali degli Elachistidae (Lepidoptera).* - Bollettino del Museo Regionale di Scienze Naturali di Torino, 13: 45-76.
- PUCCI C., SPANEDDA A.F., MINUTOLI E., 2003 – *Field study of parasitism caused by endemic parasitoids and by the exotic parasitoid Copidosoma koehleri on Phthorimaea operculella in Central Italy.* - Bulletin of Insectology, 56: 221-224.
- RIZZO M.C., 1999 – *Entomofauna della flora sinantropica e relazioni con quella di alcuni agroecosistemi.* - Tesi di dottorato in Entomologia Agraria, XII ciclo: 82 pgg.
- RIZZO M.C., MARGIOTTA V., CALECA V., 2011 – *Necremnus artynes parassitoide di Tuta absoluta su pomodoro, melanzana e Solanum nigrum in serra a conduzione biologica.* - Atti del Congresso Nazionale di Entomologia, 2011, pg. 357.
- SILVA G.A., PÍCANÇO M.C., BACCI L., CRESPO A.L., ROSADO J.F., GUEDES R.N.C., 2011 – *Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, Tuta absoluta.* - Pest Management Science, 67: 913-920.
- SIMBOLOTTI G., VAN ACHTERBERG C., 1999 – *Revision of the West Palaearctic species of the genus Agathis Latreille (Hymenoptera: Braconidae).* - Zoologische Verhandlungen Leiden, 325: 3-167.
- SIQUEIRA H.A.A., GUEDES R.N.C., PÍCANÇO M.C., 2000 – *Insecticide resistance in populations of Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae).* - Agricultural and Forest Entomology, 2: 147-153.
- TORCHIN M.E., LAFFERTY K.D. & KURIS A.M., 2002 – *Parasites and marine invasions.* - Parasitology, 124: S137-S151.
- TORCHIN M.E., LAFFERTY K.D., DOBSON A.P., MCKENZIE V.J., KURIS A.M., 2003 – *Introduced species and their missing parasites.* - Nature, 421: 628-630.

- TROPEA GARZIA G., SISCARO G., COLOMBO A., CAMPO G., 2009 – *Rinvenuta in Sicilia Tuta absoluta*. - L'Informatore Agrario, 65: 71.
- URBANEJA A., LLÁCER E., TOMÁS O., GARRIDO A., JACAS J.A., 2000 – *Indigenous natural enemies associated with Phyllocnistis citrella (Lepidoptera: Gracillariidae) in Eastern Spain*. - Biol. Control, 18: 199-207.
- VERCHER R., COSTA-COMELLES J., MARZAL C., GARCÍA-MARÍ F., 2005 – *Recruitment of native parasitoid species by the invading leafminer Phyllocnistis citrella (Lepidoptera: Gracillariidae) on citrus in Spain*. - Environ. Entom., 34: 1129-1138.
- VIGGIANI G., FILELLA F., DELRIO G., RAMASSINI W., FOXI C., 2009 – *Tuta absoluta, nuovo lepidottero segnalato anche in Italia*. - L'Informatore Agrario, 65: 66-68.
- VITOUSEK P.M., D'ANTONIO C.M., LOOPE L.L., WESTBROOKS R., 1996 – *Biological invasions as global environmental change*. - Am. Sci., 84: 218-228.
- YU D.S.K., VAN ACHTERBERG C., 2010 – *Taxapad Ichneumonoidea (May 2009 version)*. - In: *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life: 2010 Annual Checklist* (Bisby F. A., Roskov Y. R., Orrell T. M., Nicolson D., Paglinawan L. E., Bailly N., Kirk P. M., Bourgoin T., Baillargeon G., Eds). - DVD, Species 2000, Reading, UK.
- ZAPPALÀ L., BERNARDO U., BIONDI A., COCCO A., DELIPERI S., DELRIO G., GIORGINI M., PEDATA P., RAPISARDA C., TROPEA GARZIA G., SISCARO G., 2012 – *Recruitment of native parasitoids by the exotic pest Tuta absoluta in Southern Italy*. - Bulletin of Insectology 65: 51-61.

ADATTAMENTO DI LIMITATORI INDIGENI DI *TUTA ABSOLUTA* IN ITALIA: IL PARASSITOIDE *BRACON NIGRICANS*

LUCIA ZAPPALÀ (*) - ANTONIO BIONDI (*) (**) - GAETANO SISCARO (*)
GIOVANNA TROPEA GARZIA (*) - KEES VAN ACHTERBERG (***) - NICOLAS DESNEUX (**)

(*) Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agroalimentari e Ambientali, Università degli Studi di Catania, Italy; e-mail: lzappala@unict.it

(**) French National Institute for Agricultural Research (INRA), Sophia-Antipolis, France.

(***) Department of Terrestrial Zoology, Netherlands Centre for Biodiversity Naturalis, Leiden, The Netherlands

Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La Tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick)". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 17 febbraio 2012.

Adaptation of indigenous parasitoids to Tuta absoluta in Italy: the parasitic wasp Bracon nigricans

During the years following the first report in Italy of the South American tomato pinworm, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), several indigenous generalist parasitoids have been recorded on this new host. Among these, only a few have been identified as potential biological control agents for the pest. In particular, the parasitoid *Bracon nigricans* Szépligeti (Hymenoptera: Braconidae), widely distributed in the whole Palaearctic region, has been largely found on the invasive moth. Data on *B. nigricans* biological traits on *T. absoluta* are here reported. Laboratory trials have been conducted to define the parasitoid host stage preference, its life tables, the young instars developmental time, its longevity, its reproductive behaviour, its progeny sex-ratio, the wasp host-killing activity, the effect of the host density on the parasitoid fecundity, fertility and biocontrol activity and the effect of a sugary-proteic diet on the adults performance. *Bracon nigricans* proved to be an idiobiont, synovigenic, gregarious, ectoparasitoid of *T. absoluta* 3rd and 4th instar larvae, with a slightly male-biased sex-ratio. Female wasps showed behavioural plasticity in host use, as initial host paralysis was followed by either host-feeding, oviposition or a rejection of the host. This led to high mortality rate in the exposed hosts (around 70%). While, only 33% of the laid parasitoid eggs reached adulthood, suggesting that the exotic moth showed only a partial suitability for the endemic parasitoid development. Although further field studies are needed, data obtained under laboratory conditions suggest that *B. nigricans* could be considered as a potential biological control agent of *T. absoluta* in the newly invaded areas.

KEY WORDS: Biology behaviour, Host-feeding, Life tables, Biological control, Tomato.

INTRODUZIONE

Il successo dell'insediamento di specie esotiche in aree di nuova colonizzazione è legato a una maggiore competitività rispetto alle specie indigene, nonché al ridotto controllo da parte degli agenti biotici di contenimento (GRABENWEGER *et al.*, 2010). Nelle aree di nuova colonizzazione, infatti, il numero dei nemici naturali presenti può essere ridotto, così come la loro efficacia nel contenimento delle specie esotiche. È altresì necessario tenere in considerazione che gli entomofagi indigeni necessitano tempo per adattarsi e controllare efficacemente le specie esotiche. Sono noti numerosi esempi di specie invasive su cui si sviluppa un ridotto numero di parassitoidi indigeni, per lo più costituiti da idiobionti che non devono adattarsi alla fisiologia del proprio ospite e possono pertanto spostarsi facilmente su nuovi ospiti (ASKEW e SHAW, 1986), assicurando in alcuni casi, un efficace controllo dei fitofagi (GODFRAY *et al.*, 1995; URBANEJA *et al.*, 2000). La

maggior parte di questi esempi, ovvero i fitofagi più vulnerabili, è rappresentata da specie endofitiche (GIRARDOZ *et al.*, 2006). La conoscenza della composizione e del ruolo dei fattori biotici di controllo e delle strategie per preservarli, è pertanto considerata una priorità nella messa a punto di efficaci strategie di controllo di fitofagi esotici (VAN LENTEREN e WOETS, 1988).

Il contesto nel quale si inserisce questo lavoro è quello dello studio della composizione del complesso parassitario in fase di adattamento al fitofago esotico delle Solanacee *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), nelle aree di nuova colonizzazione, e l'individuazione di potenziali agenti di controllo biologico¹. Diverse specie indigene di predatori e parassitoidi generalisti sono state trovate svilupparsi a carico di *T.*

¹ I risultati dello studio sui parassitoidi indigeni adattatisi a *T. absoluta* sono stati presentati, nel medesimo incontro, da M. Giorgini. Il suo contributo è pubblicato in questo stesso volume.

absoluta nel bacino del Mediterraneo e il loro ruolo come fattori di contenimento delle popolazioni del fitofago è ancora in corso di definizione (DESNEUX *et al.*, 2010; GABARRA & ARNÓ, 2010; MOLLÁ *et al.*, 2010; DO ANLAR & YI IT, 2011; LONI *et al.*, 2011; AL-JBOORY *et al.*, 2012; CHAILLEUX *et al.*, 2012; FERRACINI *et al.*, 2012; URBANEJA *et al.*, 2012; ZAPPALÀ *et al.*, 2012a). Tra questi si inserisce *Bracon* (*Habrobracon*) *nigricans* Szépligeti (= *concolorans* Marshall; *concolor* Thomson; *mongolicus* Telenga) (Hymenoptera: Braconidae), ectoparassitoide larvale a distribuzione Palearctica, già segnalato su diverse specie di Lepidotteri (YU & VAN ACHTERBERG, 2010). Tra i suoi ospiti se ne annoverano alcuni d'interesse applicato, quali ad esempio la tignola della patata, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), sulla quale il braconide era già stato rinvenuto in Sardegna (ORTU & FLORIS, 1989).

Bracon nigricans è stato recentemente segnalato per la prima volta in associazione con *T. absoluta* in Sicilia (ZAPPALÀ *et al.*, 2012a) e successivamente in Spagna (URBANEJA *et al.*, 2012) e in Giordania (AL-JBOORY *et al.*, 2012). Al fine di stabilire le potenziali capacità di controllo biologico di questa specie, sono stati avviati studi volti ad acquisire conoscenze di base sulla sua biologia e sulla sua strategia riproduttiva a carico del nuovo ospite (BIONDI *et al.*, 2012a). A tal fine sono state condotte prove di laboratorio atte a definire: (i) la preferenza per lo stadio dell'ospite in condizioni di scelta; (ii) le tavole di sopravvivenza e di durata dello sviluppo degli stadi giovanili; (iii) la longevità, la riproduzione degli adulti e la *sex-ratio* della loro progenie; (iv) l'attività di *host-killing* di tipo sia riproduttivo che non; (v) l'effetto della densità dell'ospite sulla fecondità, sulla fertilità e sull'attività di biocontrollo espressa in termini di ospiti uccisi e (vi) l'effetto di un nutrimento artificiale zuccherino-proteico nelle *performance* degli adulti.

ALLEVAMENTO DEGLI INSETTI

I ceppi del fitofago, *T. absoluta*, e del parassitoide, *B. nigricans*, sono stati ottenuti durante campionamenti condotti in coltivazioni commerciali di

pomodoro in pieno campo in Sicilia orientale, in agosto 2010 (ZAPPALÀ *et al.*, 2012a). Gli insetti utilizzati per la realizzazione dei biosaggi sono stati mantenuti su ospite vegetale naturale (piante di pomodoro cv. Marmande), all'interno di gabbie con una struttura in PVC ricoperta di rete anti-insetto, in condizioni ambientali controllate (25 ± 1 °C; $60 \pm 10\%$ U.R. e un fotoperiodo di 14L:10D). Le stesse condizioni sono state mantenute durante lo svolgimento di tutti i biosaggi.

PREFERENZA PER LO STADIO DELL'OSPITE

Al fine di stabilire lo stadio del fitofago preferito da *B. nigricans*, è stato condotto un esperimento in condizioni di scelta esponendo 5 esemplari di ciascuno degli stadi preimmaginali di sviluppo di *T. absoluta* (uova, L1, L2, L3, L4 e crisalidi) a una femmina e due maschi neo-sfarfallati (≤ 48 ore) di *B. nigricans* per 72 h. Il biosaggio è stato effettuato all'interno di piastre Petri (130 mm di diametro) dotate nella parte superiore di un'apertura coperta con rete a maglia fine per assicurare un'adeguata areazione dell'arena sperimentale. All'interno della stessa venivano anche poste microgocce di miele e sei foglioline, appena recise, di pomodoro. Al termine del periodo di esposizione sono stati registrati il numero di esemplari parassitizzati, divisi per stadio di sviluppo, e il numero di uova deposte per ciascuno stadio parassitizzato.

I risultati ottenuti hanno messo chiaramente in evidenza che l'attività di ovideposizione è significativamente influenzata dallo stadio biologico del fitofago, sia come percentuale di parassitizzazione che come numero medio di uova deposte per stadio. Entrambi tali valori sono risultati significativamente più elevati sulle larve di 3^a e 4^a età (Tab. 1). In particolare, *B. nigricans* ha parassitizzato il 31,98% ($\pm 4,30$) delle larve di 3^a età e il 61,87% ($\pm 4,03$) delle larve di 4^a età; significativamente inferiore è stata la parassitizzazione sulle larve di 2^a età ($6,15 \pm 2,71\%$) e nessuna attività è stata invece registrata su uova, larve di 1^a età e crisalidi (Tab. 1). Il numero medio di uova deposte per stadio parassitizzato è stato pari a 0,36 ($\pm 0,15$) sulle L2, 1,11 ($\pm 0,06$) sulle L3 e 1,78 ($\pm 0,20$) sulle L4 (Tab. 1).

Tabella 1 – Preferenza per lo stadio dell'ospite: Percentuale di stadi parassitizzati e numero di uova deposte nei vari stadi dell'ospite (media $\pm$ ES) da parte di femmine di *Bracon nigricans* in condizioni di scelta.

	Uova	L1	L2	L3	L4	crisalidi
Percentuale ospiti parassitizzati	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	6,15 $\pm$ 2,71	31,98 $\pm$ 4,30	61,87 $\pm$ 4,03	0,00 $\pm$ 0,00
Numero uova deposte per stadio	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,36 $\pm$ 0,15	1,11 $\pm$ 0,06	1,78 $\pm$ 0,20	0,00 $\pm$ 0,00

TAVOLE DI SOPRAVVIVENZA DEGLI STADI
PREIMMAGINALI

Il tempo di sviluppo e la sopravvivenza degli stadi giovanili di *B. nigricans* sono stati studiati seguendo lo sviluppo di uova deposte di recente (≤ 6 ore) fino allo sfarfallamento degli adulti. Quaranta femmine coetanee (10 giorni dal loro sfarfallamento), fecondate e con esperienza di ovideposizione, sono state poste singolarmente in piastre Petri da 2,5 cm di diametro insieme a una larva di 4^a età di *T. absoluta* (che è risultato lo stadio preferito dal parassitoide in base alle osservazioni precedenti) e alcune microgocce di miele. Prima dell'esposizione all'attività parassitaria, le larve dell'ospite sono state precedentemente pesate ($3,583 \pm 0,092$ mg in media; min: 3 mg; max 4 mg), considerato che il peso dell'ospite può significativamente influenzare lo sviluppo degli stadi giovanili del parassitoide (HARDY *et al.*, 1992). Dopo 6 ore di parassitizzazione le femmine venivano spostate in una nuova piastra Petri con una nuova larva, mentre le larve parassitizzate che presentavano 1 e 2 uova di *B. nigricans* venivano isolate per la prova. La decisione di scegliere questa dimensione di gruppo di uova deposte in un singolo evento (*clutch*) è stata presa in conformità a prove preliminari da cui è risultato che il numero medio di uova deposte dalle femmine di *B. nigricans* per ciascuna larva di *T. absoluta* è pari a circa 1,5 (BIONDI & ZAPPALÀ, dati non pubblicati). Pertanto sono stati isolati 50 *clutch* composti da un solo uovo e 50 *clutch* composti da 2. Il tempo di sviluppo e la sopravvivenza delle uova, delle larve e delle pupe sono stati controllati registrati a intervalli di 6 ore fino allo sfarfallamento degli adulti.

Lo sfarfallamento degli adulti di *B. nigricans* da uova neo-deposte è avvenuto dopo $269,65 \pm 2,70$ e $270,67 \pm 7,32$ ore (circa 11 giorni) per femmine e maschi rispettivamente, senza differenze significative tra i sessi (Tab. 2). Allo stesso modo nessuna differenza significativa tra i due sessi è stata rilevata nella durata dello sviluppo dei singoli stadi. In questa prova sono stati ottenuti 56 adulti in totale, di cui 22 femmine e 34 maschi, con una *sex-ratio* pertanto pari a 0,60 maschi/tot. Il tasso totale di sopravvivenza degli stadi giovanili (da uovo ad adulto) di *B. nigricans* su larve di 4^a età di *T. absoluta* è risultato pari a $37,4 \pm 4,11$ %. La quota di mortalità più elevata è stata registrata allo stadio larvale, quando solo il $42,63 \pm 4,49$ % delle larve è sopravvissuto. Differentemente, la quota di schiusura delle uova è stata dell' $86,4 \pm 2,90$ % mentre si sono ottenuti sfarfallamenti di adulti dal $98,11 \pm 1,88$ % delle pupe. Nonostante questa prova sia stata condotta utilizzando lo stadio dell'ospite pre-

Tabella 2 – Tavole di sopravvivenza delle forme giovanili: Tempo di sviluppo, in ore, dei diversi stadi giovanili maschili e femminili (media $\pm$ ES) di *Bracon nigricans*.

	Femmine	Maschi
Uovo	$27,35 \pm 1,01$	$27,83 \pm 0,83$
Larva	$68,50 \pm 5,26$	$72,73 \pm 4,10$
Pupa	$173,80 \pm 4,41$	$175,17 \pm 6,43$
Totale	$269,65 \pm 2,70$	$270,67 \pm 7,32$

ferito dal parassitoide e selezionando le più comuni dimensioni del *clutch*, ulteriori prove dovrebbero essere condotte per valutare il ruolo della dimensione dell'ospite e del *clutch* nello sviluppo del parassitoide (HARDY *et al.*, 1992).

Il successo dell'attività parassitaria, dopo l'accettazione dell'ospite e pertanto lo sviluppo larvale del parassitoide, può dipendere da molteplici fattori fisiologici e genetici. Solitamente le interazioni tra parassitoide e ospite sono mediate da prodotti genici che le femmine del parassitoide iniettano nella vittima al momento dell'ovideposizione o che la progenie produce durante il suo sviluppo (PENNACCHIO & STRAND, 2006). Queste peculiari componenti inducono complesse alterazioni fisiologiche nell'ospite, in particolare a carico del suo sistema immunitario, favorendo lo sviluppo del parassitoide. Tali fattori sono molto studiati nel caso degli endoparassitoidi e, nonostante lo siano molto meno per gli ectoparassitoidi (PENNACCHIO & STRAND, 2006), il ridotto sviluppo larvale registrato nelle prove condotte suggerisce di interpretare le interazioni ospite/parassitoide anche in una prospettiva coevolutiva. In particolare, la mancanza di coevoluzione nel complesso *T. absoluta*-pomodoro e *B. nigricans* potrebbe giustificare l'assenza dei suddetti meccanismi e pertanto il ridotto sviluppo larvale. Un altro fattore che potrebbe avere influito sullo sviluppo larvale del parassitoide è la potenziale presenza di sostanze tossiche all'interno delle larve ospiti (DESNEUX *et al.*, 2009). In particolare, alcuni metaboliti secondari presenti nelle solanacee sono ben noti per le loro proprietà insetticide (NENAAH, 2011) e alcuni di questi potrebbero essere sequestrati dalla larve di *T. absoluta* e così veicolati indirettamente alle larve del parassitoide.

TAVOLE DI SOPRAVVIVENZA DEGLI ADULTI

Valori età-specifici di sopravvivenza, attività riproduttiva e di biocontrollo delle femmine del parassitoide sono stati studiati a temperatura costante (25 ± 1 °C). I valori giornalieri di riproduzione e di mortalità indotta nell'ospite non legata

ad attività riproduttiva (*host-stinging* e *host-feeding* non seguiti da ovideposizione) sono stati registrati su 15 femmine neo-sfarfallate (<12 ore) poste a contatto con 5 larve mature di *T. absoluta* ogni 24 ore in piastre Petri da 90 mm di diametro in presenza di microgocce di miele e foglioline di pomodoro appena recise. Per assicurare che le femmine fossero fecondate e si accoppiassero per l'intera durata della vita, per ogni femmina venivano aggiunti 2 maschi, che venivano rimpiazzati con altri maschi neosfarfallati ogni settimana. Giornalmente venivano registrati: (i) il numero di larve uccise e non parassitizzate, (ii) il numero di larve parassitizzate (cioè quelle che presentavano sul loro corpo o all'interno della propria mina almeno un uovo), (iii) il numero di uova deposte, (iv) la dimensione del *clutch* e (iv) la sopravvivenza del parassitoide. Gli esemplari sopravvissuti erano poi trasferiti in piastre con nuove larve, mentre le larve precedentemente esposte venivano allevate fino allo sfarfallamento degli adulti per registrare numero e *sex-ratio* della progenie del parassitoide. Inoltre, per valutare se il contatto con l'ospite e pertanto l'attività di *host-feeding* potesse avere un'influenza sulla longevità delle femmine di *B. nigricans*, questa, oltre che nella prova sopra descritta, è stata misurata anche in assenza delle larve ospiti. Venti femmine e venti maschi neosfarfallati (<12 ore) sono stati isolati singolarmente all'interno di tubi in vetro (185 mm di lunghezza e 25 mm di diametro), chiusi con tappi in cotone e provvisti di microgocce di miele rinnovate ogni 5 giorni, quindi la sopravvivenza è stata registrata giornalmente.

Le femmine di *B. nigricans* hanno fatto registrare, come la maggior parte dei parassitoidi sinovigenici (JERVIS *et al.*, 2001), un breve periodo di pre-ovide-

posizione della durata media di $1,27 \pm 0,3$ giorni che rappresenta solo una minima parte dell'intera durata della vita. Il periodo di ovideposizione è durato $37,60 \pm 3,25$ giorni con una media di $1,66 \pm 0,14$ uova (min 0, max 8) deposte per femmina per giorno. Un totale di $82,8 \pm 7,81$ uova (min 48, max 127) sono state deposte da una femmina nel corso dell'intera vita. I valori medi di ovideposizione giornaliera sono risultati variabili tra 0 e $3,6 \pm 0,55$ uova deposte/femmina il 18° giorno, mentre il picco di sfarfallamenti ($1,7 \pm 0,43$ adulti/femmina/giorno), è stato registrato nel caso delle femmine di 16 giorni di età. La progenie prodotta lungo l'intero corso della vita è stata pari a $29,79 \pm 3,01$ (min 13, max 40) adulti/femmina, con una *sex-ratio* di $0,63 \pm 0,05$ maschi sfarfallati sul totale della progenie. L'attività di ovideposizione di *B. nigricans* è risultata irregolare e tale andamento potrebbe essere legato all'oogenesi nelle specie sinovigeniche con uova anidropiche, come la congenere *B. hebetor* (Say) le cui femmine hanno un corto ovidotto e ovari provvisti di pochi ovaroli che non sono in grado di contenere un ampio numero di uova grandi e ricche di tuorlo (JERVIS & KIDD, 1986).

Il numero di uova deposte per ospite parassitizzato è risultato uniforme nel corso della vita, con un livello di gregarismo (media generale $1,52 \pm 0,07$; max 5 uova deposte/ospite parassitizzato) non differente in maniera significativa tra le settimane di vita delle femmine (Tab. 3). Dai risultati ottenuti dalle suddette prove emerge che le femmine di *B. nigricans*, a densità costanti dell'ospite, non modificano la dimensione del *clutch* in funzione della loro età e pertanto del loro carico di uova, mentre quando il carico di uova è massimo, esso viene suddiviso tra un numero più elevato di ospiti, aumentando così il numero di larve parassi-

Tabella 3 – Tavole di sopravvivenza degli adulti: Medie settimanali ($\pm$ ES) dei valori età specifici dei parametri biologici di femmine di *Bracon nigricans*.

	1ª settimana	2ª settimana	3ª settimana	4ª settimana	5ª settimana	6ª settimana	7ª settimana
N. medio uova deposte giorno/femmina	$1,95 \pm 0,27$	$2,35 \pm 0,54$	$2,51 \pm 0,18$	$2,27 \pm 0,32$	$1,72 \pm 0,36$	$0,91 \pm 0,20$	$0,40 \pm 0,21$
N. medio uova deposit /ospite parassitizzato (grado di gregarismo)	$1,62 \pm 0,11$	$1,39 \pm 0,12$	$1,54 \pm 0,08$	$1,54 \pm 0,12$	$1,52 \pm 0,11$	$1,28 \pm 0,11$	$1,63 \pm 0,06$
N. medio progenie prodotta/giorno/femmina	$0,37 \pm 0,08$	$0,85 \pm 0,20$	$1,00 \pm 0,1$	$0,87 \pm 0,13$	$0,63 \pm 0,13$	$0,38 \pm 0,09$	$0,09 \pm 0,05$
% ospiti parassitizzati	$24,38 \pm 2,63$	$29,14 \pm 4,82$	$35,84 \pm 2,74$	$30,98 \pm 4,14$	$21,32 \pm 4,57$	$12,86 \pm 2,42$	$4,93 \pm 2,52$
% ospiti paralizzati	$46,48 \pm 2,45$	$47,62 \pm 4,02$	$43,75 \pm 3,83$	$45,46 \pm 4,24$	$33,96 \pm 6,34$	$34,00 \pm 3,39$	$22,12 \pm 4,95$
<i>Sex-ratio</i> media della progenie (mm/totale)	$0,94 \pm 0,03$	$0,66 \pm 0,04$	$0,62 \pm 0,08$	$0,59 \pm 0,10$	$0,63 \pm 0,11$	$0,54 \pm 0,14$	$0,52 \pm 0,02$
Media della sopravvivenza degli stadi giovanili della progenie	$13,82 \pm 2,23$	$32,29 \pm 3,09$	$36,96 \pm 3,73$	$35,57 \pm 4,33$	$32,44 \pm 6,00$	$22,22 \pm 5,07$	$12,78 \pm 0,73$

tizzate nel periodo di maggiore produzione delle uova. Infatti, i valori settimanali di ospiti parassitizzati hanno raggiunto il loro massimo quando il carico di uova da deporre era altrettanto elevato, cioè nel corso della 3^a settimana ($35,83 \pm 2,73$ %) con dati significativamente differenti se confrontati con quelli registrati nelle ultime 2 settimane (Tab. 3). Questi risultati sono da mettere in relazione soprattutto con la fase di senescenza riproduttiva delle femmine i cui ovari non presentano più oociti (MANGEL & HEIMPEL, 1998). In realtà, è stato registrato un periodo di post-ovideposizione della durata di $3,67 \pm 0,6$ giorni.

Sia il numero di uova deposte che la progenie prodotta per settimana hanno seguito questo andamento ed entrambi i valori sono risultati significativamente differenti tra le settimane (Tab. 3). In particolare, la massima attività riproduttiva è stata registrata nella 3^a settimana, con una media di $2,51 \pm 0,18$ uova deposte/femmina/giorno e $1,00 \pm 0,13$ progenie prodotta/femmina/giorno (Tab. 3).

La *sex-ratio* della progenie ha fatto registrare differenze statisticamente significative tra le settimane di vita delle femmine. In particolare i suoi valori sono variati tra $0,94 \pm 0,03$ e $0,52 \pm 0,02$ maschi sfarfallati/progenie totale (Tab. 3). Ciò suggerisce che le femmine di *B. nigricans* presentano partenogenesi arrenotoca e che le uova deposte nei primi giorni di ovideposizione sono aploidi (non fecondate), dato che le femmine necessitano di tempo per accoppiarsi con successo dopo il loro sfarfallamento. Inoltre, la *sex-ratio* della progenie totale è risultata lievemente sbilanciata a favore dei maschi ($0,62 \pm 0,05$ maschi/progenie totale). Ciò può essere spiegato col fatto che, così come si osserva in molte specie di braconidi, le uova non fecondate danno origine a maschi aploidi, mentre le fecondate (diploidi) possono svilupparsi in maschi o femmine. Inoltre, l'aplodiploidia è associata ad un meccanismo genetico tipico di molti Imenotteri i quali se eterozigoti al locus del sesso si sviluppano come femmine, mentre se omozigoti o emizigoti allo stesso locus si sviluppano come maschi diploidi e aploidi (HEIMPEL & DE BOER, 2008). Ciò comporta che a maggiori livelli di eterozigosi, generalmente presenti nelle popolazioni naturali, corrisponde una *sex-ratio* a favore delle femmine, mentre al contrario nelle popolazioni ottenute da allevamenti, come nel caso di questo studio, alti livelli di inbreeding portano all'incremento della quota di maschi nella popolazione (HEIMPEL *et al.*, 1999; BIONDI *et al.*, 2012a). Inoltre, numerosi sono i casi noti di ridotta o nulla sopravvivenza di maschi diploidi, come riscontrato per esempio in diverse specie del genere *Bracon* (HOLLOWAY *et al.*, 1999). Pertanto, la

ridotta *fitness* dei maschi diploidi di *B. nigricans* dovrebbe essere ulteriormente indagata per spiegare la sua *sex-ratio*, così come il suo ridotto tasso di sviluppo da uovo ad adulto.

Le osservazioni giornaliere sulle uova deposte e sugli adulti di conseguenza sviluppati hanno mostrato che, nonostante la media generale della percentuale di adulti sfarfallati per uova deposte nel corso dell'intera vita ($32,11 \pm 3,43$ %) fosse simile a quella ottenuta nella prova sullo sviluppo delle forme pre-immaginali, questo valore è risultato fortemente legato all'età della madre. In particolare, le percentuali della 1^a e della 7^a settimana ($13,82 \pm 2,23$ % e $12,78 \pm 0,73$ %, rispettivamente) erano significativamente inferiori rispetto alle percentuali di sviluppo osservate nelle altre settimane (Tab. 3). Pertanto, i risultati ottenuti in queste prove dimostrano che le strategie riproduttive delle femmine di *B. nigricans* sono fortemente correlate alla loro età. In tal modo potrebbe spiegarsi la produzione di progenie di scarsa qualità (per esempio uova meno vitali), durante la 1^a e la 7^a settimana. Le giovani femmine di *B. nigricans*, come la maggioranza degli Imenotteri sinovigenici, hanno necessità di alimentarsi sull'ospite per allocare risorse nutritive nei processi riproduttivi e pertanto la progenie prodotta inizialmente potrebbe essere di qualità inferiore rispetto a quella delle femmine con esperienza (JERVIS & KIDD, 1986). La produzione di progenie di qualità ridotta prima della limitazione nella dotazione di uova della madre (*senescenza riproduttiva*) è già documentata per altre specie di braconidi (MANGEL & HEIMPEL, 1998).

Un'altra ipotesi per spiegare questo risultato è il compromesso riproduttivo della madre tra *host-feeding* e ovideposizione; in altri termini, a causa di esigenze nutrizionali maggiori, le femmine giovani e vecchie possono praticare più *host-feeding*, nonché quest'ultimo associato a ovideposizione sullo stesso ospite. Infatti, nella maggioranza dei sistemi ospite-parassitoide, le punture di alimentazione sull'ospite sono di tipo distruttivo, cioè uccidono l'ospite e lo rendono inadatto alla ovideposizione, mentre in altri sistemi, come in quello *B. nigricans*/*T. absoluta*, i singoli ospiti possono sostenere sia parassitizzazione che punture di alimentazione (JERVIS & KIDD, 1986).

Le femmine di *B. nigricans* uccidono le larve dell'ospite con una iniezione di veleno che causa, dopo pochi secondi, una paralisi permanente. Dopo questa immobilizzazione dell'ospite, le femmine hanno mostrato un'intensa attività di *host-stinging* seguita da ovideposizione o da *host-feeding*. Quest'ultima attività da parte di *B. nigricans* è stata provata dalla presenza di "tubi di alimentazione" costruiti dalla femmine del parassitoide

(BIONDI, osservazione personale). È ben noto che le sostanze ottenute a seguito delle punture di alimentazione sono utilizzate per maturare le uova e, senza eccezioni, le specie che si nutrono allo stadio adulto sull'ospite sono sinovigeniche (JERVIS & KIDD, 1986).

Grazie a questa attività di *host-killing* di tipo non riproduttivo, le femmine di *B. nigricans* hanno ucciso nel corso della vita una media di $87,40 \pm 8,46$ (min 55; max 123) larve dell'ospite, mentre il valore medio giornaliero era $2,01 \pm 0,09$ (min 0; max 5) larve uccise/femmina (40% degli ospiti esposti). Il periodo di *host-killing* ha avuto durata pari a $39,70 \pm 3,43$ giorni, e ciò indica che le femmine hanno continuato a uccidere ospiti anche dopo la fine del periodo di ovideposizione. La stessa attività post-riproduttiva era già stata osservata anche su *B. hebetor* (JERVIS *et al.*, 1994).

I valori settimanali di larve ospiti paralizzate sono risultati significativamente differenti tra le prime quattro settimane e le ultime tre, con i primi più alti dei secondi. In particolare, le percentuali di larve paralizzate sono variate tra $47,62 \pm 4,02$ % e $22,12 \pm 4,95$ % nella seconda e nell'ultima settimana, rispettivamente. La quota di ospiti paralizzati e non parassitizzati potrebbe essere anche dovuta a una strategia per controllare la densità del fillominatore sul vegetale ospite in modo tale da assicurare che una fogliolina contenente una larva parassitizzata non rischi di andare perduta a seguito dell'attività trofica delle larve non parassitizzate che si alimentano sullo stesso substrato (PATEL *et al.*, 2003). È evidente che, un eccesso di attività trofica sulle foglie può causare disseccamento, necrosi e abscissione delle foglioline, causando in tal modo una potenziale riduzione della sopravvivenza delle larve del parassitoide. Un'altra possibile causa di questo comportamento è che le femmine del parassitoide uccidano più larve per fornire una riserva alimentare per attività riproduttiva futura e/o per la progenie, ovvero per le larve del parassitoide in corso di sviluppo (LAUZIÈRE *et al.*, 1999).

Il tempo necessario per raggiungere il 50% di mortalità degli adulti del parassitoide (LT_{50}) è risultato pari a 44,5 e 45 giorni per le femmine in contatto con larve dell'ospite nelle piastre Petri e per quelle mantenute nei tubi in vetro senza ospite, rispettivamente. La sopravvivenza media è di $41,47 \pm 2,42$ giorni per le femmine con ospite e miele, e $42,75 \pm 2,28$ per le femmine alimentate solo con miele, senza differenze significative tra i trattamenti. Al contrario sono state rilevate differenze significative di longevità tra maschi e femmine mantenuti all'interno dei tubi in vetro; in particolare la longevità dei maschi alimentati solo con miele è stata di $27,20 \pm 2,39$ (min 10, max 47) giorni, con una LT_{50} di 27 giorni.

Il contributo dei regimi alimentari alla sopravvivenza è ben documentato per numerose specie di parassitoidi in condizioni di laboratorio (JERVIS *et al.*, 2001), e mentre una correlazione positiva tra *host-feeding* e fecondità sembra essere distribuita in maniera omogenea tra le specie di parassitoidi, lo stesso *host-feeding* può avere un effetto positivo o nessun effetto sulla longevità (HEIMPEL & COLLIER, 1996). Nelle prove condotte, l'*host-feeding* non presenta vantaggi per le femmine di *B. nigricans* in termini di longevità quando un'altra fonte alimentare (nello specifico miele) è contestualmente disponibile.

EFFETTO DELLA DENSITÀ DELL'OSPITE E DELL'ALIMENTO

Al fine di valutare l'eventuale risposta funzionale del parassitoide all'aumentare della densità dell'ospite parassitizzabile nonché l'effetto della presenza di un addizionale apporto zuccherino-proteico (Protonectar®, Lega Italia) sulla *fitness* delle femmine, 10 femmine neo sfarfallate di *B. nigricans* per ciascun biosaggio sono state singolarmente esposte, per l'intera durata della vita, a tre diverse densità dell'ospite (10, 20 e 40 larve) e a 10 larve con e senza la presenza dell'alimento artificiale, rispettivamente. Le larve utilizzate per questi biosaggi erano di 3^a e 4^a età, stadi che sono risultati, come già detto, maggiormente parassitizzati nella prova di preferenza per lo stadio dell'ospite. L'arena, le procedure sperimentali e i parametri registrati sono stati gli stessi di quelli descritti in precedenza per lo studio delle tavole di sopravvivenza degli adulti a eccezione del fatto che gli ospiti venivano sostituiti a intervalli regolari di tre giorni.

I risultati ottenuti, hanno evidenziato un effetto significativo dell'alimento zuccherino-proteico sulla longevità sia delle femmine che dei maschi. Un effetto significativo è stato registrato anche sulla mortalità complessivamente indotta nell'ospite, in termini sia di ospiti parassitizzati che di larve paralizzate. Dall'analisi dei dati emerge che il numero di larve paralizzate è più elevato senza nutrimento aggiuntivo rispetto alla quota di larve parassitizzate che è più bassa a causa di una minore disponibilità di uova mature (Tab. 4).

Lo stesso tipo d'influenza dell'alimento è stato riscontrato anche sulla fecondità giornaliera che è risultata più elevata per le femmine con alimento addizionale rispetto a quella delle femmine a cui sono state somministrate solo larve senza alimento aggiuntivo. E le stesse femmine altresì sopravvivono più a lungo, come visto anche in precedenza. Questo effetto è ancora più evidente quando si

Tabella 4 – Effetto dell'alimento: Numero di uova deposte, progenie ottenuta, larve parassitizzate e paralizzante (media $\pm$ ES) da ciascuna femmina di *Bracon nigricans* in presenza o in assenza di alimento aggiuntivo.

	Senza alimento addizionale	Con alimento addizionale
Totale uova deposte/femmina/intera vita	20,33 $\pm$ 2,96	128,70 $\pm$ 23,99
Totale progenie/femmina/intera vita	12,11 $\pm$ 1,81	56,67 $\pm$ 10,90
% larve parassitizzate	34,52 $\pm$ 2,99	49,69 $\pm$ 2,88
Totale larve parassitizzate/femmina/intera vita	17,30 $\pm$ 3,21	62,10 $\pm$ 11,03
% larve paralizzante	46,96 $\pm$ 2,12	37,05 $\pm$ 1,3
Totale larve paralizzante/femmina/intera vita	19,81 $\pm$ 1,45	46,71 $\pm$ 7,77

guarda al numero totale di uova deposte da ciascuna femmina lungo l'intera durata della vita (Tab. 4). Lo stesso effetto è chiaramente emerso sia sulla progenie ottenuta giornalmente per ciascuna femmina che sulla fertilità totale nel corso della vita (Tab. 4).

Le prove volte a valutare gli effetti della densità dell'ospite sul parassitoide hanno mostrato un effetto significativo sulla longevità dei maschi, mentre nessun effetto è stato riscontrato sulla longevità delle femmine nonché sulla fecondità e fertilità del parassitoide che, tuttavia, sono risultate leggermente più elevate a densità crescenti (Tab. 5).

L'effetto della densità dell'ospite è chiaramente evidente quando si osservano sia il numero di larve parassitizzate che quello delle larve paralizzante. Queste ultime in particolare aumentano in misura sensibilmente superiore rispetto alle prime (Tab. 5). Questa risposta funzionale (descrive l'entità di ovideposizione in relazione alla densità dell'ospite e deve essere necessariamente preso in considerazione quando si determina il potenziale di controllo biologico di una nuova specie (SOLOMON 1949; LUNA *et al.*, 2007).

CONCLUSIONI

Bracon nigricans ha dimostrato di essere un ectoparassitoide idiobionte, gregario, con una *sex-ratio* lievemente a favore dei maschi. Tuttavia, questa specie ha fatto registrare una notevole plasticità

comportamentale in rapporto al nuovo ospite *T. absoluta*, considerato che le punture sull'ospite possono o meno essere seguite da *host-feeding* e ovideposizione. Questo braconide è una specie tipicamente sinovigenica e pertanto longeva, capace di riprodursi a basse densità dell'ospite e, producendo uova anidropiche, è in grado di conservare il materiale riproduttivo in funzione della densità dell'ospite (JERVIS *et al.*, 2001). Inoltre, è interessante considerare che le specie sinovigeniche, non essendo limitate da parametri temporali, possono spendere più tempo nelle attività di foraggiamento e di ricerca dell'ospite.

Tutte le caratteristiche biologiche e comportamentali di *B. nigricans*, come emerge dai dati ottenuti nelle prove condotte, indicano che questo parassitoide potrebbe essere efficacemente impiegato per applicazioni di controllo biologico di *T. absoluta*. Tuttavia, prima di poter fare qualunque considerazione sull'efficacia in campo di *B. nigricans*, è necessario indagare su diversi ulteriori elementi che potrebbero fortemente incidere sull'attività di biocontrollo e sulle dinamiche di popolazione del parassitoide in condizioni di campo. Tali parametri sono essenzialmente rappresentati dalle interazioni tra nemici naturali (predatori e parassitoidi) che condividono lo stesso ospite/preda (LUNA *et al.*, 2010, BOMPARD *et al.*, 2012), la capacità di dispersione (SÁNCHEZ *et al.*, 2009; ZAPPALÀ *et al.*, 2012b), gli effetti letali e sub letali dei pesticidi (DESNEUX *et al.*, 2007; BIONDI *et al.*, 2012b; LU *et al.*, 2012), le condizioni agronomiche

Tabella 5 – Effetto della densità dell'ospite: Numero di uova deposte, progenie ottenuta, larve parassitizzate e paralizzante (media $\pm$ ES) da ciascuna femmina di *Bracon nigricans* a diverse densità dell'ospite (10, 20 e 40 larve).

	10 ospiti	20 ospiti	40 ospiti
Tot. uova deposte/femmina/intera vita	128,70 $\pm$ 23,99	141,51 $\pm$ 21,83	160,90 $\pm$ 12,00
Tot. progenie/femmina/intera vita	56,67 $\pm$ 10,90	82,5 $\pm$ 13,24	91,60 $\pm$ 0,48
% larve parassitizzate	49,69 $\pm$ 2,88	32,95 $\pm$ 3,54	18,52 $\pm$ 1,62
Tot. larve parassitizzate/femmina/intera vita	62,10 $\pm$ 11,03	82,20 $\pm$ 10,94	101,06 $\pm$ 6,63
% larve paralizzante	37,05 $\pm$ 1,3	32,99 $\pm$ 2,27	22,07 $\pm$ 0,87
Tot. larve paralizzante/femmina/intera vita	46,71 $\pm$ 7,77	89,60 $\pm$ 13,51	186,20 $\pm$ 12,73

(DESNEUX & RAMIREZ-ROMERO, 2009) e i livelli di biodiversità funzionale presenti all'interno degli agro-ecosistemi nonché nelle loro adiacenze (GARDINER *et al.*, 2009; ZAPPALÀ *et al.*, 2012a).

Negli ultimi anni, una crescente attenzione è stata rivolta al ruolo dei nemici naturali generalisti come regolatori delle popolazioni di fitofagi in agro-ecosistemi. L'impiego di queste specie come agenti biotici di contenimento non è stato efficacemente implementato soprattutto a causa di carenze conoscitive della loro biologia e capacità parassitaria, che costituiscono elementi chiave per il successo di un programma di controllo biologico. I risultati ottenuti in questo studio rappresentano il primo passo verso l'acquisizione di elementi scientifici per un efficace inserimento di *B. nigricans* nei programmi di controllo biologico e integrato di *T. absoluta* in aree di nuova colonizzazione.

RIASSUNTO

Negli anni successivi alla prima segnalazione in Italia della Tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), diversi parassitoidi indigeni generalisti sono stati ritrovati su questo nuovo ospite. Tra questi, solo alcuni sono stati identificati come potenziali agenti di controllo biologico del fitofago esotico. In particolare, il parassitoide *Bracon nigricans* Szépligeti (Hymenoptera: Braconidae), distribuito nell'intera regione Paleartica, è stato largamente rinvenuto sul lepidottero esotico. Sono qui riportati dati sulla biologia di *B. nigricans* su *T. absoluta*. Prove di laboratorio sono state condotte per definire la preferenza per lo stadio dell'ospite, le tavole di sopravvivenza e di durata dello sviluppo degli stadi giovanili, la longevità, la riproduzione degli adulti e la *sex-ratio* della loro progenie, l'attività di *host-killing*, l'effetto della densità dell'ospite sulla fecondità, sulla fertilità e sull'attività di biocontrollo nonché l'effetto di un nutrimento artificiale zuccherino-proteico sulle *performance* degli adulti. *Bracon nigricans* è risultato essere un ectoparassitoide idiobionte, gregario e sinovigenico di larve di 3^a e 4^a età di *T. absoluta* con una *sex-ratio* leggermente sbilanciata a favore dei maschi. Le femmine hanno fatto registrare una plasticità comportamentale nell'utilizzazione dell'ospite, testimoniata dal fatto che l'iniziale paralisi dell'ospite fosse seguita da host-feeding, da ovideposizione o da rifiuto dell'ospite. Ciò ha comportato elevati livelli di mortalità negli ospiti esposti (intorno al 70%); mentre solo il 33% delle uova deposte ha raggiunto lo stadio adulto, facendo desumere che il nuovo ospite, *T. absoluta*, non sia pienamente adatto allo sviluppo del parassitoide indigeno. Nonostante siano necessari ulteriori studi in condizioni di campo, i dati ottenuti in laboratorio suggeriscono che *B. nigricans* possa essere considerato un potenziale agente di controllo biologico di *T. absoluta* nelle aree di nuova colonizzazione.

BIBLIOGRAFIA

AL-JBOORY I.J., KATBEH-BADER A., AL-ZAIDI S., 2012 – *First observation and identification of some natural enemies collected from heavily infested tomato by Tuta*

- absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Jordan. Middle East J. Sci. Res., 11: 435-438.
- ASKEW R.R., SHAW S.R., 1986 – *Parasitoid Communities: Their size, structure and development*. pp 225-264. In: *Insect Parasitoids* (Waage J., Greathead D., Eds). - London Academic Press.
- BIONDI A., DESNEUX N., AMIENS-DESNEUX E., SISCARO G., ZAPPALÀ L., 2012a – *Biology and developmental strategies of the Palaearctic parasitoid Bracon nigricans on the Neotropical moth Tuta absoluta*. J. Econ. Entomol., submitted.
- BIONDI A., MOMMAERTS V., SMAGGHE G., VIÑUELA E., ZAPPALÀ L., DESNEUX N., 2012b – *The non-target impact of spinosyns on beneficial arthropods*. Pest Manag. Sci. (in press) DOI: 10.1002/ps.3396.
- BOMPARD A., JAWORSKI C.C., DESNEUX N., 2012 – *Sharing a predator: can an invasive species affect the predation pressure on a local pest?* Popul. Ecol. (in press).
- CHAILLEUX A., DESNEUX N., SEGURET J., THI KHANH H.D., MAIGNET P., TABONE E., 2012 – *Assessing European egg parasitoids as a mean of controlling the invasive South American tomato pinworm Tuta absoluta*. PLoS ONE, 7(10): e48068. doi:10.1371/journal.pone.0048068
- DESNEUX N., BARTA R.J., HOELMER K.A., HOPPER K.R., HEIMPEL G.E., 2009 – *Multifaceted determinants of host specificity in an aphid parasitoid*. - Oecologia, 160: 387-398.
- DESNEUX N., DECOURTYE A., DELPUECH J.M., 2007 – *The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods*. Ann. Rev. Entomol., 52: 81-106.
- DESNEUX N., RAMIREZ-ROMERO R., 2009 – *Plant characteristics mediated by growing conditions can impact parasitoid's ability to attack host aphids in winter canola*. - J. Pest Sci. 82: 335-342.
- DESNEUX N., WAJNBERG E., WYCKHUYS K.A.G., BURGIO G., ARPAIA S., NARVÁEZ-VASQUEZ C.A., GONZÁLEZ-CABRERA J., CATALÁN RUESCAS D., TABONE E., FRANDON J., PIZZOL J., PONCET C., CABELLO T., URBANEJA A., 2010 – *Biological invasion of European tomato crops by Tuta absoluta: ecology, geographic expansion and prospects for biological control*. - J. Pest Sci., 83: 197-215.
- DOANLAR M., YIIT A., 2011 – *Parasitoid Complex of the Tomato Leaf Miner, Tuta absoluta (Meyrick 1917), (Lepidoptera: Gelechiidae) in Hatay, Turkey*. - KSU J. Nat. Sci., 14: 28-37.
- FERRACINI C., INGEGNO B.L., NAVONE P., FERRARI E., MOSTI M., TAVELLA L., ALMA A., 2012 – *Adaptation of indigenous larval parasitoids to Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) in Italy*. - J. Econ. Entomol., 105: 1311-1319.
- GABARRA R., ARNÓ J., 2010 – *Resultados de las experiencias de control biológico de la polilla del tomate en cultivo de invernadero y aire libre en Cataluña*. - Phytoma España, 217: 66-68.
- GARDINER M.M., LANDIS D.A., GRATTON C., DIFONZO C.D., O'NEAL M., CHACON J.M., WAYO M.T., SCHMIDT N.P., MUELLER F.F., HEIMPEL G.E., 2009 – *Landscape diversity enhances biological control of an introduced crop pest in the north-central USA*. - Ecol. Appl., 19: 143-154.
- GIRARDOZ S., KENIS M., QUICKE D.L.J., 2006 – *Recruitment of native parasitoids by an exotic leaf miner, Cameraria ohridella: host-parasitoid synchronization and influence of the environment*. - Agric. For. Entomol., 8: 49-56.
- GODFRAY H.C.J., AGASSIZ D.L.J., NASH D.R., LAWTON

- J.H., 1995 – *The recruitment of parasitoid species to two invading herbivores*. - J. Anim. Ecol., 64: 671-684.
- GRABENWEGER G., KEHRLI P., ZWEIMÜLLER I., AUGUSTIN S., AVTZIS N., BACHER S., FREISE J., GIRARDOZ S., GUICHARD S., HEITLAND W., LETHMAYER C., STOLZ M., TOMOV R., VOLTER L., KENIS M., 2010 – *Temporal and spatial variations in the parasitoid complex of the horse chestnut leafminer during its invasion of Europe*. - Biol. Invasions, 12: 2797-2813.
- HARDY I.C.W., GRIFFITHS N.T., GODFRAY H.C., 1992 – *Clutch size in a parasitoid wasp: a manipulation experiment*. - J. Anim. Ecol., 61: 121-129.
- HEIMPEL G.E., ANTOLIN M.F., STRAND M.R., 1999 – *Diversity of sex-determining alleles in Bracon hebetor*. - Heredity, 82: 282-291.
- HEIMPEL G.E., COLLIER T.R., 1996 – *The evolution of host-feeding behaviour in insect parasitoids*. - Biol. Rev., 71: 373-400.
- HEIMPEL G.E., DE BOER J.G., 2008 – *Sex Determination in the Hymenoptera*. - Annu. Rev. Entomol., 53: 209-30.
- HOLLOWAY A.K., HEIMPEL G.E., STRAND M.R., 1999 – *Survival of diploid males in Bracon sp. near hebetor (Hymenoptera: Braconidae)*. - Ann. Entomol. Soc. Am., 92: 110-116.
- JERVIS M.A., HEIMPEL G.E., FERNS P.N., HARVEY J.A., KIDD N.A.C., 2001 – *Life-history strategies in parasitoid wasps: a comparative analysis of 'ovigeny'*. - J. Anim. Ecol., 70: 442-458.
- Jervis M.A., Kidd N.A.C., 1986 – *Host-feeding strategies in hymenopteran parasitoids*. - Biol. Rev., 61: 395-434.
- JERVIS M.A., KIDD N.A.C., ALMEY H.E., 1994 – *Post-reproductive life in the parasitoid Bracon hebetor (Say) (Hym., Braconidae)*. - J. Appl. Entomol., 117: 72-77.
- LAUZIÈRE I., PÉREZ-LACHAUD G., BRODEUR J., 1999 – *Influence of host density on the reproductive strategy of Cephalonomia stephanoderis, a parasitoid of the coffee berry borer*. - Entomol. Exp. Appl., 92: 21-28.
- LONI A., ROSSI E., VAN ACHTERBERG K., 2011 – *First report of Agathis fuscipennis in Europe as parasitoid of the tomato leafminer Tuta absoluta*. - Bull. Insectol., 64: 115-117.
- LU Y.H., WU K.M., JIANG Y.Y., GUO Y.Y., DESNEUX N., 2012 – *Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services*. - Nature 487: 362-365.
- LUNA M.A.G., SÁNCHEZ N.E., PEREYRA P.C., 2007 – *Parasitism of Tuta absoluta (Lepidoptera, Gelechiidae) by Pseudapanteles dignus (Hymenoptera, Braconidae) under laboratory conditions*. - Environ. Entomol., 36: 887-893.
- LUNA M.A.G., WADA V.I., SÁNCHEZ N.E., 2010 – *Biology of Dineulophus pthorimaeae (Hymenoptera: Eulophidae) and field interaction with Pseudapanteles dignus (Hymenoptera: Braconidae), larval parasitoids of Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato*. - Ann. Entomol. Soc. Am., 103: 936-942.
- MANGEL M., HEIMPEL G.E., 1998 – *Reproductive senescence and dynamic oviposition behaviour in insects*. - Evol. Ecol. 12, 871-879.
- MOLLÁ O., ALONSO M., MONTON H., BEITIA F., VERDÚ M. J., GONZÁLEZ-CABRERA J., URBANEJA A., 2010 – *Control biológico de Tuta absoluta: catalogación de enemigos naturales y potencial de los miridos depredadores como agentes de control*. - Phytoma España, 217: 42-47.
- NENAAH G., 2011 – *Individual and synergistic toxicity of solanaceous glycoalkaloids against two coleopteran stored-product insects*. - J. Pest Sci., 84: 77-86.
- ORTU S., FLORIS I., 1989 – *Indagine preliminare per il controllo di Pthorimaea operculella su coltivazioni di patata in Sardegna*. - La difesa delle piante, 12: 81-88.
- PATEL K.J., SCHUSTER D.J., SMERAGE G.H., 2003 – *Density dependent parasitism and host-killing of Liriomyza trifolii (Diptera: Agromyzidae) by Diglyphus intermedius (Hymenoptera: Eulophidae)*. - Fla. Entomol., 86: 8-14.
- PENNACCHIO F., STRAND M.R., 2006 – *Evolution of developmental strategies in parasitic Hymenoptera*. - Ann. Rev. Entomol., 51: 233-258.
- SÁNCHEZ N.E., PEREYRA P.C., LUNA M.G.A., 2009 – *Spatial patterns of parasitism of the solitary parasitoid Pseudapanteles dignus (Hymenoptera: Braconidae) on Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - Environ. Entomol., 38: 365-374.
- SOLOMON M.E., 1949 – *The natural control of animal populations*. - J. Anim. Ecol., 18: 1-35.
- Urbaneja A., Gonzalez-Cabrera J., Arnò J., Gabarra R., 2012 – *Prospects for the biological control of Tuta absoluta in tomatoes of the Mediterranean basin*. - Pest Manag. Sci., 68: 1215-1222.
- URBANEJA A., LLÁCER E., TOMÁS O., GARRIDO A., JACAS J.A., 2000 – *Indigenous natural enemies associated with Phyllocnistis citrella (Lepidoptera: Gracillariidae) in Eastern Spain*. - Biol. Control, 18: 199-207.
- VAN LENTEREN J.C., WOETS J., 1988 – *Biological and integrated pest control in greenhouses*. - Annu. Rev. Entomol., 33: 239-269.
- YU D.S.K., VAN ACHTERBERG C., 2010 – *Taxapad Ichneumonoidea (May 2009 version)*. In: Species 2000 & ITIS Catalogue of Life: 2010 Annual Checklist (Bisby F.A., Roskov Y. R., Orrell T.M., Nicolson D., Paglinawan L.E., Bailly N., Kirk P.M., Bourgoin T., Baillargeon G., Eds). - DVD, Species 2000, Reading, UK.
- ZAPPALÀ L., BERNARDO U., BIONDI A., COCCO A., DELIPERI S., DELRIO G., GIORGINI M., PEDATA P.A., RAPISARDA C., TROPEA GARZIA G., SISCARO G., 2012a – *Recruitment of native parasitoids by the exotic pest Tuta absoluta (Meyrick) in Southern Italy*. - Bull. Insectol., 65: 51-61.
- ZAPPALÀ L., CAMPOLO O., GRANDE S.B., SARACENO F., BIONDI A., SISCARO G., PALMERI V. 2012b – *Dispersal of Aphytis melinus (Hymenoptera: Aphelinidae) after augmentative releases in citrus orchards*. - Eur. J. Entomol., 109: 561-568.

ADATTAMENTO DI LIMITATORI INDIGENI: I PARASSITOIDI DEL GENERE *NECREMNUS* E IL PREDATORE *DICYPHUS ERRANS*

LUCIANA TAVELLA (*) - CHIARA FERRACINI (*) - BARBARA LETIZIA INGEGNO (*)
MARCO MOSTI (**) - PAOLO NAVONE (*) - ALBERTO ALMA (*)

(*) DIVAPRA - Entomologia e Zoologia applicate all'Ambiente "Carlo Vidano", Università degli Studi di Torino, Via L. da Vinci, 44 - 10095 Grugliasco (TO); e-mail: luciana.tavella@unito.it

(**) Bioplanet s.c.a. Via Masiera prima, 1195 - 47521 Martorano di Cesena (FC)

Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La Tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick)". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 17 febbraio 2012.

Adaptation of native natural enemies: the parasitoids of the genus Necremnus and the predator Dicyphus errans

Tomato crop in the Mediterranean Basin and in Europe has been recently affected by a new exotic pest, *Tuta absoluta* (Lepidoptera, Gelechiidae). With its larval feeding activity this pest causes serious yield losses, posing a threat to both greenhouse and open field tomato production. Chemical control is difficult to achieve due to its resistance developed to many conventional insecticides and the side effects on useful organisms in IPM programmes. In this paper, the suitability and effectiveness of native natural enemies have been investigated to assess their potential role in the control of *T. absoluta*. In particular, the parasitoids *Necremnus* near *artynes* and *N.* near *tidius* (Hymenoptera, Eulophidae) and the generalist predator *Dicyphus errans* (Hemiptera, Miridae), found on tomato infested by *T. absoluta*, were evaluated in controlled conditions. These species revealed to be effective causing a high mortality of *T. absoluta*. Both *Necremnus* species proved to control first and second instar larvae by host feeding and parasitism activity, while the mirid bug preyed mainly on eggs and first instar larvae. Further investigations are therefore needed to confirm their role as potential biological agents in commercial tomato plantations.

KEY WORDS: eulophids, mirid bug, biological control, *Tuta absoluta*.

INTRODUZIONE

La coltura del pomodoro nel bacino del Mediterraneo è stata recentemente soggetta ad attacchi da parte del fitofago esotico *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera, Gelechiidae). Questa specie, originaria dell'America centrale e segnalata per la prima volta in Europa nel 2006 e in Italia nel 2008 (URBANEJA *et al.*, 2009; VIGGIANI *et al.*, 2009), si nutre soprattutto a spese del pomodoro e di altre solanacee coltivate e spontanee. Nel 2004 *T. absoluta* è stata inserita nella lista A1 delle specie da quarantena dell'EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization), poi nel 2009 nella lista A2. La lotta chimica contro il fitofago è molto difficile a causa della sua spiccata resistenza a numerosi fitofarmaci e degli effetti collaterali sui limitatori naturali nelle colture gestite con programmi di difesa integrata (LIETTI *et al.*, 2005; CABELLO *et al.*, 2009; IRAC, 2011).

Ricerche sui limitatori naturali sono state condotte in Sud America con lo scopo di rinvenire potenziali candidati da utilizzare in programmi di lotta biolo-

gica. In particolare sono stati indagati i parassitoidi oofagi *Trichogramma pretiosum* (Riley), *T. nerudai* (Pintureau & Gerding), *T. exiguum* Pinto & Platner e *Trichogrammatoidea bactrae* Nagaraja (Hymenoptera, Trichogrammatidae) (PRATISSOLI & PARRA, 2000; ZUCCHI & QUERINO, 2000; FARIA *et al.*, 2008; DESNEUX *et al.*, 2010; VIRGALA & BOTTO, 2010), e parassitoidi larvali quali *Apanteles gelechiidivoris* Marsh, *Pseudapanteles dignus* (Muesebeck), *Bracon* spp. (Hymenoptera, Braconidae), *Dineulophus phthorimaeae* (de Santis) (Hymenoptera, Eulophidae), e *Diadegma* spp. (Hymenoptera, Ichneumonidae) (COLOMO *et al.*, 2002; MARCHIORI *et al.*, 2004; MIRANDA *et al.*, 2005; BAJONERO *et al.*, 2008; SÁNCHEZ *et al.*, 2009; LUNA *et al.*, 2010). Nessuno di questi parassitoidi si è tuttavia dimostrato in grado di contenere le popolazioni del lepidottero e ulteriori studi sono ancora in corso.

Ricerche relative ai limitatori indigeni in grado di adattarsi al fitofago esotico sono state condotte in diversi Paesi dell'area Mediterranea. Parassitoidi larvali quali *Agathis fuscipennis* (Zetterstedt) e *Bracon* spp. (Hymenoptera, Braconidae), *Necremnus* spp.

e *Stenomesus* spp. (Hymenoptera, Eulophidae) (ARNÓ & GABARRA, 2010; GABARRA & ARNÓ, 2010; LONI *et al.*, 2011; RIZZO *et al.*, 2011; ZAPPALÀ *et al.*, 2011, 2012a), e predatori quali *Macrolophus pygmaeus* (Rambur), *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera, Miridae), *Nabis pseudoferus* (Remane) (Hemiptera, Nabidae) (URBANEJA *et al.*, 2009; MOLLÁ *et al.*, 2010; FOIS *et al.*, 2011; ZAPPALÀ *et al.*, 2012b), sono stati segnalati in Spagna e più recentemente in Italia, a dimostrazione di un graduale adattamento al nuovo ospite di varie specie di limitatori. Fra i parassitoidi larvali ottenuti nel corso di ricerche svolte in aree orticole in Liguria, Sardegna e Sicilia nel biennio 2009-2010, *Necremnus prope artynes* (Walker) e *N. prope tidius* (Walker) sono risultati particolarmente abbondanti (FERRACINI *et al.*, 2012).

Inoltre, in Italia tre specie di miridi predatori indigeni con regime alimentare zoofitofago, *M. pygmaeus*, *N. tenuis* e *Dicyphus errans* (Wolff) (Hemiptera, Miridae), sono attive su pomodoro (TAVELLA *et al.*, 1997; TAVELLA & GOULA, 2001; INGEGNO *et al.*, 2008; INGEGNO *et al.*, 2009). Fra queste, l'ultima specie non è mai stata indagata per valutarne l'efficacia di predazione nei confronti di *T. absoluta* in vista di un possibile impiego in lotta biologica e integrata. Specie paleartica, diffusa in Europa e Asia occidentale (KERZHNER & JOSIFOV, 1999) e presente in tutta Italia (SERVADEI, 1967), *D. errans* vive su varie piante ospiti, al tempo stesso pungendole e predando piccoli artropodi. Per adattamenti morfologici e comportamentali preferisce piante ospiti glandulari e ricoperte di peluria (VOIGT *et al.*, 2007), come pomodoro e *Solanum nigrum* L. (Solanaceae), entrambi ospiti di *T. absoluta* (DESNEUX *et al.*, 2010; RIZZO *et al.*, 2011). Presenza e abbondanza di questa solanacea spontanea nell'agroecosistema possono quindi svolgere un auspicabile ruolo di *reservoir* per questi limitatori naturali (INGEGNO *et al.*, 2008).

Allo scopo di impostare strategie di controllo biologico, i due parassitoidi del genere *Necremnus* e il predatore *D. errans*, apparsi promettenti limitatori del lepidottero esotico, sono stati oggetto di studi volti ad accertarne la capacità di individuare e scegliere il nuovo ospite o preda e valutarne l'efficacia di contenimento.

METODOLOGIA

Allevamenti di insetti e piante

Gli adulti di *N. prope artynes* e *N. prope tidius* sono stati forniti dal Bioplanet s.c.a. (Cesena, Italia) ove, dopo prove preliminari, le due specie sono state ritenute idonee per l'allevamento massale. Gli adulti coetanei sono stati separati per sesso, alimentati con gocce di miele somministrate su un cartellino e iso-

lati singolarmente in provette di vetro (12 cm × 1,8 cm diametro), in cella climatica a 24 ± 1°C, 60 ± 5% UR, 16 h fotoperiodo.

Adulti di *D. errans* sono stati raccolti su pomodoro e *S. nigrum* in varie località piemontesi; in laboratorio sono stati identificati e posti in allevamento su piante di pomodoro, su cui erano aggiunte periodicamente uova di *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera, Pyralidae) (Bioplanet s.c.a., Cesena), in gabbie in rete (47,5 cm di lato).

Allevamenti massali di *T. absoluta* sono stati predisposti in serra (27 ± 3°C, 55 ± 23% UR, 16 h fotoperiodo) a partire da colonie prelevate in coltivazioni di pomodoro in pieno campo in Liguria, in modo da garantire una continua disponibilità di tutti gli stadi di sviluppo del lepidottero.

Per i biosaggi olfattometrici allevamenti massali di *Cosmopterix pulchrimella* Chambers (Lepidoptera, Cosmopterigidae), riportato in letteratura come ospite naturale delle specie *Necremnus artynes* (Walker) e *N. tidius* (Walker) (BERNARDO & VIGGIANI, 2002; THE NATURAL HISTORY MUSEUM, 2011), sono stati predisposti da una colonia raccolta su *Parietaria officinalis* L. (Urticaceae) in Piemonte.

Piante di *Lycopersicon esculentum* Mill. (alte circa 25 cm) e di *P. officinalis* sono state utilizzate sia per gli allevamenti massali che per le prove di laboratorio. Tutte le piante sono state coltivate in vasi di plastica (20 cm diametro), irrigate giornalmente, concimate e mantenute in serra sperimentale (27 ± 3°C, 55 ± 23% UR, 16 h fotoperiodo).

Prove di parassitizzazione con Necremnus spp.

Allo scopo di valutare un'eventuale preferenza dei due parassitoidi per le differenti età larvali dell'ospite, piante di pomodoro infestate con cinque larve per ogni età (totale 20 larve) di *T. absoluta* sono state inserite in cilindri di plexiglas (40 cm × 18 cm diametro) ed esposte per 48 h a femmine del parassitoide, sfarfallate da 5 giorni. Le femmine sono state quindi rimosse e le larve osservate al microscopio. Sono state effettuate cinque ripetizioni per ciascuna specie di parassitoide.

Per accertare l'efficacia di contenimento delle due specie del genere *Necremnus* nei confronti di *T. absoluta*, 20 ritagli di foglie di pomodoro, ognuno con una mina contenente una larva neonata, sono stati distribuiti omogeneamente su una pianta sana con quattro foglie per ottenere, dopo 48 h, una densità di cinque larve per foglia, senza provocare il collasso della pianta. La pianta è stata poi isolata in una gabbietta in plexiglas (20 × 20 × 30 cm), al cui interno è stata introdotta e mantenuta per 5 giorni una femmina del parassitoide sfarfallata da 5 giorni e fecondata. Per ogni specie di parassitoide sono state effettuate 10 ripetizioni con femmine diverse, mentre 10

piante sono state allestite come testimone. Le piante sono state controllate giornalmente per due settimane sino allo sfarfallamento del lepidottero e di eventuali parassitoidi. Gli adulti ottenuti sono stati quindi prelevati e conteggiati.

Prove di predazione con D. errans

Per valutare l'attività di contenimento svolta dal miride dicifino, piante di pomodoro sono state periodicamente esposte ad adulti del lepidottero per ottenere coorti sincronizzate di uova. Dalle piante le uova sono state trasferite con l'ausilio di un pennellino su un apice fogliare composto da tre foglioline (15 uova per apice) all'interno di una capsula di Petri (9 cm diametro), ove è stato introdotto un adulto di *D. errans*. Dopo 24 h, le uova sono state esaminate allo stereomicroscopio per rilevare il numero di uova predate e/o svuotate. Le prove sono state condotte utilizzando 10 femmine e 10 maschi, dopo l'accoppiamento in due periodi successivi, cioè 5 e 10 giorni dopo lo sfarfallamento. Per ogni prova sono state allestite 10 capsule senza predatore come testimone.

Un biosaggio preliminare è stato effettuato per esaminare la preferenza del predatore nei confronti dei quattro stadi larvali di *T. absoluta*. Cinque larve per ogni età (totale 20 larve) sono state trasferite con l'ausilio di un pennellino su un apice fogliare composto da quattro foglioline e simultaneamente offerte a 10 femmine e 10 maschi di *D. errans*, sfarfallati da 5 giorni, in capsula di Petri (20 cm diametro). Dopo 24 h le larve sono state esaminate allo stereomicroscopio per rilevare il numero di larve morte e/o svuotate di ciascuna età.

Per valutare l'efficacia di predazione nei confronti delle larve, cinque larve neonate di *T. absoluta* sono state trasferite su un apice fogliare di pomodoro in capsula di Petri (20 cm diametro), al cui interno è stato introdotto un adulto di *D. errans*. Dopo 24 h, le larve sono state esaminate allo stereomicroscopio per rilevare il numero di larve predate e/o svuotate. Le prove sono state condotte utilizzando 10 femmine e 10 maschi (5 e 10 giorni dopo lo sfarfallamento), previo isolamento di 24 h. Per ogni prova sono state allestite 10 capsule senza predatore come testimone.

Biosaggi in olfattometro

Per indagare le risposte dei due parassitoidi del genere *Necremnus* e del predatore *D. errans* nei confronti delle sostanze volatili emesse da piante di pomodoro sane e infestate da *T. absoluta*, sono stati eseguiti biosaggi in olfattometro a Y secondo i protocolli decritti in FERRACINI *et al.* (2012) e INGEGNO *et al.* (2011).

Per i due parassitoidi *N. prope artynes* e *N. prope*

tidius sono state saggiate in olfattometro femmine sfarfallate da 5 giorni. In particolare, sono stati effettuati tre confronti per ogni specie di parassitoide: a) foglie di parietaria infestate da *C. pulchrimella* contro foglie di pomodoro infestate da *T. absoluta*; b) foglie di parietaria sana contro foglie di pomodoro sano; c) foglie di pomodoro sano contro foglie di pomodoro infestate da *T. absoluta*. Prima di essere utilizzate nei biosaggi olfattometrici, le femmine sono state mantenute a 15°C per 18 h in provette di vetro (12 cm × 1,8 cm diametro), al cui interno erano poste gocce di miele, chiuse con tappo di cotone inumidito, senza avere a disposizione alcun ospite o substrato vegetale. Per ogni confronto sono state saggiate 30 femmine.

Per il predatore *D. errans*, per ogni confronto sono stati saggiati 30 adulti sfarfallati da circa una settimana, previamente isolati per 18 h in provette di vetro, chiuse con tappo di cotone inumidito. In particolare, sono stati effettuati sei confronti: a) foglie di pomodoro sano contro foglie di pomodoro infestate con uova di *T. absoluta*; b) foglie di pomodoro sano contro foglie di pomodoro infestate con larve di prima età; c) foglie di pomodoro sano contro foglie di pomodoro infestate con larve di quarta età; d) foglie di pomodoro sano contro adulti di *T. absoluta*; e) foglie di pomodoro sano contro foglie di pomodoro precedentemente infestate con larve; f) foglie di pomodoro infestate da larve di prima età contro foglie di pomodoro infestate da larve di quarta età. Per ottenere le piante precedentemente infestate, tutte le larve sono state rimosse dalle foglie, avendo l'accortezza di alterare meno possibile la mina.

Analisi statistiche

I dati ottenuti nelle prove di parassitizzazione (adulti di *T. absoluta* sfarfallati) e di predazione a carico delle uova sono stati confrontati mediante analisi della varianza (ANOVA) e, ove necessario, le medie sono state separate usando il test di Tukey. I dati di predazione a carico delle larve di prima età e i dati relativi alla preferenza nei confronti delle diverse età larvali mostrata dalle due specie di parassitoidi e dal predatore sono stati analizzati mediante analisi non parametrica di Kruskal-Wallis e le medie sono state separate con il test di U Mann-Whitney.

Nei biosaggi olfattometrici le risposte sono state analizzate usando il test del Chi-quadro. L'ipotesi nulla era che gli insetti scegliessero le fonti odorose con uguale frequenza mostrando un'eguale distribuzione (50:50) tra i due rami dell'olfattometro a Y. Gli esemplari che non hanno effettuato una scelta sono stati esclusi dalle analisi statistiche.

Tutte le analisi sono state eseguite con il software SPSS versione 17.0 (SPSS, Chicago, IL, USA).

RISULTATI

Prove di parassitizzazione con Necremnus spp.

Alla presenza di diversi stadi larvali di *T. absoluta*, le femmine sia di *N. prope artynes* sia di *N. prope tidius* hanno dimostrato di preferire larve di prima e seconda età, come ospiti sia per la nutrizione che per l'oviposizione ($F = 87,55$; $gl = 3$; $P < 0,001$ per *N. prope artynes*; $F = 195,85$; $gl = 3$; $P < 0,001$ per *N. prope tidius*). Infatti, elevate percentuali di larve di prima e seconda età sono state uccise dai parassitoidi, mentre quelle di terza e quarta età non sono mai state attaccate (Tabella 1).

In base ai dati ottenuti in queste prove preliminari, l'efficacia delle due specie di parassitoidi è stata valutata su larve di prima e seconda età su piante di pomodoro in vaso; entrambe le specie hanno causato un'elevata mortalità delle larve di *T. absoluta* con differenze statisticamente significative rispetto alle piante testimoni, in cui non era stato introdotto il parassitoide. Il numero medio ($\pm$ ES) di adulti di *T. absoluta* sfarfallati è stato pari a $2,6 \pm 0,9$ e $1,2 \pm 0,5$ in presenza di *N. prope artynes* e *N. prope tidius*, rispettivamente, a differenza delle piante testimoni in cui il numero medio è stato pari a $17,2 \pm 0,6$ ($F = 180,28$; $gl = 2$; $P < 0,001$).

Femmine di entrambe le specie sono state in grado di parassitizzare le larve ospiti e il numero medio ($\pm$ ES) di progenie ottenuta è stato pari a $2,7 \pm 1,1$ e $1,5 \pm 0,4$ con una *sex ratio* di 1:3,5 e 1:1,1 (♀:♂) per *N. prope artynes* and *N. prope tidius*, rispettivamente. Il tempo di sviluppo dall'introduzione del parassitoide allo sfarfallamento della progenie è stato inferiore per *N. prope artynes* ($10,2 \pm 0,1$ giorni)

rispetto a *N. prope tidius* ($14,3 \pm 0,2$ giorni), a differenza di un tempo medio di almeno 3 settimane impiegato dagli individui di *T. absoluta*.

Prove di predazione con D. errans

Entrambi i sessi di *D. errans* hanno predato le uova di *T. absoluta* in numero non significativamente differente in relazione sia al sesso sia al periodo di sfarfallamento ($F = 2,06$; $gl = 3$; $P = 0,122$) (Tabella 2). Le percentuali di predazione a carico delle uova si sono attestate su valori relativamente alti, variando tra 58,0% e 82,7% per i maschi sfarfallati da 10 giorni e per le femmine sfarfallate da 5 giorni, rispettivamente.

Quando al predatore sono state offerte simultaneamente le larve di differente età, entrambi i sessi hanno attaccato quasi soltanto le larve di prima età. Le larve di seconda età sono state predate solo dalle femmine e per una piccola percentuale (4%), mentre le larve di terza e quarta età non sono mai state attaccate (Tabella 3).

Il numero medio di larve predate di prima età nell'arco di 24 h è riportato in Tabella 2. Complessivamente le femmine sono state più efficaci dei maschi, predando circa $2,4 \pm 0,5$ larve contro $1,3 \pm 0,3$ larve. In particolare i maschi sfarfallati da 10 giorni sono risultati meno efficienti consumando un numero di larve significativamente inferiore rispetto alle femmine sfarfallate sia da 5 sia da 10 giorni ($\chi^2 = 8,33$; $gl = 3$; $P = 0,040$).

Biosaggi in olfattometro

Nei biosaggi in olfattometro quasi tutte le femmine dei due parassitoidi hanno scelto una fonte odorosa

Tabella 1 – Numero medio ($\pm$ ES) di larve di *Tuta absoluta* uccise da femmine dei parassitoidi *Necremnus prope artynes* e *Necremnus prope tidius*.

Specie	n. medio di larve uccise			
	I età	II età	III età	IV età
<i>N. prope artynes</i>	4,20 $\pm$ 0,37 a	3,80 $\pm$ 0,20 a	0,00 $\pm$ 0,00 b	0,00 $\pm$ 0,00 b
<i>N. prope tidius</i>	4,80 $\pm$ 0,20 a	4,60 $\pm$ 0,24 a	0,00 $\pm$ 0,00 b	0,00 $\pm$ 0,00 b

Per ciascun parassitoide valori seguiti da lettere diverse sono significativamente differenti (Kruskal-Wallis, test di Mann-Whitney, $P < 0,001$).

Tabella 2 – Numero medio ($\pm$ ES) di uova e di larve di prima età di *Tuta absoluta* predate da femmine e maschi di *Dicyphus errans* sfarfallati da 5 e 10 giorni.

gg dallo sfarfallam.	n. uova predate*		n. larve di I età predate**	
	femmine	maschi	femmine	maschi
5	9,10 $\pm$ 1,37 A	10,80 $\pm$ 1,35 A	2,50 $\pm$ 0,52 a	1,50 $\pm$ 0,50 ab
10	12,40 $\pm$ 0,72 A	8,70 $\pm$ 1,17 A	2,30 $\pm$ 0,30 a	1,10 $\pm$ 0,18 b

I valori seguiti da lettere diverse sono significativamente differenti (*ANOVA, test di Tukey, $P < 0,05$; **Kruskal-Wallis, test di Mann-Whitney, $P < 0,05$).

Tabella 3 – Percentuale (media $\pm$ ES) di larve predate di differenti età di *Tuta absoluta* simultaneamente offerte a femmine e maschi di *Dicyphus errans*.

Età larvale	% di larve predate	
	femmine	maschi
I	68,0 $\pm$ 10,2 a	44,0 $\pm$ 11,7 a
II	4,0 $\pm$ 4,0 b	0,0 $\pm$ 0,0 b
III	0,0 $\pm$ 0,0 b	0,0 $\pm$ 0,0 b
IV	0,0 $\pm$ 0,0 b	0,0 $\pm$ 0,0 b

Le percentuali seguite da lettere diverse sono significativamente differenti (Kruskal-Wallis, test di Mann-Whitney, $P < 0,05$).

nel tempo prefissato. In particolar modo, le femmine di *N. prope artynes* si sono dimostrate più attratte dal pomodoro infestato rispetto alla parietaria infestata ($\chi^2 = 19,20$; $gl = 1$; $P < 0,001$), e dal pomodoro sano rispetto alla parietaria sana ($\chi^2 = 4,80$; $gl = 1$; $P = 0,028$). Differenze statisticamente significative sono state anche evidenziate nel caso di femmine di *N. prope artynes* confrontando piante di pomodoro infestate e sane ($\chi^2 = 10,80$; $gl = 1$; $P = 0,001$) (Figura 1). Nelle prove con *N. prope tidius*, nessuna differenza significativa è stata rilevata tra piante di pomodoro e parietaria sane ($\chi^2 = 0,53$; $gl = 1$; $P = 0,465$), e tra piante di pomodoro e parietaria infestate ($\chi^2 = 3,33$; $gl = 1$; $P = 0,068$). Le piante di pomodoro infe-

state sono invece state più attrattive di quelle sane ($\chi^2 = 8,53$; $gl = 1$; $P = 0,003$) (Figura 2).

In olfattometro, *D. errans* non ha mostrato preferenze tra gli odori emessi dal pomodoro e dagli adulti del lepidottero, tra gli odori emessi dal pomodoro sano e da quello infestato con uova di *T. absoluta* e tra gli odori emessi dal pomodoro infestato con larve di prima età e quello infestato con larve di quarta età. Al contrario, ha preferito l'odore della pianta infestata con larve di prima età rispetto a quella sana, l'odore della pianta infestata con larve di quarta età rispetto a quella sana, e l'odore della pianta in precedenza infestata con vari stadi larvali rispetto a quella sana.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Diverse specie di parassitoidi larvali di *T. absoluta* appartenenti alla famiglia Eulophidae sono stati segnalati sia in Sud America che nell'area Mediterranea (DESNEUX *et al.*, 2010). Tuttavia questo dato non sorprende poiché questa famiglia comprende varie specie di parassitoidi di minatori fogliari e di galligeni, spesso in grado di adattarsi a ospiti esotici. In particolar modo il genere *Necremnus* è apparso recentemente un candidato promettente nel controllo biologico di *T. absoluta* (MOLLÁ *et al.*, 2008, 2010; GABARRA & ARNÓ, 2010; FOIS *et al.*, 2011;

Figura 1

Risposte di *Necremnus prope artynes* in olfattometro a Y agli odori emessi da piante di pomodoro infestate da *Tuta absoluta* (δ) e sane (π), e da piante di parietaria infestate da *Cosmopterix pulcherrimella* (α) e sane (β). I numeri nelle barre rappresentano gli individui che si sono spostati verso la fonte odorosa. Il test del χ^2 (* $P < 0,10$; ** $P < 0,05$; *** $P < 0,01$; $gl = 1$) ha saggiato l'ipotesi che la distribuzione delle risposte fra i due rami di scelta deviasse da un'ipotesi nulla in cui le fonti odorose avessero pari frequenza.

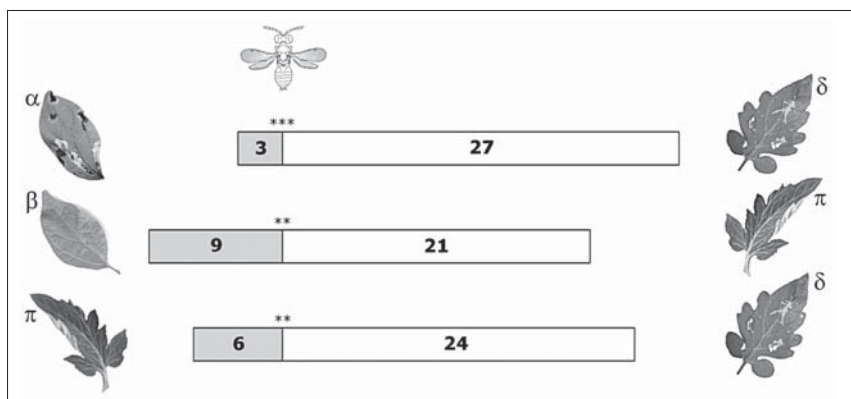
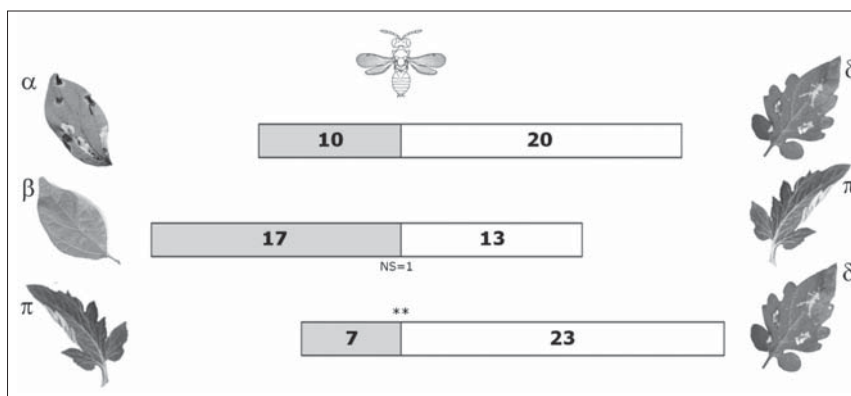


Figura 2

Risposte di *Necremnus prope tidius* in olfattometro a Y agli odori emessi da piante di pomodoro infestate da *Tuta absoluta* (δ) e sane (π), e da piante di parietaria infestate da *Cosmopterix pulcherrimella* (α) e sane (β). I numeri nelle barre rappresentano gli individui che si sono spostati verso la fonte odorosa. Il test del χ^2 (* $P < 0,10$; ** $P < 0,05$; *** $P < 0,01$; $gl = 1$) ha saggiato l'ipotesi che la distribuzione delle risposte fra i due rami di scelta deviasse da un'ipotesi nulla in cui le fonti odorose avessero pari frequenza.



RIZZO *et al.*, 2011; FERRACINI *et al.*, 2012; ZAPPALÀ *et al.*, 2012a). Il genere include parassitoidi ectofagi solitari e gregari di larve di coleotteri, lepidotteri e ditteri (COUDRON *et al.*, 2000; BERNARDO & VIGGIANI, 2002; DOSDALL *et al.*, 2007); molte specie risultano tuttavia ancora poco studiate e poche informazioni relative alla loro bio-etologia sono attualmente reperibili in letteratura.

I risultati ottenuti hanno evidenziato una buona attività di limitazione nei confronti del lepidottero esotico. In laboratorio entrambe le specie del genere *Necremnus* hanno causato un'elevata mortalità delle larve di *T. absoluta* dovuta a fenomeni di *host feeding* e parassitizzazione, con preferenza per le larve di prima e seconda età. Inoltre sono risultati fortemente attratti dal pomodoro infestato dal lepidottero esotico. Infatti, nei biosaggi olfattometrici hanno dimostrato di preferire il pomodoro infestato dal lepidottero anche rispetto alla parietaria infestata da *C. pulchrimella* riportato come ospite primario di *N. artynes* e *N. tidius* (BERNARDO & VIGGIANI, 2002; THE NATURAL HISTORY MUSEUM, 2011).

Analogamente ai parassitoidi, anche i risultati ottenuti in questo primo studio sulla capacità di *D. errans* di predare *T. absoluta* sono stati incoraggianti. Entrambi i sessi del miride predatore sono stati in grado di predare giornalmente all'incirca 10 uova di *T. absoluta*. A differenza di quanto osservato per gli altri due dicifini *M. pygmaeus* e *N. tenuis* in cui le femmine sono apparse più voraci dei maschi (URBANEJA *et al.*, 2009), le femmine e i maschi di *D. errans*, sfarfallati sia da 5 sia da 10 giorni, hanno dimostrato di consumare un numero di uova pressoché simile.

Tra i differenti stadi larvali offerti simultaneamente, gli adulti di *D. errans* di entrambi i sessi hanno attaccato quasi soltanto le larve di prima età, poiché meno mobili e di taglia inferiore, consumandone giornalmente un numero molto simile a quello osservato in precedenza per le specie *N. tenuis* e *M. pygmaeus* da URBANEJA *et al.* (2009). Recentemente proprio questi due dicifini, già allevati e commercializzati dalle biofabbriche, sono stati ampiamente impiegati in programmi di lotta integrata e biologica contro *T. absoluta* (BELDA *et al.*, 2011; HARPAZ *et al.*, 2011; JACOBSON, 2011; SEGURET *et al.*, 2011). Data l'elevata efficacia nei confronti di uova e larve di prima età, osservata nelle prove in laboratorio, *D. errans* potrebbe essere introdotto nell'agroecosistema all'inizio della stagione colturale mediante piante rifugio (*banker plants*) in modo da favorirne un precoce insediamento nelle coltivazioni di pomodoro.

Nonostante i risultati sinora ottenuti sul potenziale di limitazione del lepidottero esotico da parte dei due eulofidi parassitoidi e del miride predatore

siano molto incoraggianti, ulteriori studi sono ancora necessari per definire la posizione sistematica ed individuare gli ospiti naturali delle due specie di *Necremnus*, ad oggi quasi del tutto sconosciuti, e per valutarne unitamente al miride *D. errans* le reali possibilità di applicazione in campo nell'ambito dei programmi di lotta biologico-integrata.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano la Dott.ssa Ester Ferrari, il Dott. Diego Gallinotti ed Evaggelia Kalaitzoglou per il supporto fornito nelle prove di laboratorio.

RIASSUNTO

La coltura del pomodoro nel bacino del Mediterraneo e in Europa è stata recentemente colpita da un nuovo fitofago esotico *Tuta absoluta* (Lepidoptera, Gelechiidae), responsabile di gravi danni alla produzione con l'attività trofica delle larve. La lotta chimica a questo fitofago è difficoltosa a causa della resistenza sviluppata a molti insetticidi convenzionali e all'effetto collaterale sugli organismi utili nei programmi di lotta integrata. In questo lavoro, l'adattamento e l'efficacia di alcuni limitatori indigeni sono stati valutati per accertarne il potenziale ruolo per il controllo del lepidottero esotico. In particolare, i due parassitoidi *Necremnus* prope *artynes* e *N. prope tidius* (Hymenoptera, Eulophidae) e il predatore generalista *Dicyphus errans*, (Hemiptera, Miridae), rinvenuti su pomodoro infestato da *T. absoluta*, sono stati indagati in condizioni controllate. Queste specie si sono rivelate efficaci antagonisti di *T. absoluta* provocandone un'alta mortalità. Entrambe le specie del genere *Necremnus* sono state in grado di controllare efficacemente le larve di prima e seconda età con attività di *host feeding* e parassitizzazione, mentre il miride ha dimostrato di predare attivamente uova e larve di prima età. Ulteriori studi sono tuttavia necessari per definire la posizione sistematica e individuare gli ospiti naturali delle due specie di *Necremnus*, e per valutare le reali potenzialità di applicazione in campo dei due parassitoidi e del miride predatore nell'ambito dei programmi di lotta biologico-integrata.

BIBLIOGRAFIA

- ARNÓ J., GABARRA R., 2010 – *Controlling Tuta absoluta, a new invasive pest in Europe*. ENDURE training in integrated pest management, no. 5, pp. 1-8. (http://www.endure-network.eu/about_endure/all_the_news/new_guide_tackling_tuta_absoluta).
- BELDA J.E., GIMÉNEZ A., JAVIER CALVO F., 2011 – *Success and extension of biological control strategies for managing Tuta absoluta (Meyrick) (Lep. Gelechiidae) populations in the Mediterranean area*. EPPO/IOBC/FAO/NEPPO Abstracts' Book of the International Symposium on management of *Tuta absoluta* (tomato borer). - Agadir, Morocco, November 16-18, 2011: 28.
- BAJONERO J., CORDOBA N., CANTOR F., RODRIGUEZ D., RICARDO CURE J., 2008 – *Biology and life cycle of Apanteles gelechiidivoris (Hymenoptera: Braconidae)*

- parasitoid of Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae).* - Agron. Colomb. 26: 417-426.
- BERNARDO U., VIGGIANI G., 2002 – *Notizie biologiche sul Necremnus tidius (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae), ectoparassitoide di Cosmopterix pulchrimella Chambers (Lepidoptera: Cosmopterigidae).* - Boll. Lab. Entomol. Agr. Filippo Silvestri 58: 87-92.
- CABELLO T., GALLEGO J.R., VILA E., SOLER A., DEL PINO M., CARNERO A., HERNÁNDEZ-SUÁREZ E., POLASZEK A., 2009 – *Biological control of the South American tomato pinworm, Tuta absoluta (Lep.: Gelechiidae), with releases of Trichogramma achaeae (Hym.: Trichogrammatidae) on tomato greenhouses of Spain.* - IOBC/WPRS Bull. 49: 225-230.
- COLOMO M.V., BERTA D.C., CHOCOBAR M.J., 2002 – *El complejo de himenópteros parasitoides que atacan a la "polilla del tomate" Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) en la Argentina.* - Acta Zool. Lillo. 46: 81-92.
- COUDRON T.A., KNOP WRIGHT M.M., PUTTLER B., BRANDT S.L., RICE W.C., 2000 – *Effect of the ectoparasite Necremnus breviamulus (Hymenoptera: Eulophidae) and its venom on natural and factitious hosts.* - Ann. Entomol. Soc. Am. 93: 890-897.
- DESNEUX N., WAJNBERG E., WYCKHUYS K.A.G., BURGIO G., ARPAIA S., NÁRVAEZ-VÁSQUEZ C.A., GONZÁLEZ-CABRERA J., CATÁLAN RUESCAS D., TABONE E., FRANDON J., PIZZOL J., PONCET C., CABELLO T., URBANEJA A., 2010 – *Biological invasion of European tomato crops by Tuta absoluta: ecology, geographic expansion and prospects for biological control.* - J. Pest. Sci. 83: 197-215.
- DOSDALL L.M., GIBSON G.A.P., OLFERT O., KEDDIE B.A., ULMER B.J., 2007 – *Contributions to the life history, host range, and distribution of Necremnus tidius (Hymenoptera: Eulophidae).* - Ann. Entomol. Soc. Am. 100: 861-868.
- FARIA C.A., TORRES J.B., FERNANDES A.M.V., FARIAS A.M.I., 2008 – *Parasitism of Tuta absoluta in tomato plants by Trichogramma pretiosum Riley in response to host density and plant structures.* - Cienc. Rural, Santa Maria 38: 1504-1509.
- FERRACINI C., INGEGNO B.L., NAVONE P., FERRARI E., MOSTI M., TAVELLA L., ALMA A., 2012 – *Adaptation of indigenous larval parasitoids to Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) in Italy.* - J. Econ. Entomol. 105: 1311-1319.
- FOIS F., PORCU M., SAU S., CARRUSCI P., DEIANA M., NANNINI M., 2011 – *Osservazioni sulla dinamica di popolazione della tignola del pomodoro Tuta absoluta (Lepidoptera, Gelechiidae) in coltura protetta.* Atti XXIII Congr. Naz. Ital. Entomol., 13-16 giugno 2011, Genova: 221.
- GABARRA R., ARNÓ J., 2010 – *Resultados de las experiencias de control biológico de la polilla del tomate en cultivo de invernadero y aire libre en Cataluña.* - Phytoma España 217: 65-68.
- HARPAZ L.S., GRAPH S., RIKI K., AZOLAY L., ROZENBERG T., YAKOV N., ALON T., ALUSH A., STINBERG S., GERLING D., 2011 – *IPM of Tuta absoluta in Israel.* - EPPO/IOBC/FAO/NEPPO Abstracts' Book of the International Symposium on management of Tuta absoluta (tomato borer). - Agadir, Morocco, November 16-18, 2011: 32.
- INGEGNO B.L., PANSÀ M.G., TAVELLA L., 2009 – *Tomato colonization by predatory bugs (Heteroptera: Miridae) in agroecosystems of NW Italy.* - IOBC/WPRS Bull. 49: 287-291.
- INGEGNO B.L., PANSÀ M.G., TAVELLA L., 2011 – *Plant preference in the zoophytophagous generalist predator Macrolophus pygmaeus (Heteroptera: Miridae).* - Biol. Control 58: 174-181.
- INGEGNO B.L., GOULA M., NAVONE P., TAVELLA L., 2008 – *Distribution and host plants of the genus Dicyphus in the Alpine valleys of NW Italy.* - Bull. Insectol. 61 (1): 139-140.
- [IRAC] Insecticide Resistance Action Committee, 2011 – *Tuta absoluta the tomato leafminer or tomato borer. Recommendations for sustainable and effective resistance management insecticide resistance management.* (http://www.iraonline.org/wp-content/uploads/2009/12/Tuta_brochure_print-version_11Oct11.pdf).
- JACOBSON R., 2011 – *Tuta absoluta: A season-long IPM strategy based on predatory bugs.* EPPO/IOBC/FAO/NEPPO Abstracts' Book of the International Symposium on management of Tuta absoluta (tomato borer). - Agadir, Morocco, November 16-18, 2011: 33.
- KERZHNER I.M., JOSIFOV M., 1999 – *Cimicomorpha II: Miridae.* In Aukema B., Rieger C. Catalogue of the Heteroptera of the Palaearctic Region. Vol. 3. The Netherlands Entomological Society, Amsterdam, The Netherlands: 577.
- LIETTI M.M.M., BOTTO E., ALZOGARAY R.A., 2005 – *Insecticide resistance in Argentine populations of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae).* - Neotrop. Entomol. 34: 113-119.
- LONI A., ROSSI E., VAN ACHTERBERG K., 2011 – *First report of Agathis fuscipennis in Europe as parasitoid of the tomato leafminer Tuta absoluta.* - Bull. Insectol. 64: 115-117.
- LUNA M.A.G., WADA V.I., SÁNCHEZ N.E., 2010 – *Biology of Dineulophus phthorimaeae (Hymenoptera: Eulophidae) and field interaction with Pseudapanteles dignus (Hymenoptera: Braconidae), larval parasitoids of Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato.* - Ann. Entomol. Soc. Am. 103: 936-942.
- MARCHIORI C.H., SILVA C.G., LOBO A.P., 2004 – *Parasitoids of Tuta absoluta (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) collected on tomato plants in Lavras, state of Minas Gerais, Brazil.* - Braz. J. Biol. 64: 551-552.
- MIRANDA M.M.M., PICANCO M., ZANUNCIO J.C., BACCI L., DA SILVA E.M., 2005 – *Impact of integrated pest management on the population of leafminers, fruit borers, and natural enemies in tomato.* - Cienc. Rural, Santa Maria 35: 204-208.
- MOLLÁ O., MONTÓN H., BEITIA F., URBANEJA A., 2008 – *La polilla del tomate Tuta absoluta (Meyrick), una nueva plaga invasora.* - Terralia 69: 36-42.
- MOLLÁ O., ALONSO M., MONTÓN H., BEITIA F., VERDÚ M.J., GONZÁLEZ-CABRERA J., URBANEJA A., 2010 – *Control biológico de Tuta absoluta. Catalogación de enemigos naturales y potencial de los míridos depredadores como agentes de control.* - Phytoma España 217: 42-46.
- PRATISSOLI D., PARRA J.R.P., 2000 – *Fertility life table of Trichogramma pretiosum (Hym., Trichogrammatidae) in eggs of Tuta absoluta and Phthorimaea operculella (Lep., Gelechiidae) at different temperatures.* - J. Appl. Entomol. 124: 339-342.
- RIZZO M.C., MARGIOTTA V., CALECA V., 2011 – *Necremnus artynes parassitoide di Tuta absoluta su pomodoro, melanzana e Solanum nigrum in serra a conduzione biologica.* Atti XXIII Congr. Naz. Entomol., 13-16 giugno 2011, Genova: 357.

- SÁNCHEZ N.E., PEREYRA P.C., LUNA M.G., 2009 – *Spatial patterns of parasitism of the solitary parasitoid Pseudapanteles dignus (Muesebeck) (Hymenoptera: Braconidae) on the tomato leafminer Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - Environ. Entomol. 38: 365-374.
- SEGURET J., MAIGNET P., RIDRAY G., 2011 – *Efficacy of the combination of two beneficials to control Tuta absoluta (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato glasshouses in southern France*. - EPPO/IOBC/FAO/NEPPO Abstracts' Book of the International Symposium on management of *Tuta absoluta* (tomato borer). - Agadir, Morocco, November 16-18, 2011: 47.
- SERVADEI A., 1967 – *Rhynchota (Heteroptera, Homoptera Auchenorrhyncha). Catalogo topografico e sinonimico*. In: Fauna d'Italia, 9. Calderini, Bologna: 1-851.
- TAVELLA L., ALMA A., SARGIOTTO C., 1997 – *Samplings of Miridae Dicyphinae in tomato crops of northwestern Italy*. - IOBC/WPRS Bull. 20 (4): 249-256.
- TAVELLA L., GOULA M., 2001 – *Dicyphini collected in horticultural areas of northwestern Italy (Heteroptera Miridae)*. - Boll. Zool. agr. Bachic., Ser. II. 33: 93-102.
- THE NATURAL HISTORY MUSEUM, 2011 – *Universal Chalcidoidea Database. Chalcidoid associates of named taxon: search results*. <http://www.nhm.ac.uk/research500/curation/research/projects/chalcidoids/database/detail.dsml?FamilyCode=HE&VALAUTHOR=%28Walke%29&VALGENUS=Necremnus&HOMCODE=0&VALDATE=1839&VALSPECIES=artynes&&listPageURL=browseMedia.dsml%3f&tab=associates>.
- URBANEJA A., MONTÓN H., MOLLÁ O., 2009 – *Suitability of the tomato borer Tuta absoluta as prey for Macrolophus pygmaeus and Nesidiocoris tenuis*. - J. Appl. Entomol. 133: 292-296.
- VIGGIANI G., FILELLA F., DELRIO G., RAMASSINI W., FOXI C., 2009 – *Tuta absoluta, nuovo lepidottero segnalato anche in Italia*. - Inf.tore Agr. 65 (2): 66-68.
- VIRGALA RIQUELME M.B., BOTTO E.N., 2010 – *Estudios biológicos de Trichogrammatoidea bactrae Nagaraja (Hymenoptera: Trichogrammatidae), parasitoide de huevos de Tuta absoluta Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - Neotrop. Entomol. 39: 612-617.
- VOIGT D., GORB E., GORB S., 2007 – *Plant surface-bug interactions: Dicyphus errans stalking along trichomes*. - Arthropod-Plant Interactions 1 (4): 221-243.
- ZAPPALÀ L., BIONDI A., TROPEA GARZIA G., SISCARO G., 2011 – *Studi sui parassitoidi indigeni di Tuta absoluta in Sicilia*. Atti XXIII Congr. Naz. Ital. Entomol., 13-16 Giugno 2011, Genova: 335.
- ZAPPALÀ L., BERNARDO U., BIONDI A., COCCO A., DELIPERI S., DELRIO G., GIORGINI M., PEDATA P., RAPISARDA C., TROPEA GARZIA G., SISCARO G., 2012a – *Recruitment of native parasitoids by the exotic pest Tuta absoluta in Southern Italy*. - Bull. Insectol. 65 (1): 51-61.
- ZAPPALÀ L., SISCARO G., BIONDI A., MOLLÁ O., GONZÁLEZ-CABRERA J., URBANEJA A., 2012b – *Efficacy of sulphur on Tuta absoluta and its side effects on predator Nesidiocoris tenuis*. - J. Appl. Entomol. 136: 401-409.
- ZUCCHI R.A., QUERINO R.B., 2000 – *Towards a database for the Trichogramma species, their hosts and plant associations in the South America*. In Proceedings of the XXI International Congress of Entomology, (abstr.) Book I, August 20-26, 2000, Iguassu Falls, Brazil: 201.

PROSPETTIVE E LIMITI DELL'IMPIEGO DI FEROMONI SESSUALI PER LA LOTTA CONTRO LA TIGNOLA DEL POMODORO

GAVINO DELRIO (*) - ARTURO COCCO (*) - SALVATORE DELIPERI (*)

(*) Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Sassari, Viale Italia 39, 07100 Sassari, Italia; gdelrio@uniss.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La Tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick)". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 17 febbraio 2012.

Use of sex pheromones to control the tomato leafminer, Tuta absoluta: perspectives and limitations

In 2010-2012, greenhouse and open-field trials were conducted in Sardinia on the potential use of the sex pheromone to control the tomato leafminer, *Tuta absoluta*. Pheromone monitoring traps were useful to outline the pest phenology, although no correlation was found between male captures and *T. absoluta* infestation in open-field crops. Conversely, in greenhouse tomato crops with low pest population density the number of males was correlated with that of leaf mines. The mass trapping technique, deploying pheromone water traps at increasing densities up to 100 traps/ha, was not effective in controlling *T. absoluta* infestations. On the other hand, light traps, which captured approx. 50% of females, reduced the leaf damage during the summer-winter tomato growing season (1 trap/350-500 m²), but they were not effective in the winter-summer season (1 trap/700-1000 m²).

The mating disruption technique, tested in greenhouses with insect-proof screens by deploying 1000 dispensers/ha (60 g of a.i./ha), effectively reduced male captures at pheromone monitoring traps as well as leaf and fruit damage in both tomato growing seasons.

KEY WORDS: *Tuta absoluta*, monitoring, mass trapping, mating disruption.

INTRODUZIONE

La tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera; Gelechiidae), originaria del Sud America (DESNEUX *et al.*, 2010), è stata segnalata in Spagna nel 2006 (URBANEJA *et al.*, 2007) e ha successivamente invaso tutto l'areale mediterraneo fino al Medio Oriente (ABDUL RAZZAK *et al.*, 2010). In Italia è stata ritrovata nel 2008 in Sardegna e Calabria (VIGGIANI *et al.*, 2009) e successivamente in quasi tutte le altre regioni (SPERANZA & SANNINO, 2011).

Tuta absoluta è una specie omodinamica, polivoltina e polifaga; è stata riscontrata prevalentemente su Solanacee ma anche su fagiolo e *Malva* sp. Il pomodoro costituisce l'ospite di elezione fra le Solanacee coltivate, con danni che possono arrivare anche al 100% della produzione, mentre meno infestate sono melanzana, peperone e patata. La Solanacea spontanea più frequentemente attaccata in Italia è la morella comune, *Solanum nigrum* L.

Il controllo di *T. absoluta* sul pomodoro, reso difficile dai costumi endofitici delle larve, si è basato in Sud America essenzialmente sull'uso massiccio di insetticidi, con 2-3 trattamenti per settimana e fino a 36 interventi per ciclo colturale (PICANÇO *et al.*, 1995). Ciò ha portato all'insorgenza di popolazioni resistenti ai diversi principi

attivi man mano utilizzati, come metamidofos, permetrina, abamectina e cartap (SIQUEIRA *et al.*, 2000) e, recentemente, anche a insetticidi di nuova generazione come spinosad (REYES *et al.*, 2011). Anche le popolazioni di *T. absoluta* introdotte accidentalmente in Italia si sono dimostrate resistenti a numerosi principi attivi. In prove effettuate in serre di pomodoro della Sardegna con 11 insetticidi, solo spinosad e, in minor misura, indoxacarb e metaflumizone hanno mostrato una buona efficacia (NANNINI, 2011), mentre in pieno campo, in condizioni di forte attacco, due trattamenti con diversi principi attivi (spinosad, indoxacarb, deltametrina o chlorpyrifos) non sono stati sufficienti a controllare l'infestazione (G. DELRIO & C. FOXI, dati non pubblicati).

Le difficoltà incontrate nella lotta chimica alla tignola del pomodoro hanno stimolato la ricerca di metodi di controllo eco-sostenibili, con l'impiego di *Bacillus thuringiensis* (GONZALES-CABRERA *et al.*, 2011), nematodi entomopatogeni (BATALLA-CARRERA *et al.*, 2010), predatori e parassitoidi (MOLLÀ *et al.*, 2011; CABELLO *et al.*, 2009; ZAPPALÀ *et al.*, 2012) e la selezione di cultivar di pomodoro resistenti (OLIVEIRA *et al.*, 2009). L'identificazione del feromone sessuale di *T. absoluta*, costituito da una miscela di (3E,8Z,11Z)-tetradecatrien-1-yl acetato e di (3E,8Z)-tetradecadien-1-yl

acetato nel rapporto di 90:10 (SVATOS *et al.*, 1996), ha aperto la strada anche alle applicazioni di lotta biotecnica. Il componente principale del feromone sessuale si è dimostrato fortemente attrattivo nei confronti dei maschi in campo (MICHEREFF FILHO *et al.*, 2000a) e, in Brasile, sono state osservate catture medie di 1200 maschi per notte a trappole innescate con feromone sintetico (FERRARA *et al.*, 2001). I feromoni sessuali sono ampiamente impiegati per il monitoraggio e per il controllo di molti lepidotteri dannosi, mediante le tecniche di cattura massale e di confusione sessuale. Anche per la tignola del pomodoro sono state proposte le trappole a feromoni per stabilire soglie di intervento (VERCHER *et al.*, 2010) e per la tecnica delle catture massali (AL-ZAIDI, 2010), e sono iniziate le ricerche sull'efficacia della tecnica di confusione sessuale in pieno campo e in coltura protetta (MICHEREFF FILHO *et al.*, 2000b; MARTÌ MARTÌ *et al.*, 2010; VACAS *et al.*, 2011; COCCO *et al.*, 2012).

Si riportano qui i risultati della sperimentazione condotta in Sardegna negli anni 2010-2012 sull'utilizzazione del feromone sessuale per il controllo della tignola del pomodoro, insieme a quanto riportato su questo tema nella letteratura scientifica.

MONITORAGGIO

Le trappole a feromoni costituiscono un mezzo semplice e adeguato per monitorare l'andamento delle popolazioni di *T. absoluta* e delineare la fenologia dell'insetto nelle diverse aree climatiche e colturali. Nel nord della Sardegna (Sorso, Sassari), gli adulti sono stati riscontrati in pieno campo durante tutto il 2011, con densità molto basse nei mesi invernali e massima presenza in quelli estivi (Fig. 1a). L'aumento delle catture di maschi è risultato correlato a quello delle temperature e a fine agosto sono state raggiunte catture medie superiori a 1000 maschi per trappola per settimana. L'insetto si sviluppa in inverno sulle colture di patata precoce e su *Solanum nigrum*, mentre nel periodo estivo attacca soprattutto il pomodoro e la melanzana (Fig 1b) (S. DELIPERI, dati non pubblicati).

L'esame visivo delle piante e dei frutti di pomodoro per stimare il livello di infestazione di *T. absoluta* e per definire delle soglie di intervento è particolarmente oneroso, mentre le trappole a feromoni potrebbero semplificare il campionamento, se fosse stabilita una relazione affidabile fra catture e infestazione. Una correlazione significativa fra il numero di maschi catturato alle trappole e il livello di danno alla pianta e ai frutti è stata stabilita in colture di pomodoro in pieno

campo in Spagna (VERCHER *et al.*, 2010) e, in Brasile, sono state proposte soglie di intervento basate sulle catture (BENVENGA *et al.*, 2007). Al contrario, in condizioni di alte densità di *T. absoluta* in campi di pomodoro da industria in Sardegna centrale, non è stata trovata alcuna correlazione significativa fra catture e infestazione (Fig. 2). In particolare, le catture di maschi sono apparse molto elevate nella fase iniziale della coltura, probabilmente per un effetto di richiamo dei maschi dalle aree circostanti i campi di pomodoro, indotto anche dalle trappole.

Nelle colture in serra invece, in condizioni di basse popolazioni (catture inferiori a 25 maschi/trappola/settimana), è stata riscontrata in Sardegna una correlazione significativa fra catture di maschi e numero medio di mine per foglia di pomodoro (Fig. 3). Diversamente, in serre della Tunisia con alte densità di adulti è stata rilevata una correlazione fra catture e tasso di infestazione sulle foglie, ma non fra catture e numero di mine per foglia (ABBES & CHERMITI, 2011).

L'uso delle trappole a feromoni per la stima delle infestazioni e per stabilire le soglie di intervento sembra al momento incontrare le stesse difficoltà conosciute per altri lepidotteri; sono pertanto necessarie ulteriori ricerche per definirne le migliori condizioni di impiego.

CATTURE MASSALI

La tecnica delle catture massali, con trappole a feromoni o luminose, ha avuto una forte diffusione fra gli operatori ed è impiegata estensivamente in coltura protetta, senza che ne sia stata ancora adeguatamente sperimentata la reale efficacia. Sono anche commercializzate trappole ad alimentazione solare che, per aumentare l'attrazione, integrano una specifica lunghezza d'onda luminosa e il feromone sessuale.

Le trappole a feromoni più comunemente usate sono innescate con quantità diverse di feromone sessuale e diffusori di vario tipo, con una durata di attrazione di 5-6 settimane, e hanno un dispositivo di cattura costituito da un piatto (32-34 cm di diametro) riempito di acqua. Le ditte produttrici di feromoni e trappole consigliano di disporre in campo un numero variabile da 15 a 30 trappole per ettaro, allo scopo di catturare un numero di maschi sufficiente a ridurre la probabilità di accoppiamento delle femmine e conseguentemente la deposizione di uova fecondate.

Prove di cattura massale condotte in Sardegna in serre di pomodoro dotate di reti anti-insetto con l'impiego di trappole a feromoni ad acqua, a

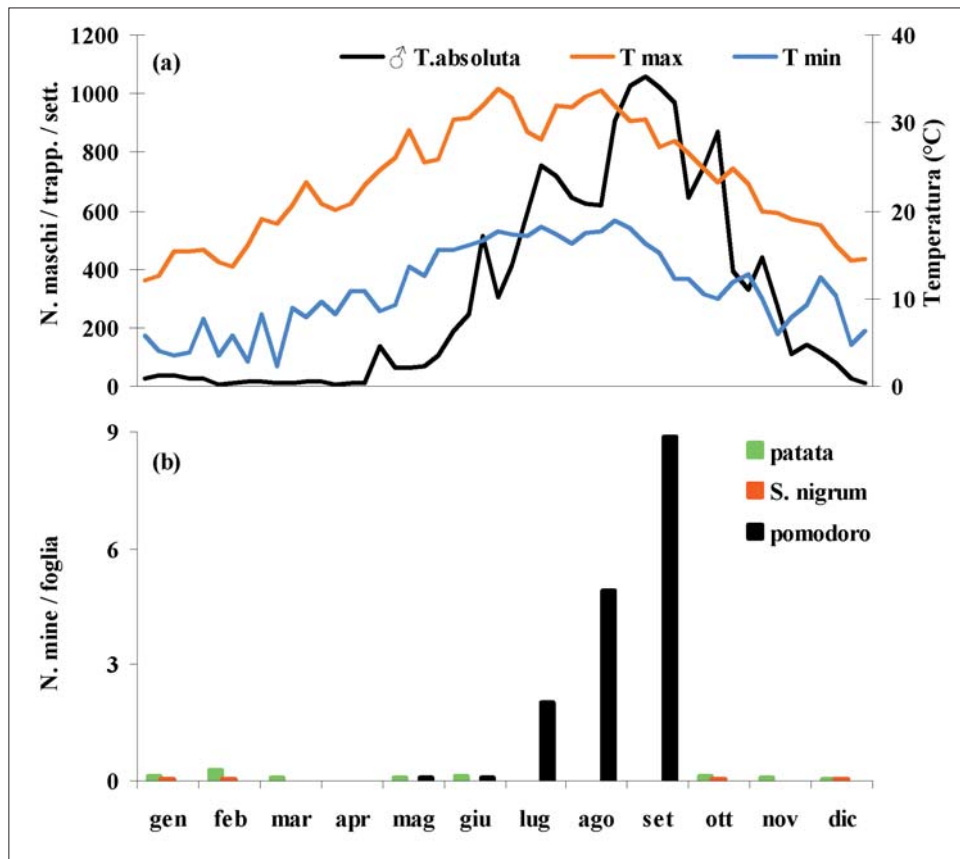


Fig. 1
Andamento delle temperature e delle catture di maschi di *Tuta absoluta* alle trappole a feromone in pieno campo (a) e dell'infestazione sulle piante ospiti (b) in nord Sardegna (2011).

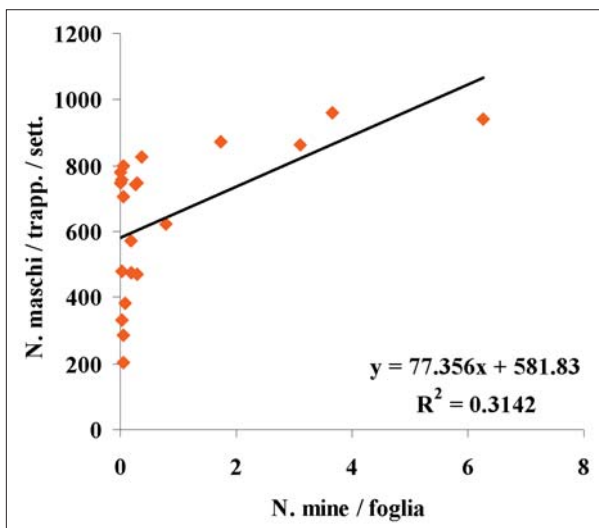


Fig. 2
Correlazione tra le catture di maschi di *Tuta absoluta* alle trappole a feromone e l'infestazione su piante di pomodoro in pieno campo (Sardegna, 2010).

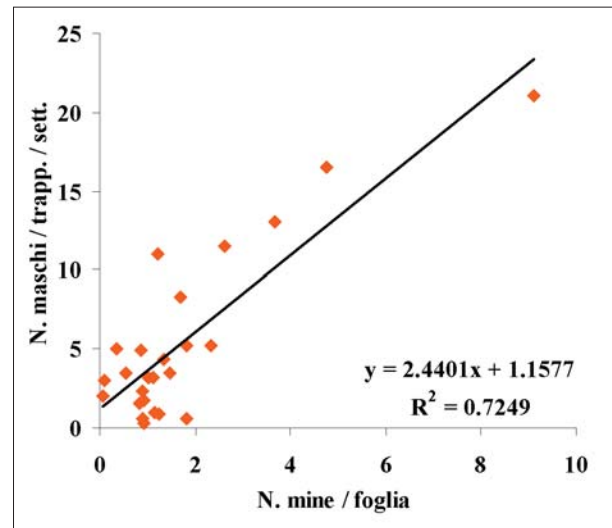


Fig. 3
Correlazione tra le catture di maschi di *Tuta absoluta* alle trappole a feromone e l'infestazione su piante di pomodoro in coltura protetta (Sardegna, 2011).

densità crescenti fino a 100 trappole/ha, hanno dimostrato l'inaffidabilità di questa tecnica per il controllo di *T. absoluta*. Le trappole sono risultate efficienti e hanno catturato un alto numero di maschi; solo in un caso però è stata riscontrata una differenza significativa fra il numero di mine

fogliari nella serra difesa con le trappole rispetto a quella testimone e, in un altro, fra le percentuali di frutti infestati. Tuttavia, poiché non è stato rilevato alcun effetto della densità delle trappole sulla riduzione dell'infestazione (COCCO *et al.*, 2012) (Tab. 1), anche l'aumento del numero dei

Tabella 1 – Prove di cattura massale di *Tuta absoluta* con l'impiego di trappole ad acqua innescate con feromone in serre della Sardegna (2010-2012).

	N. maschi/trappola	N. mine/foglia ^a	% frutti attaccati
Controllo	–	6,1*	12,7
28 trappole/ha	965	2,7	11,3
Controllo	–	1,4	2,8
40 trappole/ha	810	1,7	0,6*
Controllo	–	0,9	1,3
40 trappole/ha	524	1,2	0,8
100 trappole/ha	454	0,7	2,8

^a Dati medi riferiti all'intero ciclo colturale

* Significativo a P = 0,05

maschi catturati per unità di superficie, dovuto all'intensificazione delle trappole, non è stato sufficiente a contenere gli attacchi. L'impiego della tecnica delle catture massali con feromoni è reso difficoltoso anche dal comportamento poligamo dei maschi di *T. absoluta*, che possono accoppiarsi in media per 6,5 volte durante tutta la vita (SILVA, 2008). Per ottenere buoni risultati con questa tecnica è pertanto necessario catturare la quasi totalità dei maschi e questo potrà ottenersi solo con un netto miglioramento dei sistemi di attrazione e cattura. Infatti, in serre di pomodoro sprovviste di reti anti-insetto della Tunisia non è stata ottenuta una riduzione dell'infestazione e del danno ai frutti con l'impiego di una trappola a feromoni per 500 m² di superficie (ABBES & CHERMITI, 2011).

Le trappole luminose catturano gli adulti di ambedue i sessi di *T. absoluta* e sono state propo-

ste per il controllo del fitofago in serre di pomodoro (DE OLIVEIRA *et al.*, 2008).

In Sardegna sono state sperimentate trappole a suzione con 2 tubi a luce nera di 6 W per la difesa del pomodoro in serre con reti anti-insetto. Le prove sono state condotte in due distinti cicli colturali di pomodoro, impiegando diverse densità di trappole. Nel ciclo colturale estivo-invernale sono state riscontrate basse catture di adulti alle trappole luminose, con circa il 50% di femmine. Densità di una trappola per 350 o per 500 m² hanno ridotto di circa il 50% le infestazioni sulle foglie, ma solo in una prova è stata trovata una differenza significativa fra la percentuale di frutti attaccati nelle serre difese con la tecnica delle catture massali e quelle testimone (Tab. 2). Nel ciclo colturale invernale-estivo le catture di adulti (con in media 46% di femmine) sono risultate molto elevate, soprattutto nell'ultimo mese della coltivazione. L'effetto delle catture massali, con una trappola per 700 o 1000 m², è risultato inconsistente sull'infestazione sulle foglie e sui frutti. Infatti, non è stato rilevato alcun effetto significativo sulla riduzione del numero di mine fogliari, mentre l'infestazione sui frutti è risultata più bassa nelle serre difese con trappole luminose in una prova, ma più alta in una seconda prova (Tab. 2).

CONFUSIONE SESSUALE

Prove di lotta contro *T. absoluta* sono state condotte in Europa e Sud America con alterni risultati. In Brasile, la confusione sessuale condotta su

Tabella 2 – Prove di cattura massale di *Tuta absoluta* con l'impiego di trappole luminose in serre della Sardegna (2010-2011).

	N. adulti catturati		N. mine/foglia ^a	% frutti attaccati
	Maschi	Femmine		
<i>Ciclo estivo-invernale</i>				
Controllo	–	–	1,4	2,8*
1 trappola/500 m ²	92	46	0,9	0,2
Controllo	–	–	6,1*	12,7
1 trappola/500 m ²	84	119	2,2	15,6
1 trappola/350 m ²	153	114	2,6	16,3
<i>Ciclo invernale-estivo</i>				
Controllo	–	–	2,5	4,4*
1 trappola/1000 m ²	4409	3957	2,0	2,6
Controllo	–	–	1,4	12,8
1 trappola/1000 m ²	846	1442	1,0	8,6
1 trappola/700 m ²	1582	647	0,8	21,7*

^a Dati medi riferiti all'intero ciclo colturale

* Significativo a P = 0,05

pomodoro in pieno campo con quantità di ingrediente attivo crescenti fino a 80 g/ha ha ridotto significativamente le catture dei maschi alle trappole a feromone ma non ha influenzato il danno su piante e frutti rispetto alle parcelle non trattate. I risultati non del tutto soddisfacenti sono stati addebitati alle limitate dimensioni delle parcelle, alla composizione e dose di feromone impiegata e all'alta densità di popolazione del fitofago (MICHEREFF FILHO *et al.*, 2000b). Prove di confusione sessuale in coltura protetta svolte in Spagna impiegando erogatori di feromone o un formulato micro-incapsulato hanno evidenziato l'inefficienza di questa tecnica a dosi ridotte (2 g/ha di ingrediente attivo) (MARTÍ MARTÍ *et al.*, 2010), mentre una quantità di feromone pari a 30 g/ha ha permesso di ridurre significativamente il danno causato dalla tignola del pomodoro (VACAS *et al.*, 2011). Nel corso del 2010-2011, ulteriori esperimenti sono stati svolti in Sardegna su pomodoro in serra nei cicli colturali invernale-estivo ed estivo-autunnale (COCCO *et al.*, 2012). In entrambi i cicli di coltivazione, le serre protette con 1000 erogatori/ha (60 g/ha di ingrediente attivo) hanno mostrato catture alle trappole a feromoni e danni su piante e frutti significativamente inferiori rispetto alle serre testimone (Tab. 3).

Durante il ciclo invernale-estivo, in una serra con 500 erogatori/ha (30 g/ha) non sono stati ottenuti risultati soddisfacenti e comparabili con quelli di VACAS e collaboratori (2011), probabilmente a causa della differente formulazione degli erogatori o del livello di isolamento della serra. I risultati ottenuti in Spagna e in Sardegna sono concordi nell'indicare l'importanza dell'isolamento nelle serre da proteggere con la confusione sessuale, in quanto questa tecnica si è mostrata inefficace in

serre prive di reti anti-insetto (COCCO *et al.*, 2011; VACAS *et al.*, 2011).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il feromone sessuale di *T. absoluta* è stato identificato nel 1996, ma solo da qualche anno, soprattutto in seguito alla diffusione dell'insetto nell'area mediterranea, sono iniziate le ricerche sul suo potenziale impiego per le tecniche di monitoraggio e controllo.

Il monitoraggio della tignola del pomodoro è attualmente basato essenzialmente sull'esame visivo delle piante infestate. L'impiego delle trappole a feromoni, che potrebbe ridurre notevolmente i costi di campionamento, è ancora in fase sperimentale e potrà essere proposto nella pratica agricola solo quando e se saranno trovate correlazioni affidabili fra catture e infestazione nelle diverse aree agro-ecologiche di coltivazione del pomodoro. Maggiori prospettive per determinare soglie di intervento basate sulle catture di maschi alle trappole sembrano aversi nella coltura in serra, in cui le popolazioni di *T. absoluta* risultano più basse e le condizioni ecologiche sono più stabili.

La tecnica delle catture massali, con trappole a feromoni o luminose, nonostante sia molto diffusa nella pratica per la difesa del pomodoro in coltura protetta, non ha dato al momento risultati di sicura affidabilità. In questo settore saranno determinanti i miglioramenti tecnologici nelle tecniche di attrazione e cattura degli adulti (ad esempio integrando l'attrazione del feromone e delle radiazioni luminose) o nello sviluppo di tecniche attratticide (lure and kill). Migliori risultati sono stati ottenuti con la confusione sessuale; tuttavia anche l'applicazione

Tabella 3 – Prove di confusione sessuale per il controllo di *Tuta absoluta* in serre della Sardegna (2010-2011).

	N. maschi/trappola	N. mine/foglia ^a	% frutti attaccati
<i>Ciclo invernale-estivo</i>			
Controllo	196,5	1,3	3,2
500 erogatori/ha	51,0	2,4	6,7
1000 erogatori/ha	6,0*	0,3*	1,2*
Controllo	594,0	1,3	4,7
1000 erogatori/ha	5,7 *	0,2*	0,6*
<i>Ciclo estivo-invernale</i>			
Controllo	715,8	1,6	5,0
1000 erogatori/ha	36,5 *	0,3*	0,6*
Controllo	660,5	1,1	1,7
1000 erogatori/ha	47,0*	0,5*	0,4*

^a Dati medi riferiti all'intero ciclo colturale

* Significativo a P = 0,05

cazione di questa tecnica nelle serre di pomodoro dipenderà dai miglioramenti apportati ai diffusori e soprattutto dall'abbattimento dei costi di sintesi del feromone, che risultano ancora troppo elevati.

RIASSUNTO

Durante il 2010-2012 sono state condotte in Sardegna ricerche sul potenziale impiego del feromone sessuale per il controllo della tignola del pomodoro, *Tuta absoluta*. Le trappole a feromoni sono risultate utili per delineare la fenologia dell'insetto, sebbene non sia stata riscontrata una correlazione fra le catture dei maschi e le infestazioni in pieno campo. Nelle coltivazioni di pomodoro in serra invece, in condizioni di bassa densità di popolazione di *T. absoluta*, è stata trovata una correlazione significativa tra il numero di maschi catturati e quello di mine fogliari. La tecnica di cattura massale dei maschi, con l'impiego in serra di trappole ad acqua innescate con feromoni a densità crescenti fino a 100 trappole/ha, non è risultata affidabile per il controllo di *T. absoluta*. Le trappole luminose, invece, con catture di circa il 50% di femmine, hanno ridotto l'infestazione fogliare nel ciclo estivo-invernale del pomodoro (1 trappola per 350-500 m²), ma non in quello invernale-estivo (1 trappola per 700-1000 m²).

La tecnica di confusione sessuale con l'impiego di 1000 erogatori/ha (60 g di feromone) in serre dotate di reti anti-insetto è risultata efficace in entrambi i cicli colturali nel ridurre le catture di maschi alle trappole a feromoni e l'infestazione sulle foglie e sui frutti.

BIBLIOGRAFIA

- ABBES K., CHERMITI B., 2011 – *Comparison of two marks of sex pheromone dispensers commercialized in Tunisia for their efficiency to monitor and to control by mass-trapping Tuta absoluta under greenhouses*. - Tunisian J. Plant Prot., 6: 133-148.
- ABDUL RAZZAK A.S., AL-YASIRI I.I., FADHIL H.Q., 2010 – *First record of tomato borer (tomato moth) Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) on tomato crop in Iraq*. - Arab Near East Plant Prot. Newsletter, 51: 34.
- AL-ZAIDI S., 2010 – *Manejo de Tuta absoluta mediante feromonas*. - Phytoma España, 217: 41.
- BATALLA-CARRERA L., MORTON A., GARCÍA-DEL-PINO F., 2010 – *Efficacy of entomopathogenic nematodes against the tomato leafminer Tuta absoluta in laboratory and greenhouse conditions*. - BioControl, 55: 523-530.
- BENVENGA S.R., FERNANDES O.A., GRAVENA S., 2007 – *Tomada de decisão de controle da traça-do-tomateiro através de armadilhas com feromônio sexual*. - Hortic. Bras., 25: 164-169.
- CABELLO T., GALLEGO J.R., VILA E., SOLER A., DEL PINO M., CARNERO A., HERNÁNDEZ-SUÁREZ E., POLASZEK A., 2009 – *Biological control of the South American tomato pinworm Tuta absoluta (Lep.: Gelechiidae), with releases of Trichogramma achaeae (Hym.: Trichogrammatidae) in tomato greenhouses of Spain*. - IOBC/WPRS Bull., 49: 225-230.
- COCCO A., DELIPERI S., DELRIO G., 2011 – *Prove di confusione sessuale contro Tuta absoluta su pomodoro in coltura protetta*. Atti XXIII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Genova 13-16 giugno 2011: 214.
- COCCO A., DELIPERI S., DELRIO G., 2012 – *Potential of mass trapping for Tuta absoluta management in greenhouse tomato crops using light and pheromone traps*. - IOBC/WPRS Bull., 80: 319-324.
- COCCO A., DELIPERI S., DELRIO G., 2013 – *Control of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato crops using the mating disruption technique*. - J. App. Entomol., 137: 16-28.
- DE OLIVEIRA A.C.R., VELOSO V.R.S., BARROS R.G., FERNANDES P.M., DE SOUZA E.R.B., 2008 – *Captura de Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) com armadilha luminosa na cultura do tomateiro tutorado*. - Pesqui. Agropecu. Trop., 38: 153-157.
- DESNEUX N., WAJNBERG E., WYCKHUYS K.A.G., BURGIO G., ARPAIA S., NARVÁEZ-VASQUEZ C.A., GONZÁLEZ-CABRERA J., RUESCAS D.C., TABONE E., FRANDON J., PIZZOL J., PONCET C., CABELLO T., URBANEJA A., 2010 – *Biological invasion of European tomato crops by Tuta absoluta: ecology, geographic expansion and prospect for biological control*. - J. Pest. Sci. 83: 197-215.
- FERRARA F.A.A., VILELA E.F., JHAM G.N., EIRAS A.E., PICANÇO M.C., ATTYGALLE A.B., SVATOŠ A., FRIGHERITO R.T.S., MEINWALD J., 2001 – *Evaluation of the synthetic major component of the sex pheromone of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - J. Chem. Ecol., 27: 907-917.
- GONZÁLEZ-CABRERA J., MOLLÁ O., MONTÓN H., URBANEJA A., 2011 – *Efficacy of Bacillus thuringiensis (Berliner) in controlling the tomato borer, Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - Biocontrol, 56: 71-80.
- MARTÍ MARTÍ S., MUÑOZ CELDRÁN M.M., CASAGRANDE E., 2010 – *El uso de feromonas para el control de Tuta absoluta: primeras experiencias en campo*. - Phytoma España, 217: 35-40.
- MICHEREFF FILHO M., VILELA E.F., ATTYGALLE A.B., MEINWALD J., SVATOŠ A., JHAM G.N., 2000a – *Field trapping of tomato moth, Tuta absoluta with pheromone traps*. - J. Chem. Ecol., 26: 875-881.
- MICHEREFF FILHO M., VILELA E.F., JHAM G.N., ATTYGALLE A.B., SVATOŠ A., MEINWALD J., 2000b – *Initial studies of mating disruption of the tomato moth, Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) using synthetic sex pheromone*. - J. Braz. Chem. Soc., 11: 621-628.
- MOLLÁ O., GONZÁLEZ-CABRERA J., URBANEJA A., 2011 – *The combined use of Bacillus thuringiensis and Nesidicoris tenuis against the tomato borer Tuta absoluta*. - Biocontrol, 56: 883-891.
- NANNINI M., FODDI F., MURGIA G., PISCI R., SANNA F., 2011 – *Insecticide efficacy trials for management of the tomato borer Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), a new tomato pest in Sardinia (Italy)*. - Acta Hort. (ISHS), 917: 47-53.
- OLIVEIRA F.A., DA SILVA D.J.H., LEITE G.L.D., JHAM G.N., PICANÇO M., 2009 – *Resistance of 57 greenhouse-grown accessions of Lycopersicon esculentum and three cultivars to Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - Sci. Hortic., 119: 182-187.
- PICANÇO M.C., GUEDES R.N.C., LEITE G.L.D., FONTES P.C.R., SILVA E.A., 1995 – *Incidência de Scrobipalpoides absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) em tomateiro sob diferentes sistemas de tutoramento e controle químico de pragas*. - Hortic. Bras., 13: 180-183.
- REYES M., ROCHA K., ALARCÓN L., SIEGWART M., SAUPHANOR B., 2011 – *Metabolic mechanisms involved in the resistance of field populations of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) to spinosad*. - Pestic. Biochem. Phys., 102: 45-50.
- SILVA S.S., 2008 – *Fatores da biologia reprodutiva que influenciam o manejo comportamental de Tuta absoluta*

- (Meyrick) (*Lepidoptera: Gelechiidae*). - Tesi di laurea , 63 pp. URL: <http://www.ppgea.ufrpe.br/novosite/files/dissertacoes/Shenia%20Santos%20Silva.pdf>.
- SIQUEIRA H.A.A., GUEDES R.N.C., PICAÑO M.C., 2000. *Insecticide resistance in population of Tuta absoluta (Lepidoptera, Gelechiidae)*. - Agric. For. Entomol., 2: 147-153.
- SPERANZA S., SANNINO L., 2011 – *The current status of Tuta absoluta in Italy*. - EPPO/IOBC/FAO/NEPPO Joint International Symposium on management of Tuta absoluta (tomato borer). URL http://archives.eppo.org/MEETINGS/2011_conferences/tuta/brochure_tuta.pdf: 21-23.
- SVATOŠ A., ATTYGALLE A.B., JHAM G.N., FRIGHETTO R.T.S., VILELA E.F., ŠAMAN D., MEINWALD J., 1996 – *Sex pheromone of tomato pest Scrobipalpuloides absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - J. Chem. Ecol., 22: 787-800.
- URBANEJA A., VERCHER R., NAVARRO V., GARCIA MARÍ F., PORCINA J.L., 2007 – *La polilla del tomate, Tuta absoluta*. - Phytoma España, 194: 16-23.
- VACAS S., ALFARO C., PRIMO J., NAVARRO-LLOPIS V., 2011 – *Studies on the development of a mating disruption system to control the tomato leafminer, Tuta absoluta Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - Pest Manag. Sci., 67: 1473-1480.
- VERCHER R., CALABUIG A., FELIPE C., 2010 – *Ecología, muestreos y umbrales de Tuta absoluta (Meyrick)*. - Phytoma España, 217: 23-26.
- VIGGIANI G., FILELLA F., DELRIO G., RAMASSINI W., FOXI C., 2009 – *Tuta absoluta, nuovo lepidottero segnalato anche in Italia*. - L'Informat. Agr., 65: 66-68.
- ZAPPALÀ L., BERNARDO U., BIONDI A., COCCO A., DELIPE-RI S., DELRIO G., GIORGINI M., PEDATA P., RAPISARDA C., TROPEA GARZIA G., SISCARO G., 2012 – *Recruitment of native parasitoids by the exotic pest Tuta absoluta in Southern Italy*. - Bull. Insect., 65: 51-61.

ORIENTAMENTI DI LOTTA INTEGRATA PER IL CONTENIMENTO DI *TUTA ABSOLUTA* (MEYRICK) IN ITALIA

GAETANO SISCARO (*) - ANTONIO BIONDI (*) - KHALID HADDI (*) - CARMELO RAPISARDA (*)
GIOVANNA TROPEA GARZIA (*) - LUCIA ZAPPALÀ (*)

(*) Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agroalimentari e Ambientali (DiGeSA), Università degli Studi di Catania, Via Santa Sofia, 100 - 95123 Catania; gsiscaro@unict.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La Tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick)". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 17 febbraio 2012.

Guidelines for Integrated Pest Management of Tuta absoluta (Meyrick) in Italy

The major sustainable control strategies of the Tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) are here reported. After describing the economic importance and the highlights of the biology of the exotic pest we define the most promising integrated pest management techniques. Within preventive strategies we focused the possible role of functional biodiversity to enhance the natural enemies through the promotion of ecological infrastructures; the cultural practices and exclusion techniques aimed to mitigate the susceptibility of the crop all through its development phase. The monitoring techniques based both on plant sampling and adult trapping are discussed together with the constraints of the economic thresholds. Then the potentiality of the biological control strategies is reported, with particular reference to the microbial control and most valuable strategies for the exploitation of indigenous antagonists. Finally, a feasible integrated pest management strategy of the Tomato leafminer is outlined so to ensure the best option for the protection of tomato crops in Italy.

KEY WORDS: South American tomato pinworm, integrated pest management, tomato.

INTRODUZIONE

La Tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), è un fitofago di primario interesse economico del pomodoro durante tutto il suo ciclo di produzione e commercializzazione. Questa specie di origine neotropica è diffusa in Sud America, sin dal 2006 si è rapidamente insediata in Europa (URBANEJA *et al.*, 2007; DESNEUX *et al.*, 2010). In Italia è stata segnalata nel 2008 (TROPEA GARZIA *et al.*, 2009; VIGGIANI *et al.*, 2009) e si è rapidamente diffusa nelle principali regioni produttrici di pomodoro interessando sia le coltivazioni per il mercato fresco che quelle destinate alla trasformazione. Negli ultimi anni, la diffusione del fitofago si è estesa, interessando gran parte dei Paesi europei e nord africani, nonché diverse aree del Medio Oriente (DESNEUX *et al.*, 2011; TROPEA GARZIA *et al.*, 2012).

Trattasi di una specie polivoltina che mostra un'alta capacità riproduttiva (PEREYRA & SANCHEZ, 2006). Le uova sono deposte, per lo più singolarmente, su foglie e steli, le larve giovani appena nate praticano un foro per svilupparsi all'interno dei tessuti della pianta, dove permangono fino a maturità alla ricerca di siti di alimentazione. La ninfosi avviene principalmente nel terreno e gli

adulti presentano un'attività prevalentemente crepuscolare (TROPEA GARZIA *et al.*, 2012).

La distribuzione del fitofago sulla pianta dipende dalla fase di sviluppo e dalla fenologia della pianta infestata; quest'aspetto è importante per definire un metodo di campionamento affidabile e per valutare il comportamento e l'impatto degli antagonisti naturali. Si osserva infatti che, le larve e le mine si ritrovano con maggiore frequenza sulle foglie espanse nella parte media della chioma, mentre le uova tendono ad essere deposte sulle foglie espanse nella parte apicale della pianta (GOMIDE *et al.*, 2001; TORRES *et al.*, 2001).

Nel bacino del Mediterraneo, la specie infesta altre solanacee sia coltivate (melanzana, peperone, patata e tabacco) che spontanee, come *Solanum nigrum* L., *S. lyratum* Thunberg, *Lycopersicon hirsutum* L., *Datura stramonium* L. e *Lycium chinense* Mill.; danni occasionali sono stati riportati anche su fagiolo (*Phaseolus vulgaris* L.) e uciuva o ribes del Capo (*Physalis peruviana* L.) (TROPEA GARZIA *et al.*, 2012).

La disponibilità di piante ospiti alternative è un elemento importante della dinamica di popolazione della specie, che ne consente la permanenza per l'intero anno anche in assenza di colture di pomodoro; questa capacità deve essere considerata

con attenzione quando si predispongono strategie di controllo integrato.

Nell'area di origine, la specie è considerata il fitofago-chiave del pomodoro a causa degli ingenti danni economici che può indurre se non adeguatamente contenuta (SILVA *et al.*, 2011); in questi Paesi, la strategia di controllo di *T. absoluta* è basata tuttora sul controllo chimico. Tuttavia, gli insetticidi non hanno sempre piena efficacia sia a causa del comportamento endofitico degli stadi larvali sia per la tendenza della specie alla rapida selezione di popolazioni resistenti (SIQUEIRA *et al.*, 2000a, b; LIETTI *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2011; HADDI *et al.*, 2012).

Anche in Italia, il contenimento delle infestazioni di *T. absoluta* è ancora in gran parte affidato agli insetticidi (SANNINO & ESPINOSA, 2010) ed è crescente la preoccupazione tra gli addetti al settore che questo approccio possa andare a detrimento dei piani di controllo integrato messi a punto efficacemente nel corso degli ultimi decenni.

Diverse sono le tecniche e le strategie di controllo eco-sostenibili applicate ovvero in corso di valutazione in Europa nelle aree di recente introduzione. Infatti, una crescente importanza stanno assumendo le applicazioni di controllo biologico e l'uso di feromoni (BATALLA-CARRERA *et al.*, 2010; DESNEUX *et al.*, 2010; MOLLÁ *et al.*, 2011; ZAPPALÀ *et al.*, 2012a, b, c; COCCO *et al.*, 2012b).

In questo lavoro si passano in rassegna le strategie di controllo integrato più promettenti applicate nel bacino del Mediterraneo e in Italia per il contenimento della Tignola del pomodoro, *T. absoluta*, e si delineano anche nuove prospettive applicative.

IMPORTANZA ECONOMICA

A causa dell'invasione della Tignola del pomodoro, nel corso degli ultimi anni, in tutti i Paesi di nuova introduzione, il costo di produzione del pomodoro si è sensibilmente innalzato per la necessità di sviluppare e applicare nuove strategie di protezione e provvedere a un attento monitoraggio del fitofago sia in campo che in post-raccolta (SANNINO & ESPINOSA, 2010; DESNEUX *et al.*, 2011; USDA, 2011).

Il pomodoro è la pianta ospite preferita per *T. absoluta* pur se con diversa suscettibilità varietale. L'attività trofica larvale riduce la capacità di fotosintesi delle piante, il loro normale sviluppo e quindi la produttività. La pianta è suscettibile all'attacco in tutte le fasi di sviluppo e allorché le larve si sviluppano all'interno del fusto principale di giovani piantine in semenzaio, le lesioni prodotte

possono causarne il totale disseccamento (PEREYRA & SÁNCHEZ, 2006; TROPEA GARZIA *et al.*, 2012).

Le larve danneggiano i frutti con intensità direttamente correlata al livello d'infestazione e possono causare il fallimento economico dell'intera coltura (DESNEUX *et al.*, 2010). Visto che la penetrazione delle larve nei frutti avviene in genere attraverso piccoli fori spesso occultati dai sepali, il rilevamento delle prime infestazioni può essere incerto o sottostimato. Per questo motivo, nei centri di stoccaggio e commercializzazione, si può verificare il declassamento commerciale di interi lotti di pomodoro. Questa fase rappresenta un punto cruciale per l'industria del pomodoro e l'intero processo di distribuzione sul mercato (USDA, 2011). Inoltre, la commercializzazione di pomodori accidentalmente infestati è una tra le ipotesi più plausibili della diffusione di questo fitofago a livello globale (DESNEUX *et al.*, 2011).

STRATEGIE DI DIFESA INTEGRATA

L'applicazione di razionali strategie di difesa integrata è considerata ormai una scelta non più derogabile in ambito europeo; la ben nota direttiva 2009/128/CE infatti "(...) *istituisce un quadro per realizzare un uso sostenibile dei pesticidi riducendone i rischi e gli impatti sulla salute umana e sull'ambiente e promuovendo l'uso della difesa integrata e di approcci o tecniche alternativi, quali le alternative non chimiche ai pesticidi.*" Secondo quanto previsto da questa normativa, tutti gli stati membri sono obbligati ad attuare piani d'azione nazionali entro l'1 gennaio 2014.

Gli stessi principi fondanti della Difesa Integrata delle Colture, universalmente nota come *Integrated Pest Management* (IPM), nonostante pongano le loro basi scientifiche su studi condotti ormai diversi decenni orsono (STERN *et al.*, 1959) e che hanno inizialmente definito l'insieme di queste tecniche come un "*metodo di controllo dei parassiti che combina e integra il controllo biologico e chimico (...)*", rimangono tuttora validi.

In seguito è stata ridefinita come una strategia che prevede "*l'uso di tutti i mezzi economicamente, ecologicamente e tossicologicamente giustificabili per mantenere i parassiti sotto la soglia economica, con enfasi sull'uso di forme di controllo biologico naturale e misure preventive*" (Definizione EPP0, in DEHNE, H.W. & SCHÖNBECK F., 1994). Il concetto è stato anche più recentemente ripreso e ampliato, includendo la difesa integrata nel più comprensivo concetto di Produzione Integrata (*Integrated Production*) che identifica un "*Sistema di coltivazione che produce alimenti e altri prodotti*

di alta qualità mediante l'uso di risorse naturali e di meccanismi di regolazione per sostituire gli agenti inquinanti e assicurare coltivazioni sostenibili" (BOLLER *et al.*, 2011).

In un contesto di agricoltura sostenibile, tali tecniche si concretizzano innanzitutto nell'applicazione di *strumenti di prevenzione* delle infestazioni attraverso strategie di protezione indiretta delle piante, quali: l'uso ottimale delle risorse naturali disponibili mediante razionali scelte agronomiche e gestionali della coltura e la limitazione di quelle tecniche colturali a forte impatto ambientale; la protezione e il potenziamento attraverso strategie di lotta biologica conservativa (nota anche come *habitat management*) delle componenti biocenotiche antagoniste naturalmente presenti all'interno delle colture e nelle sue immediate vicinanze. Inoltre è indispensabile dotarsi di validi *sistemi di monitoraggio e previsione* quali strumenti decisionali per l'adozione di razionali *misure di protezione* diretta delle piante. Queste ultime dovrebbero privilegiare l'uso di antagonisti biologici (entomofagi/entomopatogeni), garantendo il minor ricorso possibile alla lotta chimica che comunque dovrebbe considerare prodotti fitosanitari quanto più possibile selettivi nei confronti degli organismi *non target*.

Nonostante siano basate su un consolidato background scientifico (VAN LENTEREN & WOETS, 1988), da più parti si giudica che tali strategie non siano adeguatamente diffuse e che notevoli progressi devono esser fatti per una loro applicazione su ampia scala; infatti, molto spesso piuttosto si assiste all'applicazione di una versione "*semplificata*" di IPM, che in pratica si traduce in *Integrated Pesticides Management* (EHLER, 2006).

Nel caso di *T. absoluta*, le suddette strategie si concretizzano in una serie di misure di controllo che vengono di seguito sinteticamente illustrate.

MISURE PREVENTIVE

La conoscenza delle componenti antagoniste indigene e in particolare dei potenziali entomofagi e le strategie per la loro conservazione, devono essere considerati come una priorità in attuazione della difesa di un fitofago esotico (VAN LENTEREN & WOETS, 1988). Diversi parassitoidi e predatori indigeni sono stati segnalati su *T. absoluta* nel bacino del Mediterraneo (DESNEUX *et al.*, 2010; GABARRA & ARNÒ, 2010; MOLLÁ *et al.*, 2010; LONI *et al.*, 2011; FERRACINI *et al.*, 2012; URBANEJA *et al.*, 2012; ZAPPALÀ *et al.*, 2012a). Questi limitatori naturali si sono rapidamente adattati al nuovo parassita e potenzialmente hanno un ruolo centra-

le come fattori di limitazione nei confronti della Tignola del pomodoro. Le specie di parassitoidi riscontrati possono anche svilupparsi a spese di ospiti alternativi che vivono sulla flora spontanea. I dati fin qui raccolti indicano che tendenzialmente la loro abbondanza è correlata alla presenza di flora spontanea e colture sempreverdi che costituiscono un elemento fondamentale della biodiversità funzionale (LANDIS *et al.*, 2000; ALTIERI & NICHOLS, 2004).

In tale ambito, andrebbe approfondito il ruolo ecologico che rivestono alcune piante spontanee diffuse nei nostri ambienti e già segnalate come piante ospiti di fitofagi alternativi. Tra le diverse essenze segnalate, si pone l'attenzione in particolare su *S. nigrum* L., *Parietaria officinalis* L., *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter. Ai fini applicativi sarebbe interessante verificare la costituzione di possibili reti trofiche funzionali in prossimità e all'interno delle colture per agevolare la permanenza in ambiente di componenti antagoniste utili al contenimento non solo di *T. absoluta* ma anche di altri importanti fitofagi quali aleirodi, afidi e acari.

Sebbene resti da chiarire l'effettivo ruolo rivestito dalla biodiversità funzionale e dalle tecniche di gestione dell'*habitat*, è comunque plausibile che le popolazioni del fitofago possano essere significativamente ridotte dall'azione di contenimento svolta dalla comunità dei nemici naturali indigeni (GARDINER *et al.*, 2009). Pertanto, sono auspicabili indagini per migliorare le conoscenze sulle biocenosi antagoniste indigene ottimizzando la loro attività attraverso una gestione razionale dell'*habitat* all'interno e all'esterno della coltura (LANDIS *et al.*, 2000; PERDIKIS *et al.*, 2007, 2011). In tal senso, una precoce installazione e mantenimento della comunità antagonista, o di alcuni suoi componenti, all'interno dell'ambiente coltivato può essere artificialmente ottenuto anche con l'uso di cosiddette *banker plants*. Queste costituiscono un sistema tri-trofico di piante non produttive artificialmente infestate da un fitofago, che funge da ospite alternativo per l'entomofago di cui si voglia agevolare l'insediamento (FRANK, 2010).

Nell'ambito delle misure preventive di tipo più prettamente agronomico, sono da considerare la rimozione tempestiva dei resti della coltura antecedente e la loro distruzione, al fine di ridurre la permanenza in campo di materiale infestato, che rappresenta un'importante fonte d'inoculo per le future coltivazioni. Inoltre, nel rispetto delle più elementari buone pratiche agricole (GAP - *Good Agricultural Practices*) è indispensabile adottare adeguate rotazioni colturali con sufficienti intervalli temporali tra le varie coltivazioni di pomodoro e impiegare materiale di riproduzione indenne

da infestazioni. Nel caso di colture protette, in fase di pre-impianto, considerata la possibile permanenza nel terreno di crisalidi di *T. absoluta* derivanti dalla precedente coltura, un intervento di solarizzazione del terreno può costituire un valido strumento di contenimento del fitofago. Mentre, l'installazione preventiva di trappole cromotropiche gialle per la cattura di adulti eventualmente presenti nella serra si è dimostrata efficace nel ridurre i livelli d'infestazione ad inizio ciclo colturale in coltura protetta. Tra le strategie di controllo preventivo è da considerare l'adozione di tutti gli accorgimenti volti a limitare l'accidentale introduzione di adulti dall'esterno quali, la corretta applicazione di *reti escludi insetto* alle aperture e di doppie porte agli ingressi principali delle serre (MONSERRAT DELGADO, 2009; SANNINO & ESPINOSA, 2010).

Uno strumento che ha sicuramente portato soddisfacenti risultati nella prevenzione di molti fitofagi e patogeni del pomodoro è l'impiego di varietà resistenti o meno suscettibili, ma nel caso di *T. absoluta*, nulle sono state le applicazioni in questa direzione. Infatti, malgrado siano state individuate alcune varietà brasiliane in grado di sintetizzare metaboliti secondari che ostacolano lo sviluppo di questo fitofago (GILARDON *et al.*, 2001; OLIVEIRA *et al.*, 2009), attualmente non sono disponibili varietà commerciali di pomodoro resistenti e/o tolleranti a *T. absoluta*.

SISTEMI DI MONITORAGGIO E SOGLIE ECONOMICHE

Diversi studi hanno accertato che sussiste una diretta relazione tra il livello di produzione, l'entità d'infestazione di *T. absoluta* e le catture di maschi registrate alle trappole a feromone sessuale (BENVENGA *et al.*, 2007; DESNEUX *et al.*, 2010); di conseguenza i principali schemi di monitoraggio e soglie d'intervento chimico per il controllo della Tignola del pomodoro sono fondamentalmente basati sull'uso di trappole a feromone sessuale, a cui deve tuttavia accompagnarsi un attento monitoraggio visivo su pianta.

Considerata la biologia della specie, è auspicabile seguire fin dal trapianto l'andamento dei voli e l'infestazione sulla coltura. Quest'ultima si differenzia in funzione dello sviluppo della coltura ed è quindi opportuno osservare l'intera pianta fino a 50-70cm di sviluppo, la metà superiore fino a 150cm e solo il terzo superiore oltre 150cm (TORRES *et al.*, 2001). Le osservazioni devono riguardare soltanto l'infestazione attiva, considerando cioè le mine e le erosioni con larve vive presenti sul 2% delle piante. Il campione può essere sensibilmente ridotto per col-

ture in pien'aria, applicando in questo caso il campionamento su appezzamenti omogenei.

Per il monitoraggio dei voli dei maschi s'impiegano trappole al feromone sessuale di tipo Traptest in misura di una trappola fino a 3.500 m² e di 2-4 trappole/ha per superfici superiori, badando bene di collocarle ad un'altezza di 40-120 cm dal suolo (in funzione dello sviluppo della coltura), in modo tale da intercettare il volo del maggior numero possibile di adulti (TROPEA GARZIA *et al.*, 2012). Anche se al momento non sono state definite a livello sperimentale delle soglie economiche d'intervento per la Tignola del pomodoro in Italia, nelle aree d'origine del fitofago e in Spagna sono state adottate soglie economiche d'intervento che prendono in considerazione diversi parametri. Nelle coltivazioni serricole spagnole e argentine si considera ad esempio l'entità delle catture settimanali di maschi per trappola, valutando un generico livello di rischio per coltura variabile da basso (catture inferiori a 3), a moderato (catture inferiori a 30) ed elevato (catture superiori a 30) mentre in Cile la soglia considerata è di 70 catture giornaliere. In Brasile, invece, per le coltivazioni in pieno campo, si fa riferimento ad una soglia economica d'intervento orientativa di 45 catture giornaliere per trappole. A parte l'entità e l'andamento delle catture di maschi, in Sud America viene anche considerata una soglia d'infestazione di 2 foglioline con mine attive; mentre in Colombia la soglia economica d'intervento viene fissata alla presenza di 26 larve (mine) per pianta, ovvero l'8% di defogliazione (ESTAY, 2000; BENVENGA *et al.*, 2007; MONSERRAT DELGADO, 2009; DESNEUX *et al.*, 2010; VERCHER *et al.*, 2010).

MISURE DI CONTROLLO

Confusione/disorientamento sessuale

Il feromone sessuale di *T. absoluta* è stato identificato chimicamente come una miscela 90:10 (3E,8Z,11Z)-tetradecatrien-1-yl acetate and (3E,8Z)-tetradecadien-1-yl acetate e il suo potere attrattivo è stato positivamente testato in Paesi extraeuropei sia in serra che in pieno campo (FILHO *et al.*, 2000). Tuttavia, sperimentazioni preliminari di applicazioni di *disturbo dell'accoppiamento* condotte sia in pieno campo sia in coltura protetta hanno fornito risultati controversi. Successive prove, condotte in Spagna e in Italia utilizzando varie tipologie di diffusori (NAVARRO LOPIS *et al.*, 2010; MARTÌ MARTÌ *et al.*, 2010; VACAS *et al.*, 2011; COCCO *et al.*, 2012b), hanno evidenziato un soddisfacente livello di contenimento ma se applicate in serre adeguatamente isolate al fine di prevenire o almeno limitare accidentali introduzioni di

adulti dall'esterno; resta tuttavia da definire la sostenibilità economica della tecnica.

Recenti studi hanno rivelato la capacità di esemplari di *T. absoluta* allevati in laboratorio di riprodursi per partenogenesi accidentale (CAPARROS MEGIDO *et al.*, 2012); l'origine di questo fenomeno non è stato ancora chiarito e sebbene non sia stata ancora evidenziata la presenza di popolazioni partenogenetiche in natura, questo ritrovamento potrebbe avere sostanziali implicazioni sull'efficacia di queste tecniche.

Cattura massale

Ai fini della cattura massale degli adulti, possono essere impiegate trappole basate su tre sistemi attrattivi: feromonico, luminoso e misto. Anche queste trappole devono essere collocate fin dal trapianto della coltura a non più di 80 cm da terra e in ragione di 2-3/1000m² di serra. Sono disponibili in commercio varie tipologie, anche se molte varianti di fattura artigianale sono utilizzate in campo. Le trappole innescate con il feromone sessuale sono costituite da un recipiente di circa 40 cm di diametro e 20 cm di altezza contenente acqua miscelata a un blando tensioattivo (olio e/o detergente) per impedire ai maschi caduti nell'acqua di sfuggire; il dispenser è collocato poco al disopra del livello dell'acqua.

Diverse tipologie di trappole luminose sono adottate, prevalentemente su base empirica. Le differenze riguardano sia la fonte luminosa che il funzionamento; si usano in genere lampade fluorescenti ovvero fonti di luce ultravioletta, queste ultime in genere sono abbinate a griglie elettrificate o aspiratori per l'eliminazione degli adulti attratti dalla trappola. Queste trappole vengono attivate normalmente durante la notte e, sfruttando la fototassi positiva degli adulti di entrambi i sessi di *T. absoluta*, ne consentono una massiccia eliminazione. Prove sperimentali condotte per valutare l'efficacia di queste trappole nel contenimento delle infestazioni in campo hanno fornito risultati variabili in funzione di fattori ambientali e colturali (COCCO *et al.*, 2012a). Le trappole a feromoni hanno dimostrato di poter garantire un sufficiente livello di protezione della coltura. Tuttavia, l'aumento della loro densità pur causando un aumento del numero di maschi catturati per trappola, non riduce significativamente la presenza di femmine fecondate e quindi le infestazioni; ciò viene attribuito alla capacità da parte dei maschi di accoppiamenti multipli.

Diversamente, le trappole luminose catturano anche un'alta percentuale di femmine e risultano in genere più efficaci. A bassa/moderata densità di popolazione (ciclo colturale estivo-vernino), le

trappole luminose sono efficaci nel ridurre il numero di mine fogliari mentre, con livelli di densità medi/alti (cicli colturali invernali/estivi) anche le trappole luminose sono da sole inefficaci nel controllare le infestazioni (COCCO *et al.*, 2012a). Molto più diffuse sono invece le trappole a funzionamento "misto" ovvero feromoni/luce che vengono collocate sia all'interno che all'esterno delle serre e, in virtù delle maggiori capacità di cattura, sono anche più apprezzate dagli operatori. Infatti, l'associazione della fonte luminosa e del feromone assicura la cattura di entrambi i sessi consentendo maggiori livelli di protezione della coltura. In campo si possono riscontrare diverse tipologie di trappole miste molto spesso di fattura artigianale ma ultimamente in commercio sono disponibili anche modelli a funzionamento automatico e alimentati ad energia solare. Queste trappole, pur se dotate di una fonte luminosa a led a bassa intensità, permettono di ottenere elevati livelli di cattura all'interno della serra. Prove comparative condotte in ambienti serricoli siciliani (SISCARO, dati non pubblicati) hanno dimostrato una maggiore efficacia di queste trappole rispetto a quelle con lampade elettriche tradizionali, nonostante il ridotto periodo di attivazione. Inoltre, considerata la ridotta intensità luminosa, si riducono i rischi di attrazione di adulti dall'esterno della serra, cosa che in genere ne scoraggia la collocazione all'interno degli apprestamenti protetti.

L'efficacia di questi dispositivi in ambiente protetto è comunque strettamente vincolata alle condizioni d'isolamento della serra in modo da ridurre l'accesso di adulti dall'esterno della struttura (MONSERRAT DELGADO, 2009).

Più di recente sono stati messi a punto altri dispositivi per la cattura massale che utilizzano non solo l'attrattivo feromonico ma anche la componente cromoattrattiva; si tratta di fasce collanti di colore giallo innescate con il feromone sessuale di *T. absoluta*, larghe circa 40 cm e che possono essere collocate all'interno delle serre per diversa lunghezza. Queste trappole, in virtù della loro colorazione, possono essere utilmente impiegate anche per la cattura massale di altri fitofagi, quali aleirodi e ditteri fillominatori. Per evitare la cattura di entomofagi eventualmente rilasciati, è possibile ricorrere a fasce collanti sempre attivate con il feromone ma trasparenti (AL-ZAIDI, 2011).

Attract and kill

Nell'ambito delle strategie d'impiego dei feromoni, appare particolarmente interessante e innovativa la tecnica dell'*attract and kill* che si può realizzare mediante l'applicazione, all'interno di serre ben isolate, di pannelli gialli ricoperti da un'emul-

sione cerosa impregnata di piretroide (cipermetrina) e innescati con il feromone sessuale della tignola (AL-ZAIDI, 2011). Considerata, anche in questo caso, la potenziale dannosità nei confronti di entomofagi, il loro utilizzo deve essere attentamente valutato nel caso di rilasci di entomofagi.

Controllo biologico

In Italia e in tutto il bacino del Mediterraneo, soprattutto nelle aree di più recente colonizzazione, la strategia di contenimento più comunemente adottata nei confronti di *T. absoluta* permane il controllo chimico, nonostante le corpose evidenze scientifiche che ne documentano i rischi tossicologici per gli operatori, l'impatto negativo sull'ambiente in generale e, in particolare, sull'entomofauna utile nonché il rischio connesso all'insorgenza di ceppi resistenti (URBANEJA *et al.*, 2012). In questo contesto, lo sviluppo di tecniche di controllo biologico rappresenta uno dei più promettenti strumenti per la gestione sostenibile di questo fitofago stante anche il fatto che, come già premesso, sin dalle prime fasi della sua introduzione in Italia, diversi antagonisti naturali indigeni si sono rapidamente adattati a vivere a spese del fitofago esotico e che diversi agenti microbiologici sono risultati particolarmente efficaci nei suoi confronti.

Agenti microbiologici – Anche a causa della mancanza di dati sperimentali attendibili, inizialmente i formulati commerciali microbiologici sono stati utilizzati solo nei casi di bassi livelli d'infestazione di *T. absoluta*. Le numerose sperimentazioni di campo e gli studi scientifici hanno successivamente dimostrato la notevole patogenicità di diversi isolati microbiologici nei confronti del fitofago tale da divenire una valida alternativa agli insetticidi di sintesi. Diversi agenti entomopatogeni sono riconosciuti efficaci per il contenimento delle infestazioni della Tignola del pomodoro quali funghi, nematodi e in particolare batteri.

Tra i funghi, formulati a base di *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin e *Metharbizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin sono ritenuti efficaci soprattutto nei confronti delle uova a carico delle quali in laboratorio possono indurre mortalità variabili dal 60 all'80% (RODRIGUEZ *et al.*, 2006).

In prove condotte in Spagna con i nematodi entomopatogeni *Steinernema carpocapsae* (Weiser) (Nematoda: Steinernematidae), *Steinernema feltiae* (Filipjev) (Nematoda: Steinernematidae) e *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar (Nematoda: Heterorhabditidae), sia in condizioni di laboratorio che in campo (BATALLA-CARRERA *et al.*, 2010), sono stati osservati livelli di mortalità larvale fino al 100% con tassi di parassitizzazione a carico di larve endofitiche di *T. absoluta* variabili dal 77 al 92%; questi

dati hanno dimostrato che questo approccio microbiologico è in grado di proteggere in modo soddisfacente la coltura, riducendo l'infestazione dell'87-95%. In altri saggi di valutazione di efficacia è stato anche osservato che il trattamento con nematodi entomopatogeni non solo ha un'efficacia paragonabile a quella di un bioinsetticida usato anche in agricoltura biologica, quale lo spinosad, ma si è anche stimato che i costi di trattamento sono stati simili per nematodi e spinosad (JACOBSON & MARTIN, 2011).

Altri esperimenti condotti per valutare la compatibilità di questi nematodi con alcuni insetticidi comunemente impiegati nel bacino del Mediterraneo contro *T. absoluta* (flubendiamide, chlorantraniliprole e metaflumizone) hanno evidenziato un maggiore suscettibilità di *H. bacteriophora* mentre *S. feltiae* e *S. carpocapsae* hanno dimostrato di essere tolleranti ai trattamenti chimici facendo registrare tassi di sopravvivenza variabili dall'85,3 al 100% (GARCIA DEL PINO *et al.*, 2011). Nel complesso, questi dati indicano che è possibile integrare efficacemente l'impiego di nematodi entomopatogeni con altre strategie di controllo.

Tra gli agenti entomopatogeni utilizzabili nella lotta contro *T. absoluta*, particolare significato applicativo assume il batterio *Bacillus thuringiensis* Berliner (Firmicutes: Bacillaceae) (GIUSTOLIN *et al.*, 2001; NIEDMANN & MEZA-BASSO, 2006; GONZÁLEZ-CABRERA *et al.*, 2011, ZAPPALÀ *et al.*, 2012b). Formulazioni insetticide a base di questo agente microbico sono state utilizzate da decenni per controllare insetti, perché sono considerati ecosostenibili, innocui per gli esseri umani e altri vertebrati e altamente compatibili con l'uso di antagonisti naturali (SCHNEPF *et al.*, 1998; MOLLÁ *et al.*, 2011; BIONDI *et al.*, 2012a, 2012b).

Come è ben noto, si tratta di batteri sporigeni che agiscono solo per ingestione nei confronti delle larve di diversi fitofagi, principalmente lepidotteri, provocandone la morte nel giro di 3-4 giorni a seguito del disfacimento della parete intestinale provocata dal rilascio di specifiche endotossine (Δ -endotossine). Questi insetticidi, non avendo citotropicità ed essendo fotodegradabili, devono essere tempestivamente irrorati sulla coltura contro i primi stadi larvali del fitofago. Inoltre, considerato il loro meccanismo d'azione selettivo e la loro rapida degradazione, sono consigliati in trattamenti pre-raccolta e per mitigare l'insorgenza di fenomeni di resistenza. In Italia, sono attualmente disponibili formulati commerciali a base delle sottospecie *aizawai* (ceppo GC91) e *kurstaki* (ceppo SA-12) autorizzati per trattamenti su coltura di pomodoro.

Nel caso di *T. absoluta*, queste formulazioni sono state inizialmente raccomandate nel bacino del Mediterraneo solo con modesti livelli di infes-

tazione. Prove condotte in laboratorio e su colture di pomodoro in serra e in pieno campo in Spagna hanno recentemente dimostrato che queste formulazioni sono molto efficaci sulle larve e soprattutto sulle prime età, con una riduzione del danno prossima al 90%. L'efficacia di questi formulati varia in funzione della varietà usata, del ceppo ma anche della concentrazione di spore presente nel prodotto commerciale. Applicazioni a intervalli settimanali ad una concentrazione di 90,4 MUI/L di formulato hanno consentito il contenimento della tignola per tutta la stagione senza alcun trattamento aggiuntivo, anche a livelli elevati d'infestazione; inoltre, i trattamenti sono risultati pienamente compatibili con l'attività di miridi predatori (GONZALEZ GABRERA *et al.*, 2011). Infatti, è stato visto che trattamenti precoci non hanno interferito con l'insediamento di *N. tenuis* che preferisce predare uova di *T. absoluta*; una volta che il miride si riproduce sulla coltura non sarebbero necessari altri trattamenti (MOLLÀ *et al.*, 2011; URBANEJA *et al.*, 2012).

In uno studio condotto in Italia, è stata valutata in condizioni di laboratorio e di laboratorio esteso l'efficacia (in termini di tossicità acuta e riduzione di attività di alimentazione) di ceppi di *B. thuringiensis* disponibili in commercio, somministrati sia per ingestione che per contatto a giovani larve di *T. absoluta* (ZAPPALÀ *et al.*, 2012b). In condizioni di laboratorio, la formulazione commerciale contenente il ceppo *kurstaki* SA12 è risultata la più efficace in termini di mortalità indotta e riduzione del danno. Questa tendenza è stata evidenziata anche nelle prove condotte in condizioni di laboratorio esteso; i dati ottenuti in queste prove trovano riscontro in studi condotti in Spagna (GONZÁLES CABRERA *et al.*, 2011) e validano l'inserimento di questi preparati commerciali nei programmi IPM anche in Italia.

Insetti entomofagi – Riguardo alle strategie di controllo biologico basate sull'impiego di predatori e parassitoidi, dettagliate informazioni possono essere reperite nei lavori specifici presenti in questo stesso volume. Sembra tuttavia utile fornire una visione d'insieme sulle attuali strategie di controllo biologico e le più promettenti prospettive applicative. Sulla base degli studi fin qui condotti e delle esperienze di campo maturate a 6 anni dall'invasione di *T. absoluta* nel bacino del Mediterraneo, si può affermare che i risultati più significativi sono stati raggiunti grazie all'applicazione di strategie aumentative e/o conservative di nemici naturali indigeni, anche coadiuvate da trattamenti larvicidi microbiologici.

Nel Mediterraneo sono state ad oggi segnalate un numero di specie antagoniste sensibilmente inferiore rispetto a quelle già riportate in Sud America,

che ammonterebbero a circa 50 parassitoidi e 40 predatori. Tuttavia è plausibile ipotizzare che la coorte degli antagonisti indigeni di *T. absoluta* aumenterà nei prossimi anni anche nelle aree di nuova colonizzazione. Qui, diversamente a quanto avviene in Sud America, dove i parassitoidi assumono maggiore significato, i predatori generalisti appaiono al momento gli entomofagi più diffusi, vista la loro grande capacità di adattamento alle cosiddette *specie aliene* (DESNEUX *et al.*, 2010; LUNA *et al.*, 2012; URBANEJA *et al.*, 2012).

Dai recenti rilievi condotti in diverse regioni italiane (LONI *et al.*, 2011; FERRACINI *et al.*, 2012; ZAPPALÀ *et al.*, 2012) si evidenzia che nell'ambito dei parassitoidi indigeni, diverse specie di Eulofidi, Ichneumonidi e Braconidi si sono prontamente adattate al nuovo ospite, sviluppandosi a carico delle larve. Appare interessante altresì rilevare che sono stati anche ritrovati rari Trichogrammatidi oofagi e sempre con un bassissima incidenza. Si ritiene che quest'aspetto meriti ulteriori approfondimenti e indagini in Italia, considerata l'importanza che può assumere tale fattore di mortalità nell'ambito della dinamica di popolazione. Di seguito si illustrano le strategie di lotta biologica a *T. absoluta* ritenute più promettenti, considerate anche le attuali possibilità applicative nel nostro Paese.

Nell'ambito del genere *Necremnus* sono state recentemente segnalate a carico di *T. absoluta* alcune specie ritenute promettenti nel controllo biologico nel mediterraneo e in Italia (MOLLÀ *et al.*, 2008, 2010; GABARRA & ARNÓ, 2010; BELDA *et al.*, 2011; DELVARE *et al.*, 2011; FERRACINI *et al.*, 2012; ZAPPALÀ *et al.*, 2012). Il genere, che include parassitoidi larvali ectofagi generalisti di diversi gruppi di fitofagi, è attualmente oggetto di revisione sistematica; inoltre sono tuttora scarse le informazioni relative alla biologia di questo gruppo di eulofidi.

Necremnus prope *artynes* (Walker) è fra i più diffusi parassitoidi larvali rivenuti nel corso di rilievi condotti in Liguria, Campania, Sardegna e Sicilia sia in pieno campo che in serra (FERRACINI *et al.*, 2012; ZAPPALÀ *et al.*, 2012); in Italia ne è stato preso in considerazione l'allevamento massale per effettuare rilasci inoculativi in colture protette dove può essere associato con l'impiego di miridi predatori e trattamenti microbiologici a base di *B. thuringiensis*, come già efficacemente applicato in Spagna (BELDA *et al.*, 2011; URBANEJA *et al.*, 2012). Prove di laboratorio hanno evidenziato che il parassitoide, grazie anche alla sua elevata attività di *host feeding*, può indurre mortalità a carico delle larve di prima e seconda età di *T. absoluta* superiori al 70% (FERRACINI *et al.*, 2012); questo parassitoide, sebbene con modesti livelli di parassitiz-

zazione, è stato spontaneamente ritrovato anche in serre di pomodoro sottoposte a trattamenti insetticidi (ZAPPALÀ *et al.*, 2012a).

Fra i braconidi presenti nel bacino del Mediterraneo, *Bracon nigricans* Szépligeti è stato ritrovato su *T. absoluta* in tre paesi: Spagna, Giordania e Italia (URBANEJA *et al.*, 2012). Questa specie, largamente diffusa nella regione Palearctica, è in grado di svilupparsi a carico di diverse specie di lepidotteri, tra cui il gelechiidae *Phthorimaea operculella* (Zell.), la Tignola della patata (ZAPPALÀ *et al.*, 2012a). La sua biologia e comportamento, sono stati recentemente descritti in laboratorio e questa specie ha dimostrato di essere un ectoparassitoide gregario di larve mature di *T. absoluta* e di utilizzare le larve dell'ospite sia come substrato di ovideposizione che come substrato di *host-feeding*. I risultati di questo studio sono stati presentati nel medesimo incontro da L. Zappalà e il contributo è pubblicato in questo stesso volume.

Per quanto riguarda i predatori, i miridi diciphini *Nesidiocoris tenuis* (Reuter), *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) e *Dyciphus errans* (Wolff) sono considerati gli antagonisti più efficaci e diffusi in tutta l'area di recente diffusione del bacino del Mediterraneo e del Medio Oriente. In particolare *N. tenuis* e *M. pygmaeus*, predatori generalisti già da diversi anni impiegati e commercializzati per il controllo di aleirodi in serra, sono stati positivamente adottati in programmi di lotta integrata e biologica contro *T. absoluta*, di cui predano attivamente preferibilmente uova e primi stadi larvali (HARPAZ *et al.*, 2011; KILIÇ, 2011; CALVO *et al.*, 2012; URBANEJA *et al.* 2012). Anche *D. errans* mostra un'elevata attività predatoria nei confronti di uova e larve di prima età di *T. absoluta* e, come per gli altri due miridi, dovrebbe essere introdotto precocemente in coltura per agevolarne il rapido insediamento. Anche in questo caso, si procede mediante la tecnica dei lanci inoculativi in ragione di 1-5 esemplari/m², che devono essere opportunamente rilasciati in siti selezionati della serra unitamente a substrato alimentare integrativo a base di uova di *Ephesia kuehniella* Zeller.

L'integrazione dei rilasci inoculativi di *N. tenuis* con trattamenti microbiologici a base di *B. thuringiensis* appare una strategia promettente, anche se occorre modulare l'intervento alle condizioni colturali. In cicli colturali autunno-vernini senza riscaldamento, il tasso di riproduzione del miride non è sufficiente a raggiungere densità di popolazione soddisfacenti. In questo caso, per favorire l'insediamento e la diffusione di *N. tenuis* nella coltura, risulta efficace l'inoculo precoce del predatore già in vivaio (*predator in first*). Questa tecnica, che prevede il rilascio di 0,5 esemplari/pianta,

si è sviluppata a seguito della positiva sperimentazione condotta in Spagna, ed è stata poi applicata anche in vari Paesi del Nord Africa e del Mediterraneo, compresa l'Italia (BELDA *et al.*, 2011; CALVO *et al.*, 2012). Esperimenti dimostrano che l'azione predatoria del miride in queste condizioni è in grado di proteggere la coltura senza bisogno di integrazione di ulteriori rilasci o trattamenti microbiologici (CALVO *et al.*, 2012).

Tuttavia, nelle serre fredde del mediterraneo si riportano frequentemente danni alla coltura di pomodoro da parte di *N. tenuis*, soprattutto a carico dei trapianti primaverili-estivi, allorché le popolazioni del miride raggiungono elevate densità anche a causa dell'accidentale introduzione dall'esterno della serra. A causa dell'attività trofica degli stadi preimmaginali del miride, si osserva la comparsa di imbrunimenti e anellature necrotiche che portano alla rottura del germoglio, con inevitabili ripercussioni sul normale sviluppo della pianta. Tale comportamento sembra indotto dalla necessità di reperimento di nutrienti in assenza di prede (CALVO *et al.*, 2009; CASTAÑE *et al.*, 2011). Di conseguenza la disponibilità di altre prede (aleirodi, acari, etc) nella coltura di pomodoro o nelle sue immediate vicinanze, l'aggiunta di substrati alimentari artificiali e di piante non coltivate altrettanto attrattive, sono condizioni necessarie per una corretta gestione di questi predatori zoo-fitofagi (CALVO *et al.*, 2012). In tal senso sarebbe interessante investigare l'installazione in serra di piccole *unità ecologiche funzionali*, costituite da piante opportunamente selezionate, che possano garantire da un lato un più rapido insediamento di questi antagonisti artificialmente inoculati e dall'altro la loro permanenza in caso di momentanea scarsità di ospiti o prede, riducendo nel contempo i temuti fenomeni di fitofagia sul pomodoro evidenziati nel caso di *N. tenuis*.

Controllo chimico

Come già detto, in Europa come anche nel nostro Paese il controllo di *T. absoluta* è in gran parte basato sull'uso di larvicidi (DESNEUX *et al.*, 2010; SANNINO & ESPINOSA, 2010). È evidente che quest'approccio rischia di interferire pesantemente con consolidate strategie IPM che efficacemente sono state adottate nel corso degli ultimi decenni nella protezione delle colture orticole. Tra gli insetticidi autorizzati in Italia per la Tignola del pomodoro, oltre ai formulati a base di *B. thuringiensis* precedentemente trattati, di seguito si riportano quelli con un profilo eco-tossicologico ritenuto più favorevole.

Azadiractina (azadiractina A e B - tetranortriterpenoide): ne è consentito l'impiego su pomodoro solo in fertirrigazione, preferibilmente già in fase

di trapianto della coltura, anche in regime di agricoltura biologica; chlorantraniliprole (noto anche come rynaxypyr - antranilammide): disponibile anche in miscela con il piretroide lamba-cialotrina, ma solo per trattamenti su coltura in pieno campo; emamectina benzoato (gruppo delle avermectine); indoxacarb (ossadiazine); metaflumizone (semi-carbazoni); spinosad (spinosoidi - spinosina A e D): ne è autorizzato l'uso anche in agricoltura biologica.

Resistenza – Sono note da diversi anni evidenze scientifiche dell'esistenza, di ceppi resistenti di *T. absoluta* a vari insetticidi sia in Sud America e, più di recente, anche nel bacino del Mediterraneo; la specie si è dimostrata in grado di selezionare ceppi capaci di detossificare principi attivi appartenenti a diversi gruppi chimici. Considerato l'interesse economico e tecnico che assume la questione, anche istituzioni scientifiche internazionali come l'IRAC (*Insecticide Resistance Action Committee*) si sono interessate al problema, pubblicando specifica documentazione scientifica e tecnica, definendo l'entità del problema e fornendo strumenti e linee d'indirizzo per gestire efficacemente il fenomeno della resistenza (SANNINO & ESPINOSA, 2010; IRAC, 2011).

Pertanto risulta essenziale un'attenta valutazione dell'efficacia degli insetticidi utilizzabili nelle aree di recente introduzione, prima di formulare raccomandazioni per il loro impiego in programmi di difesa integrata e procedere contestualmente all'attuazione di tutte le strategie disponibili per un'ideale prevenzione del fenomeno della resistenza. Questo rischio aumenta per fitofagi come *T. absoluta*, il cui controllo si basa quasi esclusivamente sull'uso di un ridotto numero di insetticidi. In genere, in queste condizioni, si assiste a un rapido aumento del numero degli interventi e della conseguente pressione selettiva.

Dai dati disponibili nella letteratura scientifica emerge che, sin dagli anni '80, nelle aree ritenute d'origine del fitofago, sono state riscontrate popolazioni di *T. absoluta* con livelli elevati di resistenza a vari insetticidi quali: fosfororganici (gruppo con modo d'azione IRAC – di seguito denominato MoA – 1 B ovvero inibitori dell'acetil-colinesterasi), piretroidi di sintesi (gruppo MoA 3 B, modulatori dei canali del sodio), benzoiluree (gruppo MoA 15, inibitori della biosintesi della chitina) e analoghi della nereistossina (gruppo MoA 14, bloccanti i canali dei recettori nicotinici dell'acetilcolina) (SIQUEIRA *et al.*, 2000a, b; SIQUEIRA *et al.*, 2001) e più di recente anche alle avermectine (gruppo MoA 5, attivatori del canale del cloro) e alle spinosine (gruppo MoA 5, modulatori allosterici dei recettori nicotinici di acetil-colinesterasi)

(REYES *et al.*, 2012). Com'era ipotizzabile, anche nelle aree mediterranee di recente introduzione sono state individuate popolazioni resistenti a diversi piretroidi mentre è stato riscontrato il potenziale rischio d'inefficacia per metaflumizone e clorpirifos (HADDI *et al.*, 2012; RODITAKIS *et al.*, 2012).

Come per altri fitofagi ritenuti ad alto rischio di resistenza, anche per *T. absoluta* la strategia di contenimento suggerita si inserisce nel più ampio quadro delle strategie di gestione integrata dei fitofagi e in particolare dell'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari. Nell'intento di evitare o almeno limitare l'insorgenza di fenomeni di resistenza agli insetticidi in questo momento disponibili in Italia, si deve innanzitutto ricorrere al controllo chimico solo se necessario e in funzione di soglie d'intervento definite a livello locale. La scelta degli insetticidi va fatta inoltre sulla base della loro documentata efficacia e selettività nei confronti dei principali antagonisti naturali. Appare sostanziale alternare opportunamente gli insetticidi in base al loro modo d'azione, al fine di evitare di intervenire con prodotti appartenenti allo stesso gruppo MoA su una stessa generazione. Infine, è indispensabile l'utilizzo di formulati registrati specificatamente per il controllo di *T. absoluta* su coltura e seguire scrupolosamente le istruzioni d'uso riportate sull'etichetta di ciascun prodotto.

Effetti collaterali sull'entomofauna antagonista – Come verificato nel caso di altri fitofagi esotici invasivi, il crescente aumento dei livelli d'infestazione di *T. absoluta* ha indotto ad un ampio ricorso all'uso di insetticidi, con inevitabili effetti indesiderati su organismi non bersaglio, quali gli antagonisti naturali e gli impollinatori oggi impiegati in colture di pomodoro (ARNÒ & GABARRA, 2011; BIONDI *et al.*, 2012a, c).

Per l'applicazione di strategie IPM efficaci e sostenibili in coltura protetta è prioritario ridurre quanto più possibile i rischi derivanti dall'uso di mezzi chimici di controllo nei confronti dell'entomofauna antagonista. È chiaro che per fare ciò appare indispensabile procedere a un'accurata valutazione dei potenziali effetti collaterali dei pesticidi sui nemici naturali (DESNEUX *et al.*, 2007; STARK *et al.*, 2007). Ciò appare sempre più importante anche in attuazione della recente Direttiva europea 2009/128/CE sull'uso sostenibile dei pesticidi, che impone a tutti gli Stati membri l'applicazione di strategie di protezione delle colture basate soltanto sui criteri IPM (CE, 2009).

Molti studi di laboratorio condotti in questo settore si basano quasi esclusivamente sulla valutazione degli effetti letali. Tuttavia, i pesticidi potrebbero indurre molteplici effetti subletali in indi-

vidui sopravvissuti all'esposizione a un determinato pesticida, e questi effetti potrebbero avere un impatto importante sulla dinamica di popolazione dei nemici naturali (STARK & BANKS, 2003).

È noto, infatti, che effetti subletali potrebbero alterare la fisiologia (neurofisiologia, sviluppo, longevità, fecondità e *sex-ratio*) e il comportamento (ad es. mobilità, orientamento, alimentazione, ricerca dell'ospite, deposizione e accoppiamento) di artropodi predatori e parassitoidi (DESNEUX *et al.*, 2007).

Per pervenire ad una più completa valutazione del potenziale impatto dei pesticidi sugli entomofagi, è quindi necessario studiare anche aspetti biologici particolari, come quelli comportamentali (DESNEUX *et al.*, 2004), utilizzando test biologici a più livelli, meglio noti come *multistep* (laboratorio - laboratorio esteso - campo) (DESNEUX *et al.*, 2006a, b). Come evidenziato da recenti studi, questi effetti collaterali indesiderati possono esseri indotti non solo da insetticidi di sintesi anche di nuova concezione, anche se ritenuti selettivi, ma anche da insetticidi di origine e/o di derivazione naturale, cosiddetti *bio-insetticidi*, molti dei quali impiegabili anche in agricoltura biologica (BIONDI *et al.*, 2012a, b, c).

Studi effettuati sulla valutazione di effetti tossici (letali e subletali) su entomofagi-chiave nelle colture protette, hanno evidenziato incompatibilità di indoxacarb e soprattutto di azadiractina e spinosad nei confronti del miride predatore *M. pygmaeus* (ARNÒ & GABARRA, 2011). Mentre, BIONDI *et al.* (2012a) hanno studiato in laboratorio l'impatto di numerosi insetticidi largamente utilizzati in coltura protetta di pomodoro sull'antocoride predatore *Orius laevigatus* (Fieber), definendo come compatibili i formulati a base di *B. thuringiensis*, azadiractina, chlorantraniliprole e incompatibili emamectina benzoato, metaflumizone, abamectina e spinosad. I prodotti a base di queste ultime due sostanze attive hanno manifestato effetti secondari sul predatore anche quando questi venivano esposti a residui di due settimane. Spinosad, in accordo con quanto osservato in una recente review sui suoi effetti secondari (BIONDI *et al.* 2012c), ha causato la morte di tutti gli esemplari di *B. nigrigans* esposti ai suoi residui su piante di pomodoro in laboratorio (BIONDI *et al.*, 2012b). Nello stesso esperimento, le due avermectine, abamectina ed emamectina benzoato, pur non avendo causato significativi livelli di mortalità nelle femmine esposte, ne hanno notevolmente ridotto la capacità di parassitizzazione e la fertilità. Degni di considerazione sono i risultati sin'ora ottenuti testando il più recentemente sviluppato chlorantraniliprole. Infatti, in prove di laboratorio, dosi massime di etichetta di questo agrofarmaco non hanno influenzato la sopravvivenza e la

capacità riproduttiva né di *O. laevigatus* (BIONDI *et al.*, 2012a), né quella di *B. nigrigans* (BIONDI *et al.*, in preparazione).

Infine, nell'ambito di prove condotte su possibili impieghi di varie formulazioni di zolfo in strategie eco-compatibili di lotta contro *T. absoluta* è stata riscontrata l'azione antideponente dello zolfo in polvere nei confronti del fitofago, tuttavia ne è stata anche osservata l'azione tossica nei confronti di *N. tenuis* (ZAPPALÀ *et al.*, 2012c).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dall'analisi delle strategie e delle tecniche appena illustrate deriva una quadro d'insieme che indica chiaramente la disponibilità di molteplici opzioni di contenimento della Tignola del pomodoro in tutte le sue fasi di sviluppo. Alla luce delle esperienze fin qui condotte in Italia e confortati da quanto già ottenuto in altri Paesi del bacino del Mediterraneo, a sei anni dalla prima segnalazione del fitofago nel nostro Paese, è stata definita un'efficace strategia di lotta integrata in grado assicurare un adeguato livello di protezione delle colture di pomodoro sia in serra che in pieno campo.

A carico degli adulti, fatti salvi gli indispensabili strumenti di esclusione meccanica nel caso di colture protette, sono efficaci le applicazioni bio-tecniche mediante l'impiego della cattura massale, confusione sessuale e possibilmente di *attract and kill*. Sulle uova sono efficaci i miridi predatori e alcuni composti antideponenti come lo zolfo in polvere e l'azadiractina. Anche sulle larve giovani agiscono i miridi oltre che diversi bioinsetticidi; a carico delle larve mature e delle crisalidi sono da considerare i miridi, diversi parassitoidi e un'accurata gestione del suolo dove, come è noto, si localizzano con maggiore frequenza le crisalidi. Appare interessante rilevare che tre dei principi attivi disponibili in Italia per il controllo della Tignola del pomodoro (azadiractina, spinosad e *B. thuringiensis*) sono impiegabili in regime di agricoltura biologica e che, sempre più diffusamente, sono impiegati anche in contesti colturali di tipo *convenzionale*. Ciò appare un chiaro segnale del forte mutamento che sta avvenendo nel settore della protezione fitosanitaria delle colture che si sta sempre più orientando verso strategie eco-sostenibili a tutela dell'ambiente, dell'operatore e del consumatore. In quest'ottica, si ritiene utile rimarcare l'importanza della scelta di principi attivi secondo le loro caratteristiche di selettività, con particolare riguardo al loro profilo ecotossicologico nei riguardi di antagonisti naturali e impollinatori.

Discorso a parte va fatto per le cosiddette tecniche di *controllo biologico conservativo* tanto dibattute nel caso di *T. absoluta*. In effetti, è necessario fare un opportuno distinguo in merito per il diverso significato pratico di tali tecniche a seconda dei diversi contesti colturali nei quali il pomodoro è coltivato, ovvero in pieno campo destinato all'industria della lavorazione o al consumo fresco oppure in coltura protetta per consumo fresco, per produzioni autunno-vernine o primaverile-estive. Fermo restando l'indubbio beneficio che nel complesso dell'agrosistema può derivare dalla salvaguardia di tutte quelle componenti floristiche che possono veicolare l'azione dei nemici naturali in prossimità del campo coltivato, appare evidente che tale approccio può essere più direttamente *funzionale* nel caso di coltivazioni da pieno campo anziché nelle colture in serra.

Appare chiaro che le strategie sopra descritte devono intendersi in un contesto di razionale gestione agronomica e di buone pratiche agricole che sono presupposto imprescindibile per l'efficace applicazione di qualsiasi programma di difesa integrata.

Al di là delle comprensibili preoccupazioni derivanti dalla rapida invasione di questo fitofago esotico nelle coltivazioni di pomodoro, coltura di primario interesse economico per il nostro Paese, l'esperienza risulta a nostro avviso nel complesso positiva. Il suo arrivo infatti se da una parte ha fortemente modificato i programmi di difesa già efficacemente adottati, dall'altra ha indotto alla rapida diffusione di dinamiche strategie di difesa integrata e biologica e ha aperto opportunità di ricerca e sviluppo di nuove e più avanzate strategie di protezione rivolte verso una elevata sostenibilità sotto il profilo ecologico, economico e tossicologico.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato realizzato con il supporto finanziario del progetto PRIN "Biologia e controllo integrato di *Tuta absoluta* (Meyrick) in Italia".

RIASSUNTO

Nel lavoro s'illustrano le più significative strategie sostenibili di controllo della Tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). Dopo aver delineato l'importanza economica e le peculiarità biologiche del fitofago esotico, si espongono le tecniche di difesa integrata più promettenti. Nell'ambito delle strategie preventive si evidenziano: la biodiversità funzionale per la valorizzazione delle componenti antagoniste naturali attraverso la promozione di infrastrutture ecologiche; le pratiche agronomiche e le tecniche di esclusione, per mi-

gare le infestazioni nelle varie fasi di sviluppo della coltura. Si descrivono, quindi, le tecniche di monitoraggio basate sia sul campionamento su pianta sia sulla cattura degli adulti e i limiti applicativi di soglie economiche d'intervento. Inoltre sono discusse le potenzialità delle strategie di lotta biologica, con particolare riferimento all'impiego di agenti microbiologici, alle tecniche conservative e alla valorizzazione degli antagonisti indigeni più diffusi in Italia. Infine, si delinea una possibile strategia complessiva di difesa integrata per questo nuovo fitofago che, basandosi anche sull'impiego di insetticidi con più favorevole profilo eco-tossicologico, possa garantire un soddisfacente livello di protezione delle colture di pomodoro in Italia.

BIBLIOGRAFIA

- ALTIERI, M.A., NICHOLLS, C.I., 2004 – *Biodiversity and pest management in agroecosystems*, Second Ed. Hawthorn Press, New York.
- AL-ZAIDI S., 2011 – *History and current IPM strategies for the management of Tuta absoluta in the Mediterranean region*. - EPPO/IOBC/FAO/NEPPO Joint International Symposium on management of *Tuta absoluta* (Tomato borer), Agadir, Morocco, November 16-18, 2011; Book of abstract: 41.
- ARNÓ J., GABARRA R., 2010 - *Controlling Tuta absoluta, a new invasive pest in Europe*. - ENDURE training in integrated pest management, no. 5, pp. 1-8. (http://www.endure-network.eu/about_endure/all_the_news/new_guide_tackling_tuta_absoluta).
- ARNÓ, J., GABARRA, R., 2011 – *Side effects of selected insecticides on the Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) predators Macrolophus pygmaeus and Nesidiocoris tenuis (Hemiptera: Miridae)*. - Journal of Pest Science, 84(4): 513-520.
- BATALLA CARRERA L., MORTON A., GARCÍA DEL PINO F., 2010 – *Efficacy of entomopathogenic nematodes against the tomato leafminer Tuta absoluta in laboratory and greenhouse conditions*. - BioControl, 55: 523-530.
- BELDA J.E., GIMÉNEZ A., JAVIER CALVO F., 2011 – *Success and extension of biological control strategies for managing Tuta absoluta (Meyrick) (Lep. Gelechiidae) populations in the Mediterranean area*. - EPPO/IOBC/FAO/NEPPO Joint International Symposium on management of *Tuta absoluta* (Tomato borer). Agadir, Morocco, November 16-18, 2011; Book of abstract: 28.
- BENVENGA S.R., FERNANDES O.A., GRAVENA S., 2007 – *Decision making for integrated pest management of the South American tomato pinworm based on sexual pheromone traps*. - Horticultura Brasileira, 25: 164-169.
- BIONDI A., DESNEUX N., SISCARO G., ZAPPALÀ L., 2012a – *Using organic-certified rather than synthetic pesticides may not be safer for biological control agents: Selectivity and side effects of 14 pesticides on the predator Orius laevigatus*. - Chemosphere, 87 (7): 803-812.
- BIONDI A., DESNEUX N., SISCARO G., TROPEA GARZIA G., AMIENS-DESNEUX E., ZAPPALÀ L., 2012b – *Side effects of bioinsecticides used to control Tuta absoluta*. IOBC-WPRS Bulletin., 80: 211-216.
- BIONDI A., MOMMAERTS V., SMAGGHE G., VIÑUELA E., ZAPPALÀ L., DESNEUX N., 2012c – *The non-target impact of spinosyns on beneficial arthropods*. - Pest Management Science, 68(12): 1523-1536.
- BOLLER E. F., AVILLA J., JOERG E., MALAVOLTA C., WIJNANDS F. G., ESBJER P., 2011 – *IOBC Integrated Production: objectives, principles and technical guidelines*,

- 1-23. In: Baur, R., Wijnands, F. and Malavolta, C. (eds.): Integrated production - Objectives, Principles and Technical Guidelines. IOBC/WPRS Bulletin, Special Issue. 132 pp.
- CALVO J., BOLCKMANS K., STANSKY P.A., URBANEJA, A., 2009 – *Predation by Nesidiocoris tenuis on Bemisia tabaci and injury to tomato*. - BioControl, (54)2: 237-246.
- CALVO F.J., LORENTE M.J., STANSKY P.A., BELDA J.E., 2012 – *Preplant release of Nesidiocoris tenuis and supplementary tactics for control of Tuta absoluta and Bemisia tabaci in greenhouse tomato*. - Entomologia Experimentalis et Applicata, 143(2): 111-119.
- CASTAÑE C., ARNÓ J., GABARRA R., ALOMAR O., 2011 – *Plant damage to vegetable crops by zoophytophagous mirid predators*. - Biological Control, (59)1: 22-29.
- CAPARROS MEGIDO R., HAUBRUGE E., VERHEGGEN F.J., 2012 – *First evidence of deuterotokous parthenogenesis in the tomato leafminer, Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - Journal of Pest Science, 85 (4): 409-412.
- CE, 2009 – *Direttiva 2009/128/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 21 ottobre 2009 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria ai fini dell'utilizzo sostenibile dei pesticidi*. - Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, del 24/11/2009.
- COCCO A., DELIPERI S., DELRIO G., 2012a – *Potential of mass trapping for Tuta absoluta management in greenhouse tomato crops using light and pheromone traps*. - IOBC/WPRS Bulletin, 80: 319-324.
- COCCO A., DELIPERI S., DELRIO G., 2012b – *Control of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato crops using the mating disruption technique*. - Journal of Applied Entomology, DOI: 10.1111/j.1439-0418.2012.01735.x, pubblicazione on line.
- DEHNE H.W., SCHONBECK F., 1994 – *Crop protection - past and present* pp. 45-71 In: Crop production and crop protection, Oerke E.C., Dehne H.W., Schonbeck F., Weber A. (eds.), Elsevier, Amsterdam. Netherlands. 808 pp.
- DELVARE G., LACORDAIRE A.I., RAMEL J.M., 2011 – *Necremnus artynes (Walker, 1839) (Eulophidae), a potential beneficial for the biological control of Tuta absoluta (Meyrick, 1917)*. - EPPO/IOBC/FAO/NEPPO Joint International Symposium on management of *Tuta absoluta* (Tomato borer). Agadir, Morocco, November 16-18, 2011; Book of abstract: 28.
- DESNEUX N., WAJNBERG E., FAUVERGUE X., PRIVET S., KAISER L., 2004 – *Sublethal effects of a neurotoxic insecticide on the oviposition behaviour and the patchtime allocation in two aphid parasitoids, Diaeretiella rapae and Aphidius matricariae*. - Entomologia Experimentalis et Applicata, 112: 227-235.
- DESNEUX N., DENOYELLE R., KAISER L., 2006a – *A multi-step bioassay to assess the effect of the deltamethrin on the parasitic wasp Aphidius ervi*. - Chemosphere, 65: 1697-1706.
- DESNEUX N., RAMIREZ-ROMERO R., KAISER L., 2006b – *Multistep bioassay to predict recolonization potential of emerging parasitoids after a pesticide treatment*. - Environmental Toxicology and Chemistry, 25(10): 2675-2682.
- DESNEUX N., DECOURTYE A., DELPUECH J., 2007 – *The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods*. - Annual Review of Entomology, 52:81-106.
- DESNEUX N., WAJNBERG E., WYCKHUYTS K.A.G., BURGIO G., ARPAIA S., NARVÁEZ-VASQUEZ C.A., GONZÁLEZ-CABRERA J., RUESCAS D.C., TABONE E., FRANDON J., PIZZOL J., PONCET C., CABELLO T., URBANEJA A., 2010 – *Biological invasion of European tomato crops by Tuta absoluta: Ecology, geographic expansion and prospects for biological control*. Journal of Pest Science, 83(3): 197-215.
- DESNEUX N., LUNA M.G., GUILLEMAUD T., URBANEJA A., 2011 – *The invasive South American tomato pinworm, Tuta absoluta, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond: the new threat to tomato world production*. - Journal of Pest Science, 84:403-408.
- EHLE L.E., 2006 – *Perspective - Integrated pest management (IPM): definition, historical development and implementation, and the other IPM*. - Pest Management Science, 62: 787-789.
- ESTAY P., 2000 – *Polilla del Tomate Tuta absoluta (Meyrick)* [documento on-line]: <http://alerce.inia.cl/docs/Informativos/Informativo09.pdf> (visionato Feb 2012).
- FERRACINI C., INGEGNO B.L., NAVONE P., FERRARI E., MOSTI M., TAVELLA L., ALMA A., 2012 – *Adaptation of indigenous larval parasitoids to Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) in Italy*. - Journal of Economic Entomology, 105(4): 1311-1319.
- FILHO M.M., VILELA E. F., ATTYGALLE A. B., MEINWALD J., SVATOŠ A., JHAM G. N., 2000 – *Field trapping of tomato moth, Tuta absoluta with pheromone traps*. - Journal of Chemical Ecology, 26 (4): 875- 881.
- FRANK S.D., 2010 – *Biological control of arthropod pests using banker plant systems: past progress and future directions*. - Biological Control, 52(1): 8-16.
- GABARRA R., ARNÓ J., 2010 – *Resultados de las experiencias de control biológico de la polilla del tomate en cultivo de invernadero y aire libre en Cataluña*. - Phytoma España, 217: 66-68.
- GARCIA DEL PINO F., ALABERN X., MORTON A., 2011 – *Efficacy of entomopathogenic nematodes against the larvae and adults of the tomato leafminer Tuta absoluta in soil treatments and their compatibility with the insecticides used against this insect*. - IOBC/WPRS Bulletin 66: 267-270.
- GARDINER M.M., LANDIS D.A., GRATTON C., DIFONZO C.D., O'NEAL M., CHACON J. M., WAYO M. T., SCHMIDT N. P., MUELLER E.E., HEIMPEL G.E., 2009 – *Landscape diversity enhances biological control of an introduced crop pest in the north-central USA*. - Ecological Applications, 19: 143-154.
- GILARDÓN E., POCOVÍ M., HERNÁNDEZ C., COLLAVINO G., OLSEN A., 2001 – *Role of 2-tridecanone and type VI glandular trichome on tomato resistance to Tuta absoluta*. - Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 36: 929-933.
- GIUSTOLIN T.A., VENDRAMIM J.D., ALVES S.B., VIEIRA S.A., PEREIRA R.M., 2001 – *Susceptibility of Tuta absoluta (Meyrick) (Lep., Gelechiidae) reared on two species of Lycopersicon to Bacillus thuringiensis var. kurstaki*. Journal of Applied Entomology, 125: 551-556.
- GOMIDE E.V.A., VILELA E.F., PÍCANÇO M., 2001 – *Comparação de procedimentos de amostragem de Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) em Tomateiro Estaqueado*. - Neotropical Entomology, 30, 697-705.
- GONZÁLES CABRERA J., MOLLÁ O., MONTÓN H., URBANEJA A., 2011 – *Efficacy of Bacillus thuringiensis (Berliner) in controlling the tomato borer, Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - BioControl, 56: 71-80.
- HADDI K., BERGER M., BIELZA P., CIFUENTES D., FIELD

- L.M., GORMAN K., RAPISARDA C., WILLIAMSON M.S., BASS C., 2012 – *Identification of mutations associated with pyrethroid resistance in the voltage-gated sodium channel of the tomato leaf miner (Tuta absoluta)*. - Insect biochemistry and molecular biology, 42(7): 506-513.
- HARPAZ L.S., GRAPH S., RIKI K., AZOLAY L., ROZENBERG T., YAKOV N., ALON T., ALUSH A., STINBERG S., GERLING D., 2011 – *IPM of Tuta absoluta in Israel*. - EPPO/IOBC/FAO/NEPPO Joint International Symposium on management of *Tuta absoluta* (Tomato borer). Agadir, Morocco, November 16-18, 2011; Book of abstracts: 32.
- JACOBSON R., MARTIN G., 2011 – *A potential role for entomopathogenic nematodes within IPM of Tuta absoluta (Meyrick) on organic tomato crops*. - IOBC/WPRS Bulletin, 68: 79-83.
- LANDIS D.A., WRATTEN S.D., GURR G.M., 2000 – *Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture*. - Annual Review of Entomology, 45: 175-201.
- LIETTI M.M.M., BOTTO E., ALZOGARAY R.A., 2005 – *Insecticide resistance in Argentine populations of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - Neotropical Entomology, 34 (1): 113-119.
- LONI A., ROSSI E., VAN ACHTERBERG K., 2011 – *First report of Agathis fuscipennis in Europe as parasitoid of the tomato leafminer Tuta absoluta*. - Bulletin of Insectology, 64: 115-117.
- LUNA M.G., SÁNCHEZ N.E., PEREYRA P.C., NIEVES E., SAVINO V., LUFT E., VIRLA E., SPERANZA S., 2012 – *Biological control of Tuta absoluta in Argentina and Italy: evaluation of indigenous insects as natural enemies*. - EPPO Bulletin, 42: 260-267.
- MARTÍ MARTÍ S., MUÑOZ CELDRÁN, CASAGRANDE E., 2010 – *El uso de feromonas para el control de Tuta absoluta: primeras experiencias en campo*. - Phytoma España, 217: 35-40.
- MOLLÁ O., ALONSO M., MONTON H., BEITIA F., VERDÚ M.J., GONZÁLEZ-CABRERA J., URBANEJA A., 2010 – *Control biológico de Tuta absoluta. Catalogación de enemigos naturales y potencial de los miridos depredadores como agentes de control*. - Phytoma España, 217: 42-46.
- MOLLÁ O., GONZÁLEZ-CABRERA J., URBANEJA A. 2011 – *The combined use of Bacillus thuringiensis and Nesidiocoris tenuis against the tomato borer Tuta absoluta*. - BioControl, 56: 883-891.
- MONSERRAT DELGADO A., 2009 – *La polilla del tomate "Tuta absoluta" en la Región de Murcia: bases para su control*. - Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Consejería de Agricultura y Agua - Serie Técnica y de Estudios, 34, 74 pp.
- NAVARRO LOPIS V., ALFARO C., VACAS S., PRIMO J., 2010 – *Application de la confusion sexual al control de la polilla del tomate Tuta absoluta Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - Phytoma España, 217: 35-40.
- NIEDMANN L.L., MEZA-BASSO L., 2006 – *Evaluación de cepas nativas de Bacillus thuringiensis como una alternativa de manejo integrado de la polilla del tomate (Tuta absoluta Meyrick; Lepidoptera: Gelechiidae) en Chile*. - Agricultura Técnica, 66: 235-246.
- OLIVEIRA F.A., DA SILVA D.J.H., LEITE G.L.D., JHAM G.N., PICANÇO M., 2009 – *Resistance of 57 greenhouse-grown accessions of Lycopersicon esculentum and three cultivars to Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - Scientia Horticulturae, 119: 182-187.
- PERDIKIS D., FAVAS C., LYKOURESSIS D., FANTINOU A., 2007 – *Ecological relationships between non-cultivated plants and insect predators in agroecosystems: the case of Dittrichia viscosa (Asteraceae) and Macrolophus melanotoma (Hemiptera: Miridae)*. - Acta Oecologica, 31 (3): 299-306.
- PERDIKIS D., FANTINOU A., LYKOURESSIS D., 2011 – *Enhancing pest control in annual crops by conservation of predatory Heteroptera*. - Biological Control, 59 (1): 13-21.
- PEREYRA P.C., SÁNCHEZ N.E., 2006 – *Effect of two solanaceous plants on developmental and population parameters of the tomato leaf miner, Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - Neotropical Entomology, 35: 671-676.
- REYES M., ROCHA K., ALARCÓN L., SIEGWART M., SAUPHANOR B., 2012 – *Metabolic mechanisms involved in the resistance of field populations of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) to spinosad*. - Pesticide biochemistry and physiology, 102(1): 45-50.
- RODITAKIS E., SKARMOUTSOU C., STAURAKAKI M., DEL ROSARIO MARTÍNEZ-AGUIRRE M., GARCÍA-VIDAL L., BIELZA P., HADDI K., RAPISARDA C., RISON J., BASSI A., TEIXEIRA L.A., 2012 – *Determination of baseline susceptibility of European populations of Tuta absoluta (Meyrick) to indoxacarb and chlorantraniliprole using a novel dip bioassay method*. - Pest Management Science, DOI: 10.1002/ps.3404, publicación on line.
- RODRIGUEZ M.S., GERDING M.P., FRANCE A.I., 2006 – *Entomopathogenic fungi isolates selection for egg control of tomato moth Tuta absoluta Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) eggs*. - Agricultura Técnica, 66:151-158.
- SANNINO L., ESPINOSA B., 2010 – *Tuta absoluta, guida alla conoscenza e recenti acquisizioni per una corretta difesa*. - L'Informatore Agrario, 66 (46) Supplemento 1: 1-113.
- SCHNEPF E., CRICKMORE N., VAN RIE J., LERECLUS D., BAUM, J., 1998 – *Bacillus thuringiensis and its pesticidal crystal proteins*. - Microbiology and Molecular Biology Reviews, 62: 775-806.
- SILVA G.A., PICANÇO M.C., BACCI L., CRESPO A.L.B., ROSADO J.F., GUEDES R. N. C., 2011 – *Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, Tuta absoluta*. - Pest Management Science, 67: 913-920.
- SIQUEIRA H.A.A., GUEDES R.N.C., PICANÇO M.C., 2000a – *Cartap resistance and synergism in populations of Tuta absoluta (Lep., Gelechiidae)*. - Journal of Applied Entomology, 124: 233-238.
- SIQUEIRA H.A.A., GUEDES R.N.C., PICANÇO M.C., 2000b – *Insecticide resistance in populations of Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - Agricultural and Forest Entomology, 2: 147-153.
- SIQUEIRA H.A.A., GUEDES R.N.C., FRAGOSO D.B., MAGALHAES L.C., 2001 – *Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - International Journal of Pest Management, 47(4): 247-251.
- STARK J.D., BANKS J.E., 2003 – *Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods*. - Annual Review of Entomology, 48: 505-519.
- STARK J.D., VARGAS R., BANKS J.E., 2007 – *Incorporating ecologically relevant measures of pesticide effect for estimating the compatibility of pesticides and biocontrol agents*. - Journal of Economic Entomology, 100 (4): 1027-1032.
- STERN V.M., SMITH R.F., VAN DEN BOSCH R., HAGEN K.S., 1959 – *The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid. The integrated control concept*. - Hilgardia, 29: 81-101.

- TORRES J.B., FARIA C.A., EVANGELISTA JR W.S., PRATISSOLI D., 2001 – *Within-plant distribution of the leaf miner Tuta absoluta (Meyrick) immatures in processing tomatoes, with notes on plant phenology*. - International Journal of Pest Management, 47: 173-178.
- TROPEA GARZIA G., SISCARO G., COLOMBO A., CAMPO G., 2009 – *Rinvenuta in Sicilia Tuta absoluta*. - L'Informatore Agrario, 65 (4): 71.
- TROPEA GARZIA G., SISCARO G., BIONDI A., ZAPPALÀ L., 2012 – *Tuta absoluta, a South American pest of tomato now in the EPPO region: biology, distribution and damage*. - EPPO Bulletin, 42 (2): 205-210.
- URBANEJA A., VERCHER R., NAVARRO V., PORCUNA J.L., GARCIA-MARÍ F., 2007 – *La polilla del tomate, Tuta absoluta*. - Phytoma España, 194: 16-24.
- URBANEJA A., GONZÁLEZ-CABRERA J., ARNÓ J., GABARRA R., 2012 – *Prospects for the biological control of Tuta absoluta in tomatoes of the Mediterranean basin*. - Pest Management Science, 68: 1215-1222.
- USDA, 2011 – *New pest response Guidelines: Tomato Leaf-miner (Tuta absoluta)*. http://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/emergency/downloads/Tuta-absoluta.pdf (visitato in febbraio 2012).
- VAN LENTEREN J.C., WOETS J., 1988 – *Biological and integrated pest control in greenhouses*. Annual Review of Entomology, 33: 239-269.
- VERCHER R., CALABUIG A., FELIPE C., 2010 – *Ecología, muestreos y umbrales de Tuta absoluta (Meyrick)*. - Phytoma España, 217: 23-26.
- VIGGIANI G., FILELLA F., DELRIO G., RAMASSINI W., FOXI C., 2009 – *Tuta absoluta, nuovo lepidottero segnalato anche in Italia*. - L'Informatore Agrario, 65(2): 66-68.
- ZAPPALÀ L., BERNARDO U., BIONDI A., COCCO A., DELIPERI S., DELRIO G., GIORGINI M., PEDATA P., RAPISARDA C., TROPEA GARZIA G., SISCARO G., 2012a – *Recruitment of native parasitoids by the exotic pest Tuta absoluta in Southern Italy*. - Bulletin of Insectology, 65(1): 51-61.
- ZAPPALÀ L., BIONDI A., TROPEA GARZIA G., SISCARO G., 2012b – *Efficacy of commercial strains of Bacillus thuringiensis in controlling Tuta absoluta: laboratory tests*. - IOBC/WPRS Bulletin, 80: 283-288.
- ZAPPALÀ L., SISCARO G., BIONDI A., MOLLÁ O., GONZÁLEZ-CABRERA J., URBANEJA A., 2012c – *Efficacy of sulphur on Tuta absoluta and its side effects on the predator Nesidiocoris tenuis*. - Journal of Applied Entomology, 136 (6): 401-409.

HOLISTIC MANAGEMENT OF INVASIVE SPECIES: THE CASE STUDY OF *TUTA ABSOLUTA* (MEYRICK) (LEPIDOPTERA, GELECHIIDAE)

LUIGI PONTI^{1,2} - ANDREW PAUL GUTIERREZ^{2,3} - MIGUEL A. ALTIERI^{3,4}

¹ Laboratorio Gestione Sostenibile degli Agro-ecosistemi (UTAGRI-ECO), Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), Centro Ricerche Casaccia, Via Anguillarese 301, 00123 Roma, Italy

² Center for the Analysis of Sustainable Agricultural Systems (CASAS), Kensington, CA 94707, USA (Website: <http://cnr.berkeley.edu/casas>)

³ Division of Ecosystem Science, Department of Environmental Science, Policy & Management, University of California, Berkeley, CA 94720, USA

⁴ College of Natural Resources, University of California, Berkeley, CA 94720, USA

Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La Tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick)". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 18 febbraio 2012.

Holistic management of invasive species: the case study of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera, Gelechiidae)

The Mediterranean Basin is a climate change and biological invasion hotspot of global relevance where recent warming has likely facilitated the establishment and spread of invasive species. Projecting the potential geographic distribution and relative abundance of species that invade the Basin is pivotal to developing sound policy for their management, and the need for this capacity has increased dramatically in the region. The tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick) recently invaded the Mediterranean Basin from South America and threatens to become a major global pest of tomato. Here the available biological data relevant to the development of a physiologically-based demographic model (PBDM) for *T. absoluta* are summarized, and the components of a prospective ecologically-based management program for the pest are reviewed to lay the ground for assessing the relative importance of the different components at a regional level. We propose that the PBDM approach can be used in a GIS context to develop and implement a holistic analysis of this pest. The complex interactions that underpin scientifically-sound management of invasive species including *T. absoluta* can be captured quantitatively, and the resulting interdisciplinary synthesis can then be used within the conceptual framework of agroecology to help design ecologically-based pest management strategies suited to specific resource and socioeconomic realities.

KEY WORDS: physiologically-based weather-driven demographic models, geographic information systems (GIS), climate change effects, ecologically-based pest management, holistic analysis.

THE MEDITERRANEAN BASIN AS A GLOBAL HOTSPOT FOR BIOLOGICAL INVASION

The Mediterranean Basin is a biodiversity (MYERS *et al.*, 2000) and climate change hotspot (GIORGI, 2006) that is also challenged by biological invasions of exotic species (DRAKE & LODGE, 2004; TATEM, 2009). The area's status as a climate change hotspot is based on a consensus of projections (GIORGI, 2006; DIFFENBAUGH & GIORGI, 2012) across forcing scenarios, future time periods, and a range of global and regional climate models (GIORGI & LIONELLO, 2008; LIONELLO *et al.*, 2012). The Mediterranean Basin and other areas of Europe are at increased risk of exotic species introduction (e.g., pests) because of the high density of airports with high-volume incoming traffic from many regions with similar climates. This combination of factors is anticipated to increase invasive species establishment (TATEM, 2009). In Europe, approaches to pest risk analysis usually follow a

conventional paradigm that involves assessing probability of introduction, probability of establishment, potential economic impact, and options to prevent establishment/economic impact (GIOLLI & BAUMGÄRTNER, 2009; VAN DER STRATEN *et al.*, 2011).

The recent arrival and establishment of several tropical insect species illustrates how the recent warming observed in the Basin is likely to facilitate the establishment and spread of invasive alien species (ROBINET & ROQUES, 2010). Climate mismatches would appear to be the only natural barrier still effective against the global spread of invasive species, as major geographical barriers have been made mostly ineffective by global air and other kinds of commercial traffic (TATEM & HAY, 2007; TATEM, 2009). Invasive species may be of any taxa and cause yearly an estimated trillion US dollars worldwide damage (OERKE & DEHNE, 2004). This figure is nearly an order of magnitude higher than losses to natural disasters (see RICCIARDI *et al.*,

2011). The accidental introductions of exotic insects has resulted in a high number of established species with considerable negative economic impact (PYŠEK *et al.*, 2008). Plants are another major group of invasive organisms, but their introduction has mostly been intentional (PIMENTEL *et al.*, 2005). About one-third of insect pests are alien species (WARD & MASTERS, 2007), whose potential geographic distribution and relative abundance (i.e., measures of invasiveness) are mostly poorly understood, even after costly and long-standing management/eradication programs (GUTIERREZ & PONTI, in press).

The field of agroecology (ALTIERI, 1995; ALTIERI *et al.*, 2003) is a holistic vision of the study and implementation of the agricultural sustainability problem, but the gap between this concept and our capacity to analyze agroecosystems is large. Holistic analyses are often advocated (ZVALETA *et al.*, 2001; HULME, 2006; SUTHERST & BOURNE, 2009; GILMAN *et al.*, 2010), but rarely implemented – there are simply too many factors, and the best we can currently do is to examine sub sets of the agroecosystem. But even this requires projecting regionally the population dynamics of the sub system as driven by weather and constrained by interactions with other species and all elements of the abiotic environment (GUTIERREZ, 1996). Focusing on invasive species, key issues include predicting their potential distribution and relative abundance, the effects of natural enemies, and assessment of available control methods, with the effects of future climate change being an additional layer of complexity.

In this paper, we summarize available biological data relevant to the development of a physiologically-based demographic model (PBDM) for *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera, Gelechiidae), and review the components of a prospective ecologically-based management program for the pest to lay the ground for assessing the relative importance of the different components at a regional level. The PBDM approach circumvents long-standing shortcomings of mainstream approaches commonly used to assess exotic species invasiveness, and when used in a holistic interdisciplinary framework may help increase system sustainability and resilience in the face of social, cultural, economic and pending climate change.

PREDICTING THE GEOGRAPHIC DISTRIBUTION AND RELATIVE ABUNDANCE OF PEST SPECIES

Pivotal to developing sound policy for eradication, or control and management of invasive species is the capacity to predict their potential geographic

distribution and relative abundance (i.e., their invasiveness) under current and climate change scenarios (GUTIERREZ *et al.*, 2011). Climate is a highly important determinant of species distribution and abundance (ANDREWARTHA & BIRCH, 1954), and is a major barrier against the global spread of invasive species (TATEM & HAY, 2007; TATEM, 2009). However, predicting the geographic distribution and dynamics of invasive species in time and space has been a difficult recurring problem (see review by GILIOLI & BAUMGÄRTNER, 2009), that may only increase with global climate and environmental change (see TYLIANAKIS *et al.*, 2008). Common methods used to predict the geographic distribution of invasive species fall under the ambit of *climate envelope* approaches (i.e., ecological niche models; ENMs hereafter). Distribution records of the species are used to develop ENMs for assessing the species' potential geographic distribution by characterizing climatically the ecological niche of the species. ENMs may be statistical (see ESTRADA-PENÁ, 2008), physiological indices (e.g., CLIMEX; SUTHERST *et al.*, 2007), methods based on information theory (Maxent; PHILLIPS *et al.*, 2006; PHILLIPS & DUDIK, 2008) and other methods reviewed by ELITH & LEATHWICK (2009). ENMs assume the current geographic distribution of a species is the best indicator of its climatic requirements, that the distribution is in equilibrium with current climate, and climate niche conservatism is maintained in both space and time (BEAUMONT *et al.*, 2009). However, because of the correlative nature of ENMs, a number of problems may occur (see also Fig. 1): the difficulty of incorporating trophic interactions (DAVIS *et al.*, 1998a; DAVIS *et al.*, 1998b; VAN DER PUTTEN *et al.*, 2010), the assumed native range may be in error as the records may be of presence in ephemeral habitats or the species may have been misidentified (SOBERÓN & PETERSON, 2011; WARREN, 2012), aggregate weather data is often used that miss important short-term weather effects (see Fig. 2), different ENM approaches give different results (LAWLER *et al.*, 2006), and other factors (see LOZIER *et al.*, 2009). These models make implicit ecological and mathematical assumptions that lack mechanistic underpinnings (SOBERÓN & NAKAMURA, 2009). These shortcomings were recognized by the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC AR4) summarized as including the “inability to account for species interactions, lack of a physiological mechanism, and inability to account for population processes” (FISCHLIN *et al.*, 2007) (Fig. 1).

However, while ENMs are often good at fitting current ranges of species, they are not as good at projecting range shifts due to climate change or the

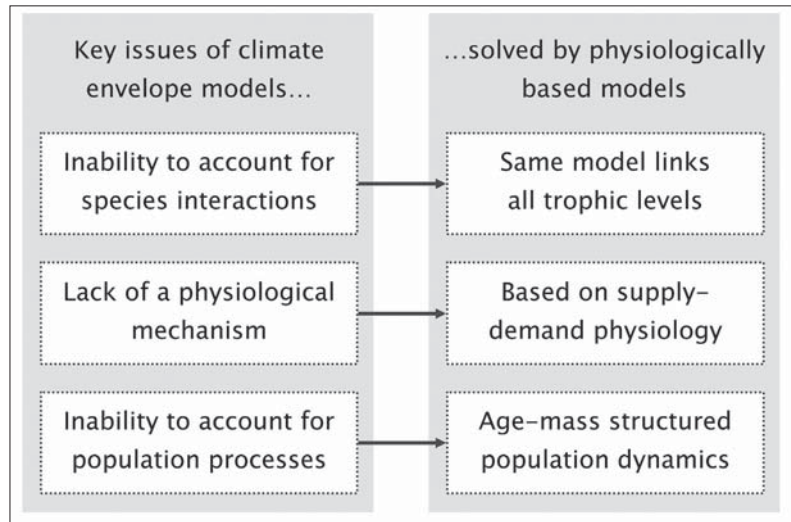


Fig. 1
Limitations of climate envelope models that were acknowledged in the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change and how these limitations are addressed by physiologically-based demographic models.

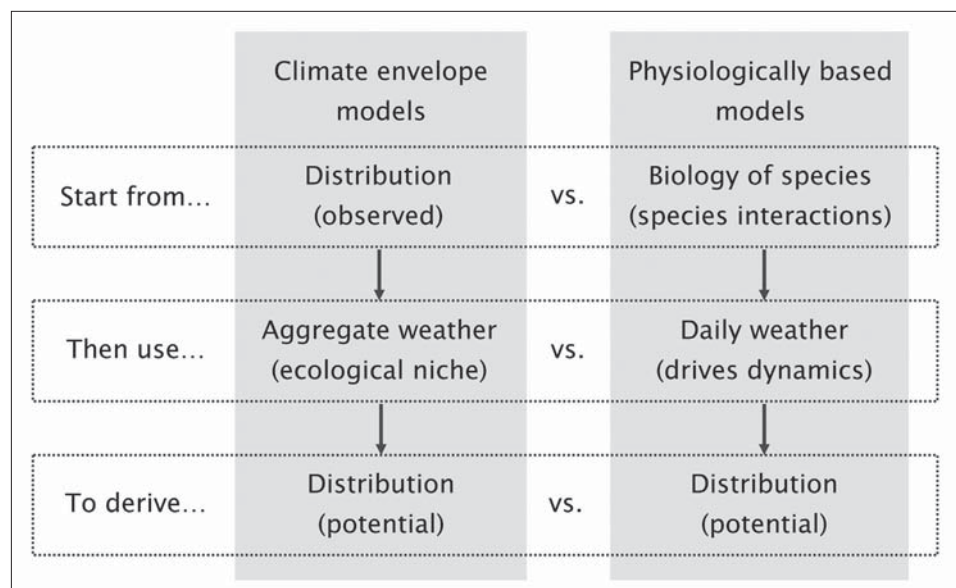


Fig. 2
Comparison of the climate envelope approach and the physiologically-based demographic modeling approach.

spread of invaders (JESCHKE & STRAYER, 2008; WIENS *et al.*, 2009; SINCLAIR *et al.*, 2010; BARVE *et al.*, 2011; VELOZ *et al.*, 2012). Despite shortcomings, ENMs are in many cases the only available methods for estimating the ecological niche (WARREN, 2012), and may provide a useful first approximation if the results are interpreted with due consideration of the limitations of the models (PEARSON & DAWSON, 2003).

PBDMs address these shortcomings by explicitly capturing the mechanistic weather-driven biology of the species and of relevant interacting species in its food chain or web. (The physiological basis of the approach has early roots in the work of DE WIT & GOUDRIAAN, 1978.) Instead of beginning with the assumed native range of an invasive species, PBDMs model the biology of the target species and other species in the same food chain or web (i.e., the system) (Fig. 2), and when the

model is driven by weather predict the phenology, dynamics and distribution of the interacting species across wide geographic areas independent of distribution records (GUTIERREZ *et al.*, 2008; GUTIERREZ & PONTI, in press) (Fig. 1). PBDMs of herbivores may include bottom-up effects of plant growth and development and in some cases the top-down action of natural enemies (see GUTIERREZ & BAUMGÄRTNER, 1984; GUTIERREZ *et al.*, 1994). Because the biology is modeled, the PBDM system can easily deal with the effects of climate change on the species.

The underlying idea of PBDMs is that all organisms are consumers and have similar resource acquisition (inputs) and allocation (outputs) priorities (GUTIERREZ, 1996) (Fig. 3), and the dynamics of all species can be captured using the same resource acquisition and same shape birth-death rates sub-models imbedded in an age-mass struc-

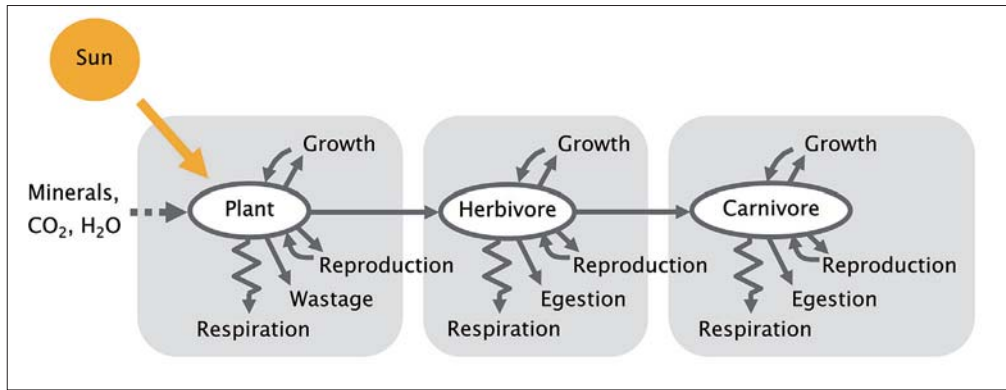


Fig. 3

All organisms show a common pattern of energy acquisition (supply) and allocation (demand) that allows to use the same model to describe the biology of the species in all trophic levels including the economic one (see GUTIERREZ, 1996).

tured population model that capture sub processes such as developmental rates on temperature, age-specific fecundity and mortality as modified by temperature and other factors, diapause and the interaction with resource species and with natural enemies (GUTIERREZ, 1996). The model can be scaled to the individual, population, area or regional level (Fig. 4). Resource acquisition (i.e. the supply, S) is a search process driven by organism demand (D), while allocation occurs in priority order to egestion, conversion costs, respiration, and reproduction, growth, and reserves. The ratio $0 \leq S/D < 1$ is due to imperfect consumer search, and in the PBDM scales maximal growth rates of species in a time-place varying manner. PBDMs simulate the age-mass structured population dynamics of plant subunits and of pest and preda-

tor/parasitoid numbers. Weather is used to drive the population dynamics of the interacting species and may include, as required, daily maximum and minimum temperatures, solar radiation, precipitation, relative humidity, and wind, and may be derived from ground observations, satellite remote sensing, or climate model simulations (e.g., GUTIERREZ *et al.*, 2005; PONTI *et al.*, 2009). The results of the PBDM analyses can be mapped using GIS at various levels of spatial and temporal resolution (e.g., using GRASS GIS, <http://grass.osgeo.org/>). Most important, the results of the modeling/GIS analyses can be compared to field data. The main drawback is that the development of PBDM analyses requires a minimum level of biological information. Here we review the adequacy of the available information for *T. absoluta*.

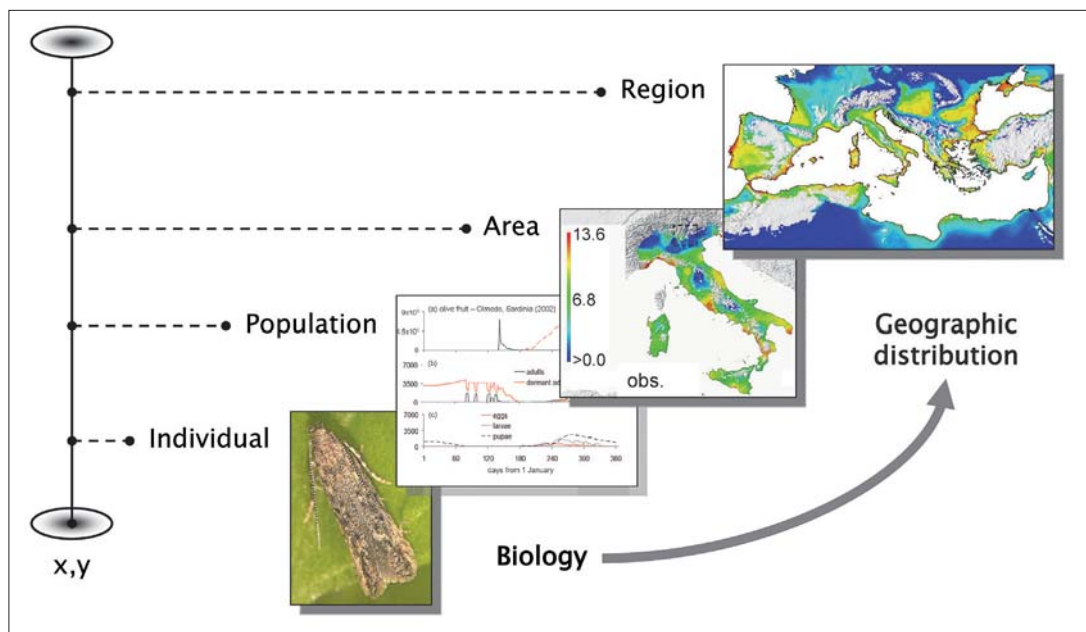


Fig. 4

Levels of physiologically-based models: individual, population, across ecological zones and across large geographic regions (modified from GUTIERREZ *et al.*, 2010).

THE RANGE OF *TUTA ABSOLUTA*

The oligophagous leaf miner *T. absoluta* and its primary tomato host are native to South America. The pest also develops on other solanaceous crops such as potato and eggplant (DESNEUX *et al.*, 2010). This leaf miner was identified as a potentially serious problem for the Mediterranean tomato industry before it invaded the region (EPPO, 2005). The first Mediterranean Basin record is from Spain in 2006 (URBANEJA *et al.*, 2007), and two years later it was also found in Italy (TROPEA GARZIA *et al.*, 2009; VIGGIANI *et al.*, 2009). Population genetics studies suggest that a single genetically-uniform invasive population spread to the Mediterranean Basin (CIFUENTES *et al.*, 2011). Invasion of the Mediterranean Basin was rapid, as *Tuta* traveled about 4,000 km in five years (TROPEA GARZIA *et al.*, 2012) and has now become a major threat to tomato production (DESNEUX *et al.*, 2011) in three continents (Europe, Africa, and Asia). Its range extends North-South from The Netherlands to Sudan, and West-East from Portugal to Iran (TROPEA GARZIA *et al.*, 2012). The invasion history of *T. absoluta* suggests it is able to spread and rapidly colonize new areas even without human mediation, and hence it is unlikely that current management/quarantine programs will slow or prevent further spread (DESNEUX *et al.*, 2011).

In the Mediterranean Basin, recent climate warming has been concentrated in summer (MARIOTTI & DELL'AQUILA, 2011) especially during the last decade of the twentieth century (BARTOLINI *et al.*, 2012). This recent warming is consistent with climate change projections for the region (BARKHORDARIAN *et al.*, 2011) and stands out from long-term temperature variability spanning the last millennium (GUIOT, 2012; JOËL, 2012). Summer warming was particularly intense in the decade ending with the first two years (2007 and 2008) of recorded invasion of *T. absoluta* in the Basin (decade 1998-2007, Fig. 5), and this may in part explain *T. absoluta* rapid spread.

REVIEW OF *T. ABSOLUTA* BIOLOGY RELEVANT TO PBDM DEVELOPMENT

A mechanistic model for tomato growth and development that includes dry matter assimilation and partitioning is reported in the literature (HEUVELINK, 1999), and may serve as basis for developing a PBDM for the tomato plant to provide the bottom-up dynamics on *T. absoluta*.

T. absoluta is a multivoltine species with high reproductive potential (TROPEA GARZIA *et al.*, 2012). Studies on the moth's development (BARRIENTOS *et al.*, 1998) estimated the lower thermal

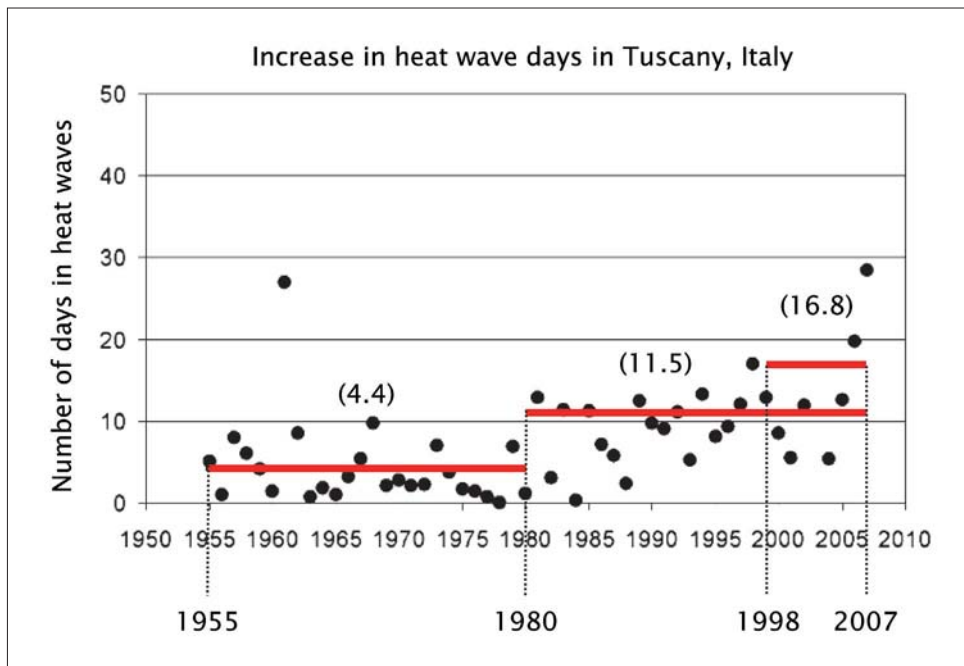


Fig. 5

Mean annual count of Warm Spell Duration Index (WSDI; count of days with at least six consecutive days when maximum temperature exceeds the 90th percentile) days in the period 1955-2007. Red horizontal lines spanning 1955-1980, 1981-2007, and 1998-2007 indicate average values for respective periods (numeric values in parentheses). Modified from BARTOLINI *et al.* (2012).

threshold and the duration of the life stages in degree-days (*dd*): eggs (103,8 *dd* above 6.9 °C), larvae (238.5 *dd* above 7.6 °C), and pupae (117.3 *dd* above 9.2 °C). Other data provided by BARRIENTOS *et al.* (1998) could provide information for estimating sub-models for temperature-dependent rate of development (Tab. 1) and for mortality. SANNINO & ESPINOSA (2010) monitored field populations year-round and estimated the duration of life stages in physiological time units (*dd*). These observations may be used as field estimates for inclusion in the developmental rate sub-model. Data from PEREYRA & SÁNCHEZ (2006) on age-specific survivorship and fecundity profiles, net reproductive rate, and intrinsic rate of increase at 25 °C (on both tomato and potato), and data from MEDEIROS *et al.* (2009b) on age-specific survivorship at 25 °C on tomato plants grown in conventional vs. organic systems could be used to develop sub-models for mortality and fecundity.

SANNINO & ESPINOSA (2010) found that adults can live up to six weeks at 15 °C but only a few days (4-5) at 35 °C, information that could help model the effect of temperature on adult longevity. The preoviposition period is about two days with eggs being laid singly or in batches of 2 -5. Total fecundity varies considerably (40-262 eggs per female) in the literature reviewed (SANNINO & ESPINOSA, 2010).

Tuta continues development as food and weather allow (up to 12 generations in the warmer reaches of its native range). It appears not to have a diapause stage, and yet SANNINO & ESPINOSA (2010) at Scafati found that overwintering pupae take 65.1 days on average to complete development with one third of the pupae formed in the first half of November developing to adults by the first half of December (17.9 days on average). The remaining pupae are quiescent during cold months and emerge the following year between January and February. This could indicate that insufficient thermal units accrue or some other factors delay development. For example, termination of diapause in *Anarsia lineatella* (Lepidoptera, Gelechiidae) requires chilling and its larvae complete diapause development in late January-early February

(DAMOS & SAVO-POULOU-SOULTANI, 2010) as occurred for some *Tuta* pupae. This aspect of the biology requires further examination. In Mediterranean climes, adults are found throughout the year (VERCHER *et al.*, 2010).

Other biological and behavioral traits include: adults are nocturnal and usually hide during the day in the canopy; females lay eggs on aerial parts of their host plants, and four larval instars develop; pupation may take place in the soil, on the leaf surface, or within mines (EPPO, 2005; see also SANNINO & ESPINOSA, 2010).

PROSPECTIVE MANAGEMENT OF *T. ABSOLUTA*

An array of management options exist that may be considered as part of a prospective management strategy for *T. absoluta* and include chemical insecticides, habitat management, pheromones, biological control, host plant resistance (HPR) and other methods.

Chemical control

Chemical insecticides use should be considered with care as resistance in *T. absoluta* to common insecticides is widespread in South America (LIETTI *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2011), and the speed at which insecticide resistance evolved in this species is of major concern (CIFUENTES *et al.*, 2011). The invasive population has been shown to have a narrow genetic basis expressing a high potential for insecticide resistance (CIFUENTES *et al.*, 2011) making it substantially unconstrained by quarantine measures (DESNEUX *et al.*, 2011). Specifically, the high frequency of mutations associated with pyrethroid resistance in *T. absoluta* populations occurs across much of its range and suggests pyrethroids are likely ineffective as means of control, and further supports the hypothesis that insecticide resistance facilitated the rapid expansion of its invasive range (HADDI *et al.*, 2012). Hence, insecticides are unlikely to be viable components of management programs for *T. absoluta* in the Mediterranean Basin.

Table 1 – Summary of data on the thermal biology of *Tuta absoluta* provided by BARRIENTOS *et al.* (1998).

	Average duration in days (Survivorship %)					
	14.0 °C		19.7 °C		27.1 °C	
<i>Eggs</i>	14.1	(86.3)	7.9	(93.6)	5.1	(92.1)
<i>Larvae</i>	38.0	(79.0)	19.9	(71.0)	12.2	(52.7)
<i>Pupae</i>	24.2	(90.8)	12.1	(91.4)	6.5	(91.2)
<i>Total</i>	76.3	(61.9)	39.8	(60.7)	23.8	(44.3)

Non chemical control

First and foremost, ecologically-based pest management should design the agroecosystems to foster pest regulation with low dependence on external inputs (ALTIERI, 1999). Among these options are habitat management above-ground (i.e., crop diversification; see LANDIS *et al.*, 2000; ALTIERI *et al.*, 2003; PONTI *et al.*, 2005; ALTIERI *et al.*, 2009) and below-ground (i.e., organic soil enhancement; see ALTIERI & NICHOLLS, 2003; ALTIERI *et al.*, 2005) and their synergistic interactions (PONTI *et al.*, 2007; ALTIERI *et al.*, 2011) as well as biological and natural control and augmentative releases (VAN DEN BOSCH *et al.*, 1982), HPR (KOGAN, 1994; MALUF *et al.*, 2010b), and mating disruption (WITZGALL *et al.*, 2010).

Habitat management

There is evidence that habitat management is a viable option for regulating *T. absoluta* in tomato cropping systems under Mediterranean conditions. For example, in a comparison of organic vs. conventional tomato agroecosystems in commercial farms in California (USA), DRINKWATER *et al.* (1995) and LETOURNEAU & GOLDSTEIN (2001) could not distinguish between the two production systems based on fruit yields and arthropod pest damage levels, but observed higher levels of associated biodiversity (*sensu* VANDERMEER & PERFECTO, 1995) of natural enemies that by providing biological control of insect pests would act as a source of biological compensation for the lack of chemical control. Similarly in Brazil, MEDEIROS *et al.* (2009a) observed greater abundance and diversity of predators and reduced density of *T. absoluta* larvae in organic vs. conventional tomato crops, and further that intercropping tomato with coriander (*Coriandrum sativum*, Apiaceae) and gallant soldier (*Galinsoga parviflora*, Asteraceae) had an additional positive effect on reducing pest density and enhancing natural enemies (see PONTI *et al.*, 2007). In another experiment, MEDEIROS *et al.* (2009b) found that tomato plants potted in soil from organic farming systems had half the number of *T. absoluta* eggs when compared to tomato plants grown in soil from conventional systems. MEDEIROS *et al.* (2011) also observed higher *T. absoluta* egg mortality by parasitoids and generalist predators in organic vs. conventional tomato crops (see PONTI *et al.*, 2007). A similar trend was observed in Ohio (USA) by PHELAN *et al.* (1995) in studies of the European corn borer. Implementation of habitat management and/or organic farming may be hindered in intense greenhouse tomato cultivation systems or control may not be sufficient to regulate the pest below economic levels.

Biological and natural control and augmentative releases

Information on biological control of *T. absoluta* in its native range is not comprehensive, and lacks the biology and ecology of natural enemies that would be critical for selecting candidate bio-control agents (DESNEUX *et al.*, 2010). Classical biological control would be a long-term sustainable management strategy for *T. absoluta*, and introduction of exotic natural enemies carries low risk of unintended effects on non-target organisms (e.g., risk of extinction of non target species; see VAN LENTEREN *et al.*, 2006) that must however be weighed against the prospective benefits (see MESSING & WRIGHT, 2006; DESNEUX *et al.*, 2010; BIONDI *et al.*, 2012).

Several species of predators and parasitoids have adapted to *T. absoluta* since its introduction to the Mediterranean Basin (natural control), and this has probably contributed to the observed decline in pest severity 2-3 years after first invasion (TROPEA GARZIA *et al.*, 2012; URBANEJA *et al.*, 2012). Field survey of native parasitoids recruited to *T. absoluta* in southern Italy (ZAPPALÀ *et al.*, 2012a) highlights the need to conserve indigenous natural enemies (e.g., via habitat management) that could be important components of management strategies for the tomato borer in the Mediterranean region. Laboratory assessment of the impact of native parasitoids on larval populations of *T. absoluta* were carried out in several Italian tomato fields located on the North-South gradient (FERRACINI *et al.*, 2012), and found that two species of the genus *Necremnus* were potential candidates for mass production and augmentative release. These findings emphasize the importance of the rich and variegated biodiversity found in the Mediterranean that may result in efficacious new associations of natural enemies with invasive species (see NICOLI & BURGIO, 1997).

The implementation of augmentative releases of natural enemies for control of *T. absoluta* in the Mediterranean Basin was initially constrained by the extensive insecticide use following the introduction of the pest (NANNINI *et al.*, 2012; URBANEJA *et al.*, 2012). However, successful augmentative control programs have been implemented for *T. absoluta* using native generalist predators (Miridae) that at the same time help manage other major tomato pests such as whiteflies. This development led to a substantial increase in the tomato crop area under augmentative biological control, especially in greenhouses of south-eastern Europe and Morocco (URBANEJA *et al.*, 2012). In Spain, control using egg predators such as the

native Mirid *Nesidiocoris tenuis* and application of the insecticidal bacterium *Bacillus thuringiensis* was shown to be highly effective in controlling the tomato borer in the greenhouse (GONZÁLEZ-CABRERA *et al.*, 2011; MOLLÁ *et al.*, 2011). Working at the same Spanish location, ZAPPALÀ *et al.* (2012b) showed that control of *T. absoluta* by *N. tenuis* can also be integrated with careful applications of sulphur (still widely used in organic tomato crops) that is effective on the moth but only moderately to non toxic to the Mirid.

Host plant resistance

Adding HPR would provide plant bottom-up effects to the top-down regulation by natural enemies, thereby increasing the likelihood of regulating pest populations at acceptable low levels in an ecologically sound manner. Commercial tomato hybrids resistant to *T. absoluta* are thought to be easily developed (MALUF *et al.*, 2010b). In Brazil, tomato breeding programs have shown that it is possible to introgress resistance from wild taxa of tomato and related *Solanum* spp. into commercial cultivars to produce allelochemicals such as acyl-sugars that confer resistance to a broad range of tomato pests including whiteflies, aphids, spider mites, as well as *T. absoluta* and other lepidopteran pests (MALUF *et al.*, 2010a, 2010b; OLIVEIRA *et al.*, 2012). Genes lost during the domestication of tomato were principally related to pest and disease resistance, and this may explain the current wide susceptibility of current cultivars to pathogens and pests (OLIVEIRA *et al.*, 2012), and the resulting high pesticide use that ultimately leads to resistance and adverse environmental impacts.

Pheromones

Pheromone-mediated mating disruption is emerging as an important component of management programs for major insect pests (WITZGALL *et al.*, 2010). The pheromone technology initially used against *T. absoluta* was immature, and was used because no alternatives were available to control the insecticide resistant invading populations. The exceptionally rapid invasion and lack of efficient chemical or biological control methods boosted the demand for monitoring lures initially employed for mass trapping (WITZGALL *et al.*, 2010) and that later evolved as a mating disruption technique. In a study carried out in southwestern Sardinia, COCCO *et al.* (2012) showed that mating disruption is an efficient strategy to control *T. absoluta* in greenhouse tomato crops. Mating disruption, however, can only be implemented in high-containment greenhouses that prevent immigration of mated females from surrounding habitats (VACAS *et al.*, 2011).

Sterile insect technology

The sterile insect technology (SIT) is also being considered as prospective mean of control. CAGNOTTI *et al.* (2012) studied the effects of X-rays on *T. absoluta* as a first step to assess the viability of implementing SIT as a control technique for this species, but no information is available on potential effectiveness. Likely, SIT is not a viable option because of the wide range of the pest, multiple hosts and the pest's apparent high vagility, and the high costs of such a program.

CONCLUDING REMARKS

In the Mediterranean Basin, recent warming (BARTOLINI *et al.*, 2012) consistent with climate change projections for the region (BARKHORDARIAN *et al.*, 2011; DIFFENBAUGH & GIORGI, 2012) has likely facilitated the establishment and spread of invasive species (ROBINET & ROQUES, 2010) including *T. absoluta*. High resistance to insecticides removed constraints of normal quarantine measures (CIFUENTES *et al.*, 2011; DESNEUX *et al.*, 2011) and appears to have enhanced *T. absoluta* rapid invasion of wide geographic areas (CIFUENTES *et al.*, 2011). This species is likely to become a major global pest of tomato and it will have to be managed using mainly ecologically-based approaches over the large geographic areas it has or will invade. This makes the capacity to predict the potential geographic distribution and relative abundance (i.e., the invasiveness) of *T. absoluta* pivotal to developing sound policy for managing this (or any other) invasive species (GUTIERREZ *et al.*, 2011). PBDMs are physiologically-based weather-driven geospatial modeling tools that can be harnessed to gauge accurately the invasiveness of pests such as *T. absoluta*, while circumventing many of the deficiencies of mainstream assessment methods based on essentially correlative, climate envelope approaches (ENMs). PBDM analyses are able to capture the complexity of tomato agroecosystems and produce an interdisciplinary synthesis for *T. absoluta* that fits nicely into the conceptual framework of agroecology. A sound scientific basis for understanding *T. absoluta* dynamics will increase our ability to improve system stability and resilience in the face of the varied complexities of agriculture that occurs across the pest's geographic range.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to Dr. M. Neteler (Fondazione Edmund Mach - Centro Ricerca e Innovazione,

Trento, Italy, <http://gis.fem-environment.eu/>) and an international network of co-developers for maintaining the Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) software, and making it available to the scientific community. This research was supported by the Center for the Analysis of Sustainable Agricultural Systems (<http://cnr.berkeley.edu/casas/>) and by a Marie Curie International Reintegration Grant within the 7th European Community Framework Program (project number: 224091; acronym: GlobalChangeBiology).

RIASSUNTO

APPROCCIO OLISTICO ALLA GESTIONE DI SPECIE INVASIVE: IL CASO DI TUTA ABSOLUTA (MEYRICK)

Il Bacino del Mediterraneo è una regione del nostro pianeta particolarmente soggetta a cambiamenti climatici ed invasioni biologiche, nella quale un recente aumento della temperatura ha probabilmente facilitato l'insediamento e la diffusione di specie invasive. Stimare distribuzione geografica ed abbondanza relativa delle specie invasive è fondamentale per approntare politiche utili alla loro gestione, e pertanto la necessità di ottenere tali stime è aumentata sensibilmente nel Bacino del Mediterraneo. La tignola del pomodoro *Tuta absoluta* (Meyrick) ha di recente invaso il Bacino del Mediterraneo dall'America del Sud e minaccia di divenire un fitofago chiave del pomodoro a livello mondiale. Il presente contributo riassume informazioni sulla biologia di *T. absoluta* utili allo sviluppo di un modello demografico con base fisiologica (PBDM, "physiologically-based demographic model"), e passa in rassegna le componenti di un possibile programma di gestione della tignola su base ecologica, con ciò preparando il terreno per una valutazione dell'importanza relativa delle diverse componenti a livello territoriale. L'approccio ai modelli demografici basato sulla fisiologia può infatti essere utilizzato nel contesto di un GIS per sviluppare e realizzare un'analisi olistica di questa specie. Le analisi PBDM consentono di cogliere in maniera quantitativa interazioni complesse che sono imprescindibili per gestire su base scientifica le specie invasive, *T. absoluta* compresa. La sintesi interdisciplinare che da queste analisi deriva può contribuire nel quadro concettuale dell'agroecologia alla messa a punto di strategie di gestione adatte a risorse e realtà socioeconomiche specifiche.

BIBLIOGRAFIA

- ALTIERI M.A., 1995 – *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. - Westview Press, Boulder, USA, 446 pp.
- ALTIERI M.A., 1999 – *The ecological role of biodiversity in agroecosystems*. - Agric., Ecosyst. Environ., 74: 19-31.
- ALTIERI M.A., NICHOLLS C.I., 2003 – *Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems*. - Soil Tillage Res., 72: 203-211.
- ALTIERI M.A., NICHOLLS C.I., PONTI L., 2003 – *Biodiversità e controllo dei fitofagi negli agroecosistemi*. - Accademia Nazionale Italiana di Entomologia, Florence, Italy, 223 pp.
- ALTIERI M.A., NICHOLLS C.I., PONTI L., 2009 – Crop

- diversification strategies for pest regulation in IPM systems. In: E.B. Radcliffe, W.D. Hutchinson & R.E. Cancelado (eds.), *Integrated pest management*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 116-130.
- ALTIERI M.A., PONTI L., NICHOLLS C., 2005 – *Enhanced pest management through soil health: towards a belowground habitat management strategy*. - Biodynamics, 253: 33-40.
- ALTIERI M.A., PONTI L., NICHOLLS C.I., 2011 – Soil fertility, biodiversity and pest management. In: G.M. Gurr, S.D. Wratten & B.E. Snyder (eds.), *Biodiversity and insect pests: key issues for sustainable management*. Wiley Blackwell, New York, USA, pp. (in press).
- ANDREWARTHA H.G., BIRCH L.C., 1954 – *The Distribution and Abundance of Animals*. - The University of Chicago Press, Chicago, 782 pp.
- BARKHORDARIAN A., BHEND J., VON STORCH H., 2011 – *Consistency of observed near surface temperature trends with climate change projections over the Mediterranean region*. - Clim. Dynam.: DOI 10.1007/s00382-00011-01060-y.
- BARRIENTOS Z.R., APABLAZA H.J., NORERO S.A., ESTAY P.P., 1998 – *Temperatura base y constante termica de desarrollo de la polilla del tomate, Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - Cienc. Investig. Agrar., 25: 133-137.
- BARTOLINI G., DI STEFANO V., MARACCHI G., ORLANDINI S., 2012 – *Mediterranean warming is especially due to summer season*. - Theor. and Appl. Climatol., 107: 279-295.
- BARVE N., BARVE V., JIMÉNEZ-VALVERDE A., LIRA-NORIEGA A., MAHER S.P., PETERSON A.T., SOBERÓN J., VILLALOBOS F., 2011 – *The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling*. - Ecol. Model., 222: 1810-1819.
- BEAUMONT L.J., GALLAGHER R.V., THUILLER W., DOWNEY P.O., LEISHMAN M.R., HUGHES L., 2009 – *Different climatic envelopes among invasive populations may lead to underestimations of current and future biological invasions*. - Divers. Distrib., 15: 409-420.
- BIONDI A., MOMMAERTS V., SMAGGHE G., VIÑUELA E., ZAPPALÀ L., DESNEUX N., 2012 – *The non-target impact of spinosyns on beneficial arthropods*. - Pest Manag. Sci.: DOI: 10.1002/ps.3396.
- CAGNOTTI C.L., VISCARRET M.M., RIQUELME M.B., BOTTO E.N., CARABAJAL L.Z., SEGURA D.F., LÓPEZ S.N., 2012 – *Effects of X-rays on Tuta absoluta for use in inherited sterility programmes*. - J. Pest Sci.: DOI 10.1007/s10340-10012-10455-10349.
- CIFUENTES D., CHYNOWETH R., BIELZA P., 2011 – *Genetic study of Mediterranean and South American populations of tomato leafminer Tuta absoluta (Povolny, 1994) (Lepidoptera: Gelechiidae) using ribosomal and mitochondrial markers*. - Pest Manag. Sci., 67: 1155-1162.
- COCCO A., DELIPERI S., DELRIO G., 2012 – *Control of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato crops using the mating disruption technique*. - J. Appl. Entomol.: DOI 10.1111/j.1439-0418.2012.01735.x.
- DAMOS P.T., SAVOPOULOU-SOULTANI M., 2010 – *Synchronized diapause termination of the peach twig borer Anarsia lineatella (Lepidoptera: Gelechiidae): Brownian motion with drift?* - Physiol. Entomol., 35: 64-75.
- DAVIS A.J., JENKINSON L.S., LAWTON J.H., SHORROCKS B.,

- WOOD S., 1998a – *Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming*. - *Nature*, 391: 783-786.
- DAVIS A.J., LAWTON J.H., SHORROCKS B., JENKINSON L.S., 1998b – *Individualistic species responses invalidate simple physiological models of community dynamics under global environmental change*. - *J. Anim. Ecol.*, 67: 600-612.
- DE WIT C.T., GOUDRIAAN J., 1978 – *Simulation of ecological processes*, 2nd edn. - PUDOC Publishers, The Netherlands, pp.
- DESNEUX N., LUNA M., GUILLEMAUD T., URBANEJA A., 2011 – *The invasive South American tomato pinworm, Tuta absoluta, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond: the new threat to tomato world production*. - *J. Pest Sci.*, 84: 403-408.
- DESNEUX N., WAJNBERG E., WYCKHUYTS K., BURGIO G., ARPAIA S., NARVÁEZ-VASQUEZ C., GONZÁLEZ-CABRERA J., CATALÁN RUESCAS D., TABONE E., FRANDON J., PIZZOL J., PONCET C., CABELLO T., URBANEJA A., 2010 – *Biological invasion of European tomato crops by Tuta absoluta: ecology, geographic expansion and prospects for biological control*. - *J. Pest Sci.*, 83: 197-215.
- DIFFENBAUGH N., GIORGI F., 2012 – *Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble*. - *Climatic Change*, 114: 813-822.
- DRAKE J.M., LODGE D.M., 2004 – *Global hot spots of biological invasions: Evaluating options for ballast-water management*. - *Proc. R. Soc. Lond., Ser. B: Biol. Sci.*, 271: 575-580.
- DRINKWATER L.E., LETOURNEAU D.K., WORKNEH F., VAN BRUGGEN A.H.C., SHENNAN C., 1995 – *Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California*. - *Ecol. Appl.*: 1098-1112.
- ELITH J., LEATHWICK J.R., 2009 – *Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time*. - *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 40: 677-697.
- EPPO, EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION, 2005 – *Data sheets on quarantine pests: Tuta absoluta*. - *EPPO Bull.*, 35: 434-435.
- ESTRADA-PEÑA A., 2008 – *Climate, niche, ticks, and models: what they are and how we should interpret them*. - *Parasitol. Res.*, 103: 87-95.
- FERRACINI C., INGEGNO B.L., NAVONE P., FERRARI E., MOSTI M., TAVELLA L., ALMA A., 2012 – *Adaptation of indigenous larval parasitoids to Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) in Italy*. - *J. Econ. Entomol.*, 105: 1311-1319.
- FISCHLIN A., MIDGLEY G.F., PRICE J.T., LEEMANS R., GOPAL B., TURLEY C., ROUNSEVELL M.D.A., DUBE O.P., TARAZONA J., VELICHKO A.A., 2007 – *Ecosystems, their properties, goods, and services*. In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson (eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 211-272.
- GILIOLI G., BAUMGÄRTNER J., 2009 – *Strumenti quantitativi per lo studio e la gestione di specie invasive*. - *Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia*, Anno LVII: 35-47.
- GILMAN S.E., URBAN M.C., TEWKSBURY J., GILCHRIST G.W., HOLT R.D., 2010 – *A framework for community interactions under climate change*. - *Trends Ecol. Evol.*, 25: 325-331.
- GIORGI F., 2006 – *Climate change hot-spots*. - *Geophys. Res. Lett.*, 33: L08707.
- GIORGI F., LIONELLO P., 2008 – *Climate change projections for the Mediterranean region*. - *Global Planet. Change*, 63: 90-104.
- GONZÁLEZ-CABRERA J., MOLLÁ O., MONTÓN H., URBANEJA A., 2011 – *Efficacy of Bacillus thuringiensis (Berliner) in controlling the tomato borer, Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - *BioControl*, 56: 71-80.
- GUIOT J., 2012 – *A robust spatial reconstruction of April to September temperature in Europe: Comparisons between the medieval period and the recent warming with a focus on extreme values*. - *Global Planet. Change*, 84-85: 14-22.
- GUTIERREZ A.P., 1996 – *Applied population ecology: a supply-demand approach*. - John Wiley and Sons, New York, USA, 300 pp.
- GUTIERREZ A.P., BAUMGÄRTNER J.U., 1984 – *Multitrophic level models of predator-prey energetics: II. A realistic model of plant-herbivore-parasitoid-predator interactions*. - *Can. Entomol.*, 116: 933-949.
- GUTIERREZ A.P., MILLS N.J., SCHREIBER S.J., ELLIS C.K., 1994 – *A physiologically based tritrophic perspective on bottom-up-top-down regulation of populations*. - *Ecology*, 75: 2227-2242.
- GUTIERREZ A.P., PITCAIRN M.J., ELLIS C.K., CARRUTHERS N., GHEZELBASH R., 2005 – *Evaluating biological control of yellow starthistle (Centaurea solstitialis) in California: A GIS based supply-demand demographic model*. - *Biol. Control*, 34: 115-131.
- GUTIERREZ A.P., PONTI L., in press – *Analysis of invasive plants and insects: links to climate change*. In: L.H. Ziska & J.S. Dukes (eds.), *Invasive Species and Climate Change*. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp.
- GUTIERREZ A.P., PONTI L., D'OULTREMONT T., ELLIS C.K., 2008 – *Climate change effects on poikilotherm tritrophic interactions*. - *Climatic Change*, 87: S167-S192.
- GUTIERREZ A.P., PONTI L., GILIOLI G., 2010 – *Climate change effects on plant-pest-natural enemy interactions*. In: D. Hillel & C. Rosenzweig (eds.), *Handbook of climate change and agroecosystems: impacts, adaptation, and mitigation*. Imperial College Press, London, UK, pp. 209-237.
- GUTIERREZ A.P., PONTI L., HODDLE M., ALMEIDA R.P.P., IRVIN N.A., 2011 – *Geographic distribution and relative abundance of the invasive glassy-winged sharpshooter: effects of temperature and egg parasitoids (FORUM ARTICLE)*. - *Environ. Entomol.*, 40: 755-769.
- HADDI K., BERGER M., BIELZA P., CIFUENTES D., FIELD L.M., GORMAN K., RAPISARDA C., WILLIAMSON M.S., BASS C., 2012 – *Identification of mutations associated with pyrethroid resistance in the voltage-gated sodium channel of the tomato leaf miner (Tuta absoluta)*. - *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 42: 506-513.
- HEUVELINK E., 1999 – *Evaluation of a dynamic simulation model for tomato crop growth and development*. - *Ann. Bot.*, 83: 413.
- HULME P.E., 2006 – *Beyond control: wider implications for the management of biological invasions*. - *J. Appl. Ecol.*, 43: 835-847.
- JESCHKE J.M., STRAYER D.L., 2008 – *Usefulness of bioclimatic models for studying climate change and invasive species*. - *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1134: 1-24.
- JOËL G., 2012 – *A robust spatial reconstruction of April to September temperature in Europe: Comparisons between the medieval period and the recent warming with a focus on extreme values*. - *Global Planet. Change*, 84-85: 14-22.
- KOGAN M., 1994 – *Plant resistance in pest management*.

- In: R.L. Metcalf & W.H. Luckmann (eds.), *Introduction to insect pest management*. John Wiley & Sons, New York, USA, pp. 73-128.
- LANDIS D.A., WRATTEN S.D., GURR G.M., 2000 – *Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture*. – *Annu. Rev. Entomol.*, 45: 175-201.
- LAWLER J.J., WHITE D., NEILSON R.P., BLAUSTEIN A.R., 2006 – *Predicting climate-induced range shifts: model differences and model reliability*. – *Global Change Biol.*, 12: 1568-1584.
- LETOURNEAU D.K., GOLDSTEIN B., 2001 – *Pest damage and arthropod community structure in organic vs. conventional tomato production in California*. – *J. Appl. Ecol.*, 38: 557-570.
- LIETTI M.M.M., BOTTO E., ALZOGARAY R.A., 2005 – *Insecticide resistance in argentine populations of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)*. – *Neotrop. Entomol.*, 34: 113-119.
- LIONELLO P., GACIC M., GOMIS D., GARCIA-HERRERA R., GIORGI F., PLANTON S., TRIGO R., THEOCHARIS A., TSIMPLIS M.N., ULBRICH U., XOPLAKI E., 2012 – *Program focuses on climate of the Mediterranean region*. – *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, 93: 105-116.
- LOZIER J.D., ANIELLO P., HICKERSON M.J., 2009 – *Predicting the distribution of Sasquatch in western North America: anything goes with ecological niche modelling*. – *J. Biogeogr.*, 36: 1623-1627.
- MALUF W., DE FÁTIMA SILVA V., DAS GRAÇAS CARDOSO M., GOMES L., NETO Á., MACIEL G., NÍZIO D., 2010a – *Resistance to the South American tomato pinworm Tuta absoluta in high acylsugar and/or high zingiberene tomato genotypes*. – *Euphytica*, 176: 113-123.
- MALUF W.R., MACIEL G.M., GOMES L.A.A., CARDOSO M.G., GONÇALVES L.D., DA SILVA E.C., KNAPP M., 2010b – *Broad-spectrum arthropod resistance in hybrids between high-and low-acylsugar tomato lines*. – *Crop Sci.*, 50: 439-450.
- MARIOTTI A., DELL'AQUILA A., 2011 – *Decadal climate variability in the Mediterranean region: roles of large-scale forcings and regional processes*. – *Clim. Dynam.*: DOI 10.1007/s00382-00011-01056-00387.
- MEDeiros M.A., SUJII E.R., DE MORAIS H.C., 2011 – *Fatores de mortalidade na fase de ovo de Tuta absoluta em sistemas de produção orgânica e convencional de tomate*. – *Bragantia*, 70: 72-80.
- MEDeiros M.A., SUJII E.R., MORAIS H.C., 2009a – *Effect of plant diversification on abundance of South American tomato pinworm and predators in two cropping systems*. – *Hortic. Bras.*, 27: 300-306.
- MEDeiros M.A.D., SUJII E.R., RASI G.C., LIZ R.S., MORAIS H.C.D., 2009b – *Padrão de oviposição e tabela de vida da traça-do-tomateiro Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera, Gelechiidae)*. – *Rev. Bras. Entomol.*, 53: 452-456.
- MESSING R.H., WRIGHT M.G., 2006 – *Biological control of invasive species: solution or pollution?* – *Front. Ecol. Environ.*, 4: 132-140.
- MOLLÁ O., GONZÁLEZ-CABRERA J., URBANEJA A., 2011 – *The combined use of Bacillus thuringiensis and Nesidiocoris tenuis against the tomato borer Tuta absoluta*. – *BioControl*, 56: 883-891.
- MYERS N., MITTERMEIER R.A., MITTERMEIER C.G., DA FONSECA G.A.B., KENT J., 2000 – *Biodiversity hotspots for conservation priorities*. – *Nature*, 403: 853-858.
- NANNINI M., ATZORI F., MURGIA G., PISCI R., SANNA F., 2012 – *Use of predatory mirids for control of the tomato borer Tuta absoluta (Meyrick) in Sardinian greenhouse tomatoes*. – *EPPO Bull.*, 42: 255-259.
- NICOLI G., BURGIO G., 1997 – *Mediterranean biodiversity as source of new entomophagous species for biological control in protected crops*. – *IOBC/wprs Bull.*, 20: 27-38.
- OERKE E.C., DEHNE H.W., 2004 – *Safeguarding production-losses in major crops and the role of crop protection*. – *Crop Protect.*, 23: 275-285.
- OLIVEIRA C.M.D., ANDRADE JÚNIOR V.C.D., MALUF W.R., NEIVA I.P., MACIEL G.M., 2012 – *Resistance of tomato strains to the moth Tuta absoluta imparted by allelochemicals and trichome density*. – *Ciênc. Agrotec.*, 36: 45-52.
- PEARSON R.G., DAWSON T.P., 2003 – *Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?* – *Global Ecol. Biogeogr.*, 12: 361-371.
- PEREYRA P.C., SÁNCHEZ N.E., 2006 – *Effect of two solanaceous plants on developmental and population parameters of the tomato leaf miner, Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)*. – *Neotrop. Entomol.*, 35: 671-676.
- PHELAN P.L., MASON J.F., STINNER B.R., 1995 – *Soil-fertility management and host preference by European corn borer, Ostrinia nubilalis (Hübner), on Zea mays L.: a comparison of organic and conventional chemical farming*. – *Agric., Ecosyst. Environ.*, 56: 1-8.
- PHILLIPS S.J., ANDERSON R.P., SCHAPIRE R.E., 2006 – *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*. – *Ecol. Model.*, 190: 231-259.
- PHILLIPS S.J., DUDIK M., 2008 – *Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation*. – *Ecography*, 31: 161-175.
- PIMENTEL D., ZUNIGA R., MORRISON D., 2005 – *Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States*. – *Ecol. Econ.*, 52: 273-288.
- PONTI L., ALTIERI M.A., GUTIERREZ A.P., 2007 – *Effects of crop diversification levels and fertilization regimes on abundance of Brevicoryne brassicae (L.) and its parasitization by Diaeretiella rapae (M'Intosh) in broccoli*. – *Agric. For. Entomol.*, 9: 209-214.
- PONTI L., GUTIERREZ A.P., RUTI P.M., 2009 – *The olive-Bactrocera oleae (Diptera Tephritidae) system in the Mediterranean Basin: a physiologically based analysis driven by the ERA-40 climate data*. – *Notiziario sulla Protezione delle Piante - III Serie*, 1: 113-128.
- PONTI L., RICCI C., VERONESI F., TORRICELLI R., 2005 – *Natural hedges as an element of functional biodiversity in agroecosystems: the case of a Central Italy vineyard*. – *Bull. Insectol.*, 58: 19-23.
- PYŠEK P., RICHARDSON D.M., PERGL J., JAROŠÍK V., SIXTOVÁ Z., WEBER E., 2008 – *Geographical and taxonomic biases in invasion ecology*. – *Trends Ecol. Evol.*, 23: 237-244.
- RICCIARDI A., PALMER M.E., YAN N.D., 2011 – *Should biological invasions be managed as natural disasters?* – *Bioscience*, 61: 312-317.
- ROBINET C., ROQUES A., 2010 – *Direct impacts of recent climate warming on insect populations*. – *Integr. Zool.*, 5: 132-142.
- SANNINO L., ESPINOSA B. (eds.), 2010 – *Tuta absoluta: guida alla conoscenza e recenti acquisizioni per una corretta difesa*. – Edizioni L'Informatore Agrario, Verona, Italy, 113 pp.
- SILVA G.A., PICANÇO M.C., BACCI L., CRESPO A.L.B., ROSADO J.F., GUEDES R.N.C., 2011 – *Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, Tuta absoluta*. – *Pest Manag. Sci.*, 67: 913-920.

- SINCLAIR S.J., WHITE M.D., NEWELL G.R., 2010 – *How useful are species distribution models for managing biodiversity under future climates?* - Ecology and Society, 15: 8. <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss11/art18/>.
- SOBERÓN J., NAKAMURA M., 2009 – *Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions*. - Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 106: 19644-19650.
- SOBERÓN J., PETERSON A.T., 2011 – *Ecological niche shifts and environmental space anisotropy: a cautionary note*. - Rev. Mex. Biodivers., 82: 1384-1355.
- SUTHERST R., BOURNE A., 2009 – *Modelling non-equilibrium distributions of invasive species: a tale of two modelling paradigms*. - Biol. Invasions, 11: 1231-1237.
- SUTHERST R.W., MAYWALD G.F., BOURNE A.S., 2007 – *Including species interactions in risk assessments for global change*. - Global Change Biol., 13: 1843-1859.
- TATEM A.J., 2009 – *The worldwide airline network and the dispersal of exotic species: 2007–2010*. - Ecography, 32: 94-102.
- TATEM A.J., HAY S.I., 2007 – *Climatic similarity and biological exchange in the worldwide airline transportation network*. - Proc. R. Soc. Lond., Ser. B: Biol. Sci., 274: 1489.
- TROPEA GARZIA G., SISCARO G., BIONDI A., ZAPPALÀ L., 2012 – *Tuta absoluta, a South American pest of tomato now in the EPPO region: biology, distribution and damage*. - EPPO Bull., 42: 205-210.
- TROPEA GARZIA G., SISCARO G., COLOMBO A., CAMPO G., 2009 – *Rinvenuta in Sicilia Tuta absoluta*. - Informatore Agrario, 65: 71.
- TYLIANAKIS J.M., DIDHAM R.K., BASCOMPTE J., WARDLE D.A., 2008 – *Global change and species interactions in terrestrial ecosystems*. - Ecol. Lett., 11: 1351-1363.
- URBANEJA A., GONZÁLEZ-CABRERA J., ARNÓ J., GABARRA R., 2012 – *Prospects for the biological control of Tuta absoluta in tomatoes of the Mediterranean basin*. - Pest Manag. Sci., 68: 1215-1222.
- URBANEJA A., VERCHER R., NAVARRO LLOPIS V., GARCÍA MARÍ F., PORCUNA J.L., 2007 – *La polilla del tomate, Tuta absoluta*. - Phytoma Espana, 194: 16-23.
- VACAS S., ALFARO C., PRIMO J., NAVARRO-LLOPIS V., 2011 – *Studies on the development of a mating disruption system to control the tomato leafminer, Tuta absoluta Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - Pest Manag. Sci., 67: 1473-1480.
- VAN DEN BOSCH R., MESSENGER P.S., GUTIERREZ A.P., 1982 – *An introduction to biological control*. - Plenum Press, New York, USA, 247 pp.
- VAN DER PUTTEN W.H., MACEL M., VISSER M.E., 2010 – *Predicting species distribution and abundance responses to climate change: why it is essential to include biotic interactions across trophic levels*. - Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 365: 2025-2034.
- VAN DER STRATEN M.J., POTTING R.P.J., VAN DER LINDEN A., 2011 – *Introduction of the tomato leafminer Tuta absoluta into Europe*. - Proc. Neth. Entomol. Soc. Meet., 22: 23-30.
- VAN LENTEREN J.C., BALE J., BIGLER F., HOKKANEN H.M.T., LOOMANS A.J.M., 2006 – *Assessing risks of releasing exotic biological control agents of arthropod pests*. - Annu. Rev. Entomol., 51: 609.
- VANDERMEER J., PERFECTO I., 1995 – *Breakfast of biodiversity: the truth about rain forest destruction*. - Institute for Food and Development Policy, Oakland, USA, pp.
- VELOZ S.D., WILLIAMS J.W., BLOIS J.L., HE F., OTTOBLIESNER B., LIU Z., 2012 – *No-analog climates and shifting realized niches during the late quaternary: implications for 21st-century predictions by species distribution models*. - Global Change Biol., 18: 1698-1713.
- VERCHER R., CALABUIG A., FELIPE C., 2010 – *Ecología, muestreos y umbrales de Tuta absoluta (Meyrick)*. - Phytoma España, 217: 23-26.
- VIGGIANI G., FILELLA F., DELRIO G., RAMASSINI W., FOXI C., 2009 – *Tuta absoluta, a new Lepidoptera now reported in Italy*. - Informatore Agrario, 65: 66-68.
- WARD N.L., MASTERS G.J., 2007 – *Linking climate change and species invasion: an illustration using insect herbivores*. - Global Change Biol., 13: 1605-1615.
- WARREN D.L., 2012 – *In defense of 'niche modeling'*. - Trends Ecol. Evol., 27: 497-500.
- WIENS J.A., STRALBERG D., JONGSOMJIT D., HOWELL C.A., SNYDER M.A., 2009 – *Niches, models, and climate change: Assessing the assumptions and uncertainties*. - Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 106: 19729-19736.
- WITZGALL P., KIRSCH P., CORK A., 2010 – *Sex pheromones and their impact on pest management*. - J. Chem. Ecol., 36: 80-100.
- ZAPPALÀ L., BERNARDO U., BIONDI A., COCCO A., DELIPERI S., DELRIO G., GIORGINI M., PEDATA P., RAPISARDA C., GARZIA G.T., 2012a – *Recruitment of native parasitoids by the exotic pest Tuta absoluta in Southern Italy*. - Bull. Insectol., 65: 51-61.
- ZAPPALÀ L., SISCARO G., BIONDI A., MOLLÁ O., GONZÁLEZ-CABRERA J., URBANEJA A., 2012b – *Efficacy of sulphur on Tuta absoluta and its side effects on the predator Nesidiocoris tenuis*. - J. Appl. Entomol., 136: 401-409.
- ZAVALETA E.S., HOBBS R.J., MOONEY H.A., 2001 – *Viewing invasive species removal in a whole-ecosystem context*. - Trends Ecol. Evol., 16: 454-459.

INSECT PEST MANAGEMENT IN THE AGROECOSYSTEMS OF THE FUTURE

MIGUEL A. ALTIERI (*)

(*) *Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California-Berkeley, U.S.A.; agroeco3@berkeley.edu*
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La Tignola del pomodoro, *Tuta absoluta* (Meyrick)". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 9 giugno 2012.

Insect pest management in the agroecosystems of the future

The assumptions of cheap energy, stable climate and that humans can control nature under which industrial agriculture was launched, are no longer valid. With global warming many pest species will expand their range, increase their developmental times and number of generations per year, challenging the effectiveness of conventional pest management tools that only address the symptoms and not the causes of pest outbreaks. Biodiversification of agroecosystems is the only strategy that can improve resilience by engendering a greater ability to suppress pest outbreaks which may worsen under future climate scenarios, and by buffering crop production from the effects of greater climate variability and extreme events.

KEY WORDS: agroecology, ecologically based pest management, climate change, resilience, biodiversity.

INTRODUCTION

The industrial agricultural model was launched under the assumptions that abundant water and cheap energy to fuel modern agriculture would always be available and that climate would be stable and not change. As we enter the second decade of the XXI century, these assumptions have proven to be erroneous. Agrochemicals, fuel based mechanization and irrigation operations are derived entirely from dwindling and ever more expensive fossil fuels. Climate extremes are becoming more frequent and violent and threaten genetically homogeneous modern monocultures now covering 80% of the 1500 million hectares of global arable land. Moreover industrial agriculture contributes with about 25-30% of GHG emissions, further altering weather patterns thus compromising the world's capacity to produce food in the future (ROSENZWEIG & HILLEL, 2008).

It was also assumed that nature processes could be controlled by humans without flashbacks to achieve agricultural goals. Due to lack of ecological regulation mechanisms, industrial monocultures are heavily dependent on pesticides. In the past 50 years the use of pesticides has increased dramatically worldwide and now amounts to some 2,6 million tons of pesticides per year with an annual value in the global market of more than US\$ 25 billion. This control strategy has failed, as 540 species of arthropods have developed resistance against more than 1000 different types of

pesticides, which have been rendered useless to control such pests chemically. In the USA, pests losses account for 20-30% for most crops despite the increased use of pesticides (PIMENTEL & LEHMAN, 1993). The ecological consequences and technological treadmills associated with monocultures have been well documented (Fig. 1).

Genetically based approaches to pest control have not provided the expected results. Independent analysis of data on GM crop performance have shown that *Bt* corn provides a marginal operational yield advantage of 3 to 4 percent over typical conventional practices. Since *Bt* corn became commercially available in 1996, its yield advantage averages out to a 0.2 to 0.3 percent yield increase per year. Moreover, GM crops have increased (not reduced as predicted) overall pesticide use by 183 million kgs during the period 1996-2011. This means an additional 0.28 kg/ha of active ingredient for every GM trait acre (GURIAN-SHERMAN, 2009).

To complicate matters even more, future climate change and associated increases in temperature have a number of implications for the management of temperature-dependent insect pests in mid-latitude regions. Changes in climate may result in changes in geographical distribution, increased overwintering, changes in population growth rates, increases in the number of generations, extension of the development season, changes in crop-pest synchrony, changes in interspecific interactions and increased risk of invasion by migrant pests (PORTER *et al.*, 1991). Effects can be problematic for pest

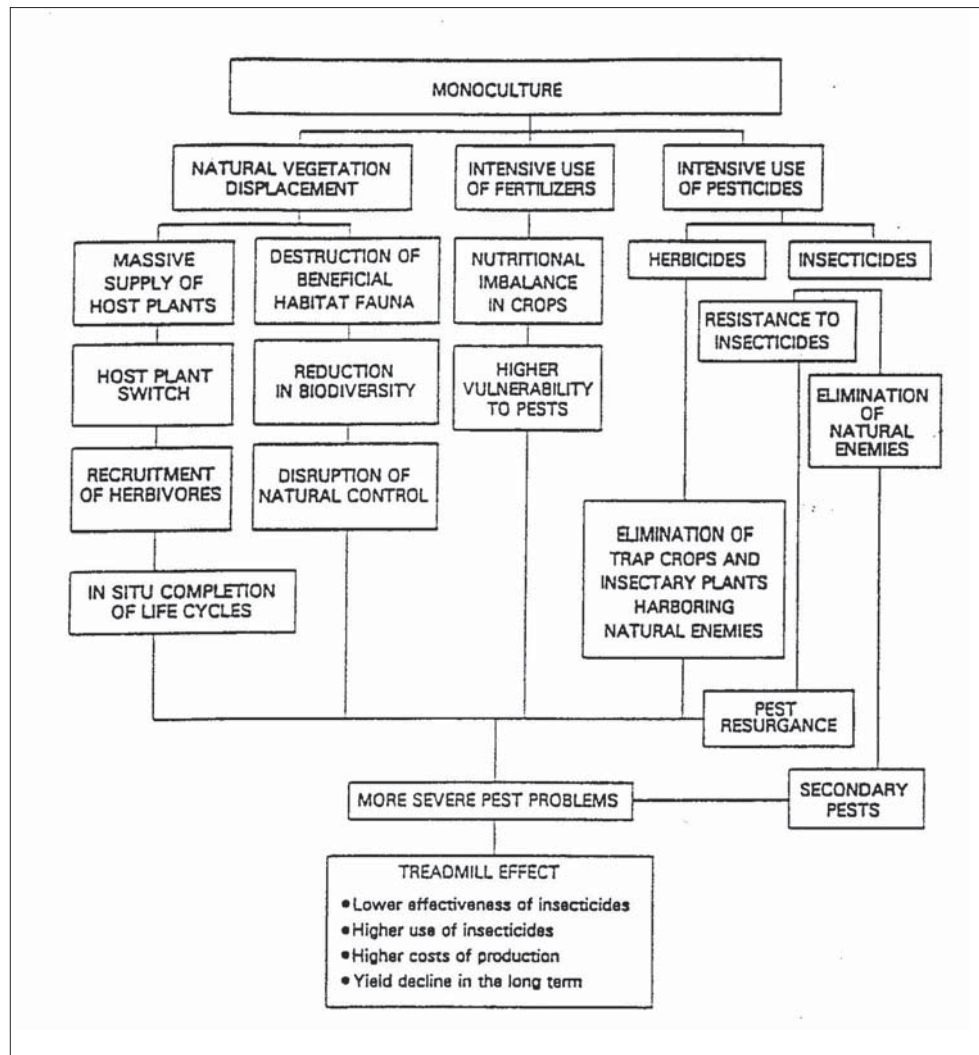


Fig. 1

The ecological consequences of monoculture with special references to pest problems and the agrochemical treadmill.

species that may exhibit faster development times and additional generations within a year. Even more problematic will be many pest species that will expand their geographical ranges to higher latitudes and altitudes, as has already been observed in a number of common butterfly species (CAMMELL & KNIGHT, 2002).

There is no doubt that industrial agriculture is at a crossroads in a world with a shrinking arable land base (which is also being diverted to produce biofuels), with less and more expensive petroleum, increasingly limited supplies of water and nitrogen and within a scenario of a rapidly changing climate, social unrest and economic uncertainty (DE SCHUTTER, 2010). There is therefore an urgent need to transform industrial agricultural production so that it not only produces abundant food but also becomes a major contributor to global biodiversity

conservation and a continuing source of redistributive ecosystem and socio-economic services. This is unquestionably a key endeavour for both scientists and farmers in the second decade of the 21st century (KOOHAFKAN *et al.*, 2011). To achieve this, agroecological research will have to focus on the design and management of diversified agroecosystems that increase the efficiency of resource use while building in resilience in agroecosystems in the face of increasing climate-related hazards, biotic stresses and economic shocks. In the agriculture of the future, IPM strategies cannot continue been dominated by quests for “silver bullet” products or tactics to control pest outbreaks. IPM will have to evolve to Ecologically Based Pest Management (EBPM) addressing the ecological root causes of pest problems in modern agriculture and adopt a more adaptive and preventive approach. Overall

EBPM strategies should include using practices that:

- a) grow healthy plants with good defense capabilities in organically and biologically rich soils;
- b) stress pests by breaking their life cycles or exploiting their biological weaknesses and
- c) enhance populations of beneficial organisms via habitat management approaches.

In other words, ecological concepts are utilized to favor natural processes and biological interactions that optimize synergies so that diversified farms are able to sponsor their own soil fertility, crop protection, and productivity through the activation of soil biology, the recycling of nutrients, the enhancement of beneficial arthropods and antagonists. Based on these principles, agroecologists involved in pest management developed a framework to achieve crop health through agroecosystem diversification and soil quality enhancement, key pillars of agroecosystem health. The main goal is to enhance the *immunity* of the agroecosystem (i.e. natural pest control mechanisms) and regulatory processes (i.e. nutrient cycling and population regulation) through management practices and agroecological designs that enhance plant species and genetic diversity in time and space, and the enhancement of organic matter accumulation and biological activity of the soil (NICHOLLS & ALTIERI, 2007) .

Given climate change scenarios and the negative impacts of extreme events on agricultural production, all strategies will have to be directed at building resilience into agroecosystems. This will require agronomically acceptable and ecologically sound crop diversification strategies that foster biological diversity which in turn enhances the resilience of desirable ecosystem states required to secure the production and essential ecosystem services. Biodiversity provides an insurance, or a buffer, against environmental fluctuations because different species respond differently to change, leading to more predictable aggregate community or ecosystem properties. Such diversity insures the maintenance of a system's functional capacity against potential human management failure that may result from an incomplete understanding of the effects of environmental change (ELMQVIST *et al.*, 2003).

Agroecology capitalizes on the key role of biological diversity in providing capacity for renewal and reorganization of desirable ecosystem states following change, and preventing shifts to undesirable ecosystem states. Sustaining desirable states of an agroecosystem in the face of compounded perturbations requires enhancement

and/or maintenance functional groups of species (predators, parasitoids, pollinators, decomposers, etc) achieved by eliminating agrochemicals and by breaking the monoculture nature of industrial agriculture (ALTIERI, 1995).

Given the new climate change scenarios, the search for practical steps to break the monoculture nature of modern agroecosystems and thus reduce their ecological vulnerability is an imperative. As traditional farmers have demonstrated with farming systems that stood the test of time, restoring agricultural biodiversity at the field and landscape level is key to enhance resiliency. The most obvious advantage of diversification is a reduced risk of total crop failure due to invasions by unwanted species and/or climatic variability as larger numbers of species reduce temporal variability in ecosystem processes in changing environments (LOREAU *et al.*, 2001).

PLANT DIVERSITY AND INSECT PEST INCIDENCE

The challenges of pest suppression may intensify in the future as changes in climate affect pest ranges and potentially bring new pests into agricultural systems. It is expected that insect pests will generally become more abundant as temperatures rise as a result of range extensions and phenological changes. This abundance will be accompanied by higher rates of population development, growth, migration, and overwintering against which the main line of defense involves increasing plant species richness and diversity in spatial and temporal distribution of crops. Such diversified agroecosystems mimic more natural systems and promote natural enemy abundance (ALTIERI & NICHOLLS, 2004). In addition the presence of a more diverse flora within the agroecosystem has direct negative effects on the ability of insect pests to find and utilize host plants and also to remain in the crop habitat (GURR *et al.*, 2004).

A recent review of 45 articles published over the last 10 years testing if plant diversification schemes reduce herbivores and/or increase the natural enemies of herbivores corroborated the associational resistance hypotheses, the enemies hypothesis, and attraction and repellency model applications offered by insect ecologists for the last 30 years to explain insect regulation in diversified systems. LETOURNEAU *et al.* (2011) found extensive support for agroecological models using intercropping schemes, inclusion of flowering plants, and use of plants that repel herbivores or attract them away from the crop. Overall, herbivore suppression, enemy enhancement, and crop damage suppression

effects were significantly stronger on diversified crops than on crops with none or fewer associated plant species.

The degree of complexity involved in increasing biodiversity to enhance pest management ranges from merely diversifying plant species within a monoculture in the form of intercropping to the opposite extreme of landscape level diversification including non-crop and perennial vegetation (GURR *et al.*, 2003, Table 1).

SYNERGISTIC EFFECTS OF SOIL FERTILITY

Emergent ecological properties develop in diversified agroecosystems allowing biodiversity to thrive and establish complex food webs and interactions. Several entomologists recognized early on that biodiversity is integral to the maintenance pest stable agroecoystems and pointed to the utility of crop diversification as an important resilience strategy for pest management (LANDIS *et al.*, 2000). New evidence suggests that biodiversification must be accompanied by improvement of soil quality, as the link between healthy soils and healthy plants is fundamental to truly ecologically based IPM (Figure 2). The integrity of the agroecosystem relies on synergies of plant diversity and the continuing function of the soil microbial community, and its relationship with organic matter. Results from many studies conducted on

organic farming systems provide interesting evidence to support the view that the long-term joint management of plant diversity and soil organic matter can lead to better plant resistance against insect pests (ALTIERI & NICHOLLS, 2003).

Studies in tropical Asian irrigated rice agroecosystems by SETTLE *et al.* (1996) showed that by increasing organic matter in test plots, researchers could boost populations of detritivores and plankton-feeders, and in turn significantly boost the abundance of generalist predators. Surprisingly, organic matter management proved to be a key mechanism in the support of high levels of natural biological control. Organically managed soils usually exhibit a richer community of natural enemies that feed on alternative prey found above or within the soil. Collembolla have been shown to be an important prey group for generalist predators, such as the ground beetle *Bembidion lapros* and linyphiid spiders in arable fields, helping to sustain and retain these predators as pest control agents within the crop.

In reviewing 50 years of research relating to crop nutrition and insect attack, SCRIBER (1984) found 135 studies showing increased damage and/or growth of leaf-chewing insects or mites in N-fertilized crops, versus fewer than 50 studies in which herbivore damage was reduced by normal fertilization regimens. In aggregate, these results suggest a hypothesis with implications for fertilizer use patterns in agriculture, namely that high N inputs can precipitate high levels of herbivore

Table 1 – Examples of levels of agroecosystem complexity via biodiversity enhancement benefiting pest management (after GURR *et al.*, 2003)

Level of complexity	Nature of diversification	Example
Diversification within A monoculture	Make crop structurally more diverse	Alternate harvesting of lucerne strips to preserve habitat for beneficial insects
Relax a monoculture	Grow mixture of varieties	Mixed variety plantings to reduce herbivore numbers and damage
Allow non-crop vegetation within monoculture	Tolerable levels of weed growth in crop	weed strips to enhance natural enemies
Diversifying borders of Monoculture	Sow non-crop vegetation in field margins	Phacelia borders around wheat fields to enhance syrphids
Break monoculture	Grow two or more crops at same time and space	strip or intercropping
Diversify vegetation beyond field margin	enrich fallow fields	allow fallow fields adjacent to crops
Farmscaping	Agroforestry integrating crops and animals	diversify with perennials to increase habitat for natural enemies
Diversify the matrix around crops	Landscapes with corridors and forest islands	Complex landscapes providing regional refugia to natural enemies

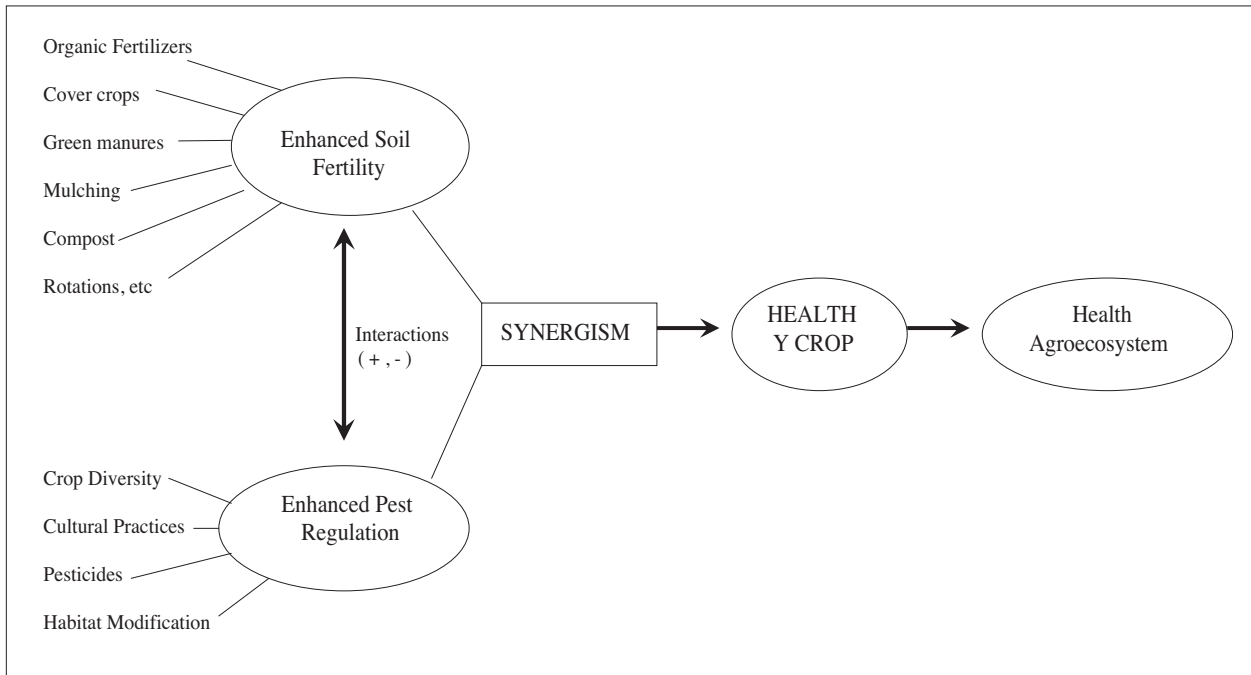


Fig. 2
The potential synergism between soil fertility management and IPM.

damage in crops. As a corollary, crop plants would be expected to be less prone to insect pests and diseases if organic soil amendments are used, these generally resulting in lower N concentrations in the plant tissue. Researchers documenting lower abundance of several insect herbivores in low-input systems have partly attributed such reductions to the lower nitrogen content in organically farmed crops (LAMPKIN, 1990).

AGROBIODIVERSITY AND RESILIENCE TO CLIMATE CHANGE

Detailed analyses of agricultural performance after extreme climatic events have revealed that resilience to climate disasters is closely linked to the level of on-farm biodiversity. A survey conducted in Central American hillsides after Hurricane Mitch showed that farmers using diversification practices (such as cover crops, intercropping and agroforestry) suffered less damage than their conventional monoculture neighbours. A survey of more than 1,800 neighbouring “sustainable” and “conventional” farms in Nicaragua, Honduras and Guatemala, found that the “sustainable” plots had between 20 to 40% more topsoil, greater soil moisture and less erosion, and also experienced lower economic losses than their conventional neighbours (HOLT-GIMENEZ, 2001). Similarly, those coffee farms in Mexico which exhibit high levels of

complexity and plant diversity suffered less damage from Hurricane Stan (LIN, 2011). Forty days after Hurricane Ike hit Cuba in 2008, researchers found that diversified farms exhibited losses of 50%, compared to 90 or 100% in neighbouring monocultures. Likewise, agro-ecologically managed farms showed a faster recovery in their production than monoculture farms (ROSSET *et al.*, 2011).

These are only a few examples that show how complex agro-ecosystems are able to adapt and resist the effects of climate change. Agroforestry systems have been shown to buffer crops from large fluctuations in temperature, thereby keeping the crops closer to their optimum conditions. More shaded coffee systems have shown to protect crops from low precipitation and reduced soil water availability. This is because the overstory reduces soil evaporation and the roots increase soil water infiltration. At the same time, intercropping enables farmers to produce various crops simultaneously and minimize risk. Polycultures exhibit greater yield stability and less productivity declines during drought. A study of the effect of drought on polycultures showed that intercropping is enormously successful. Quite interestingly, the rate of overyielding actually increased with water stress, showing that the relative differences in productivity between monocultures and polycultures increase with greater stress (NATARAJAN & WILLEY, 1986).

Another example is that of the intensive silvo-

pastoral systems (ISS), which combine fodder shrubs planted at high densities, trees, palms, and pastures. High stocking levels are achieved through rotational grazing, which allows for the natural production of milk and meat in these systems. At the El Hatico farm, in Cauca, Colombia, a five story ISS composed of a layer of grasses, *Leucaena* shrubs, medium-sized trees and a canopy of large trees has, over the past 18 years, increased its stocking rates to 4.3 dairy cows/ha and its milk production by 130%, as well as completely eliminating the use of chemical fertilizers. 2009 was the driest year in El Hatico's 40-year record, and the farmers saw a reduction of 25% in pasture biomass, yet the production of fodder remained constant throughout the year, neutralizing the negative effects of drought on the whole system. In response to the extreme weather, the farm had to adjust its stocking rates. In spite of this, the farm's milk production for 2009 was the highest on record, with a surprising 10% increase compared to the previous four years. Meanwhile, farmers in other parts of the country reported severe animal weight loss and high mortality rates due to starvation and thirst (MURGUEITIO *et al.*, 2011). The combined benefits of water regulation, a favorable microclimate, biodiversity, and carbon stocks in such diversified farming systems, not only provide environmental goods and services for producers, but also greater resilience to climate change (ALTIERI & NICHOLLS, 2012).

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF AGROECOSYSTEMS

Given the rising costs of energy a key of agroecology is to augment ecological processes that foster plant nutrition and pest regulation, eliminating agrochemicals and reducing other external inputs to improve the energy efficiency of cropping systems. Diversification strategies discussed above have important implication for energy use in agriculture, as they can significantly reduce external inputs in production and also improve several aspects of agriculture's environmental and economic performance. Studies conducted in the US midwest have shown that fossil energy inputs in organic corn production were 31 percent lower than conventional corn production, and the energy inputs for organic soybean production were 17 percent lower than conventional soybean production (PIMENTEL *et al.*, 2008). A long term evaluation spanning from 1981 through 2002 was conducted at the Rodale Institute in Pennsylvania, comparing a conventional

maize and soybean system with animal manure and legume-based organic systems. Researchers found that the energy inputs for the organic animal and organic legume systems were 28% and 32% less than those of the conventional system, respectively. Commercial fertilizers for the conventional system were produced employing fossil energy, whereas the nitrogen nutrients for the organic systems were obtained from legumes or cattle manure, or both. (PIMENTEL *et al.*, 2005).

DIVERSIFICATION OF MODERN, LARGE SCALE SYSTEMS

Contemporary notions of modern mechanized farming connotes the necessity of monocultures. There is little question however that given sufficient motivation appropriate technology could be developed to mechanize multiple cropping systems (HORWITH, 1985). Simpler diversification schemes based on 2-3 plant species may be more amenable for large scale farmers and can be managed using modern equipment. One of such schemes is strip intercropping which consists in the production of more than one crop in strips that are narrow enough for the crops to interact, yet wide enough to permit independent cultivation. Agronomically beneficial strip intercropping systems have usually included corn or sorghum, which readily respond to higher light intensities. Studies with corn and soybean strips four to 12 rows wide have demonstrated increased corn yields (+5 to +26%) and decreased soybean yields (-8.5 to -33%) as strips get narrower. Alternating corn and alfalfa strips provided greater gross returns than sole crops. Twenty-foot wide strips were most advantageous, with returns between \$17 and \$29/acre over the sole crops depending on the year (WEST & GRIFFITH, 1992).

Legumes intercropped with cereals is a key diversification strategy not only because of the provision of nitrogen, but because the mixtures enhance soil cover, smother weeds and increase soil microbial diversity such as vesicular arbuscular mycorrhizae (VAM) which facilitate P transfer and the availability of K, Ca and Mg (MACHADO, 2009). In the case of adverse weather conditions like delay in the onset of rains and/or failure of rains for few days to weeks some time during the crop period, an intercropping system provides advantages as at least one crop will survive to give economic yields, thereby providing for the necessary insurance against unpredictable weather. Polycultures exhibit greater yield stability and less productivity declines during a drought than in the

case of monocultures. This was well demonstrated by NATARAJAN & WILLEY (1986) who examined the effect of drought on enhanced yields with polycultures by manipulating water stress on intercrops of sorghum (*Sorghum bicolor*) and peanut (*Arachis* spp.), millet (*Panicum* spp.) and peanut, and sorghum and millet. All the intercrops overyielded consistently at five levels of moisture availability, ranging from 297 to 584 mm of water applied over the cropping season. Quite interestingly, the rate of overyielding actually increased with water stress, such that the relative differences in productivity between monocultures and polycultures became more accentuated as stress increased.

No-till row crop production also is promising given its soil conservation and improvement potential. Although these systems are highly dependent on herbicides, there are some organic farmers who practice it without synthetic herbicides. A breakthrough occurred with the discovery that certain winter annual cover crops, notably cereal rye and hairy vetch, can be killed by mowing at a sufficiently late stage in their development and cut close to the ground. These plants generally do not regrow significantly, and the clippings form an *in situ* mulch through which vegetables can be transplanted with no or minimal tillage. The mulch hinders weed seed germination and seedling emergence, often for several weeks. As they decompose many cover crop residues can release allelopathic compounds that may suppress the weed growth. This inhibition is caused by phytotoxic substances that are passively liberated through decomposition of plant residues. There is a long list of green manure species that have phytotoxic effects (ALTIERI *et al.*, 2011). This effect is usually sufficient to delay the onset of weed growth until after the crop's minimum weed-free period, which makes postplant cultivation, herbicides, or hand weeding unnecessary, yet exhibiting acceptable crop yields. Tomato and some late-spring brassica plantings perform especially well, and some large-seeded crops such as maize and beans can be successfully direct-sown into cover crop residues. Not only can cover crops planted in no-till fields fix nitrogen in the short term, they can also reduce soil erosion and mitigate the effects of drought in the long term, as the mulch conserves soil moisture. Cover crops build vertical soil structure as they promote deep macropores in the soil, which allow more water to penetrate during the winter months and thus improve soil water storage.

Cover crops can also be used in perennial crops such as orchards and vineyards. These plant mixtures play several roles such as erosion control,

improved soil structure and organic content, nitrogen fixation, and habitat for beneficial insects. Maintenance of floral diversity by organic farmers throughout the growing season in northern California vineyards, in the form of summer cover crops of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) and sunflower (*Helianthus annuus*), had a substantial impact on the abundance of western grape leafhopper, *Erythroneura elegantula* (Homoptera: Cicadellidae), and western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), and associated natural enemies. During two consecutive years, vineyard systems with flowering cover crops were characterized by lower densities of leafhoppers and thrips, and larger populations and more species of general predators, including spiders. Although *Anagrus epos* (Hymenoptera: Mymaridae), the most important parasitoid, achieved high numbers and inflicted noticeable mortality of grape leafhopper eggs, no differences in egg parasitism rates were observed between cover cropped and monoculture systems. Mowing of cover crops forces movement of *Anagrus* and predators to adjacent vines resulting in the lowering of leafhopper densities in such vines. Results indicated that habitat diversification using summer cover crops that bloom most of the growing season, supports large numbers of predators and parasitoids thereby favoring enhanced biological control of leafhoppers and thrips in vineyards (NICHOLLS *et al.*, 2000).

CONCLUSIONS

Long term solutions to pest problems arising in the future planetary scenarios dominated by climate change and escalating energy costs can be only achieved by restructuring and managing agricultural systems in ways that will enhance their overall energy efficiency, diversity and resilience. Crop diversification can improve resilience in a variety of ways: by engendering a greater ability to suppress pest outbreaks which may worsen under future climate scenarios, as well as by buffering crop production from the effects of greater climate variability and extreme events. Such benefits point toward the obvious value of adopting crop diversification to improve resilience. In the future, pest managers will have to increasingly utilize ecological concepts to favor natural processes and biological interactions that optimize synergies so that diversified farms are able to sponsor their own soil fertility, crop protection, and productivity through the activation of soil biology, the recycling of nutrients, the enhancement of beneficial

arthropods and antagonists. EBPM will pay a major role in the design of pest stable agroecosystems within an adaptive strategy to deal with climatic extremes.

REFERENCES

- ALTIERI M.A., 1995 – *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Westview Press, Boulder, Colorado, 433 pp.
- ALTIERI M.A., NICHOLLS C.I., 2003 – *Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems*. - Soil and Tillage Research, 72: 203-211.
- ALTIERI M.A., NICHOLLS C.I., 2004 – *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems*. - Haworth Press, New York, 236 pp.
- ALTIERI M.A., LANA M., BITTENCOURT H., KIELING A., COMIN J., LOVATO P., 2011 – *Enhancing Crop Productivity via Weed Suppression in Organic No-Till Cropping Systems in Santa Catarina, Brazil*. - Journal of Sustainable Agriculture, 35 (8): 855-869.
- ALTIERI M.A., NICHOLLS C.I., 2012 – *Agro-ecological approaches to enhance resilience to climate change*. - Farming Matters, 28: 14-19.
- CAMMELL M.E., KNIGHT J.D., 2002 – *Effects of climatic change on the population dynamics of crop pests*. - Advances in Ecological Research, 22: 117-162.
- DE SCHUTTER O., 2010 – *Report Submitted by the Special Rapporteur on the Right to Food, UN General Assembly*. Human Rights Council Sixteenth Session, Agenda item 3 A/ HRC/16/49.
- ELMQVIST T., FOLKE C., NYSTRÖM M., PETERSON G., BENGTTSSON J., WALKER B., NORBERG J., 2003 – *Response diversity, ecosystem change, and resilience*. - Frontiers in Ecology and the Environment, 1: 488-494.
- GURIAN-SHERMAN D., 2009 – *Failure to yield: evaluating the performance of genetically engineered crops*. Union of Concerned Scientists, Cambridge, Mass, 59 pp.
- GURR G.M., WRATTEN S.D., ALTIERI M.A., 2004 – *Ecological engineering for pest management*. CABI Publishing, Wallingford, 225 pp.
- GURR G.M., WRATTEN S.D., LUNA J.M., 2003 – *Multi-function agricultural biodiversity: Pest management and other benefits*. - Basic and Applied Ecology, 4: 107-116.
- HOLT-GIMENEZ E., 2001 – *Measuring farms agroecological resistance to Hurricane Mitch*. - LEISA, 17: 18-20.
- HORWITH B., 1985 – *A role for intercropping in modern agriculture*. - BioScience 35: 286-291.
- KOOHAFKAN P., ALTIERI M. A., HOLT GIMENEZ E., 2011 - *Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems*. - International Journal of Agricultural Sustainability, 10: 61-75.
- LAMPKIN N., 1990. *Organic Farming*. Farming Press Books, Ipswich, U.K, 701 pp.
- LANDIS D.A., WRATTEN S.D., GURR G.A., 2000 – *Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture*. - Annual Review of Entomology, 45: 175-201.
- LETOURNEAU DK., ARMBRECHT I., SALGUERO RIVERA B., MONTOYA LERMA J., JIMÉNEZ CARMONA E., DAZA M.C., ESCOBAR S., GALINDO V., GUTIÉRREZ C., DUQUE LÓPEZ S., LÓPEZ MEJÍA J., ACOSTA RANGEL A.M., 2011 – *Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review*. - Ecological Applications, 21: 9-21.
- LIN B., 2011 – *Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change*. - BioScience, 61: 183-193.
- LOREAU M., S Naeem, P Inchausti, J Bengtsson 2001 – *Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges*. - Science, 294: 804-808.
- MACHADO S., 2009 – *Does intercropping have a role in modern agriculture?* - Journal of Soil and Water Conservation, 64: 55A-57A.
- MURGUETIO E., CALLE Z., URIBE F., CALLE A., SOLORIO B., 2011 – *Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands*. - Forest Ecology and Management, 261: 1654-1663.
- NATARAJAN M., WILLEY R.W, 1986 – *The effects of water stress on yield advantages of intercropping systems*. - Field Crops Research, 13: 117-131.
- NICHOLLS C.I., ALTIERI M.A., 2007 – *Agroecology: contributions towards a renewed ecological foundation for pest management*. In: Ecological theory and integrated pest management, Kogan M. & Jepson P. Ed., Cambridge University Press, Cambridge, pp. 431-468.
- NICHOLLS C.I., PARRELLA M.P., ALTIERI M.A., 2000 – *Reducing the abundance of leafhoppers and thrips in a northern California organic vineyard through maintenance of full season floral diversity with summer cover crops*. - Agricultural and Forest Entomology, 2: 107-113.
- PIMENTEL D., LEHMAN H., 1993 – *The pesticide question*. Chapman and Hall, New York, 431 pp.
- PIMENTEL D., HEPPERLY D., HANSON J., DOUDS D., SEIDEL R., 2005 – *Environmental, Energetic, and Economic Comparisons of Organic and Conventional Farming Systems*. - BioScience, 55: 573-582.
- PIMENTEL D., WILLIAMSON S., ALEXANDER C., GONZALEZ-PAGAN O., KONTAK C., MULKEY S., 2008 – *Reducing energy inputs in the US food system*. - Human Ecology, 36: 459-471.
- PORTER J.H., PARRY M.L., CARTER T.R., 1991 – *The potential effects of climatic change on agricultural insect pests*. - Agricultural and Forest Meteorology, 51: 221-240.
- ROSENZWEIG C., HILLEL D., 2008 – *Climate Change and the Global Harvest: Impacts of El Nino and Other Oscillations on Agroecosystems*. Oxford University Press, New York, 376 pp.
- ROSSET P.M., MACHÍN-SOSA B., ROQUE-JAIME A.M., AVILA-LOZANO D.R., 2011 – *The Campesino-to-Campesino agroecology movement of ANAP in Cuba*. Journal of Peasant Studies, 38 (1): 161-191.
- SCRIBER J.M., 1984 – *Nitrogen nutrition of plants and insect invasion*. In: Nitrogen in crop production, Hauck R.D. Ed., Madison, WI, American Society of Agronomy, pp. 441-460.
- SETTLE W., ARIAWAN H., TRI ASTUTI E., CAHYANA W., HAKIM A.L., HINDAYANA D., LESTARI A.S., PAJARNINGSIH, S., 1996 – *Managing Tropical Rice Pests Through Conservation of Generalist Natural Enemies and Alternative Prey*. - Ecology, 77: 1975-1988.
- WEST T.D., GRIFFITH D.R., 1992 – *Effect of strip-intercropping corn and soybean on yield and profit*. - Journal of Production Agriculture, 5: 107-110.

